

Ingenieur - Hydro - Umwelt -
Geologie
Gutachten-Planung-Beratung
Fachbauleitung



Geotechnisches Gutachten

**Erschließung der Wohnbauentwicklung
im Ortsteil Loxten
Am Sportplatz
33775 Versmold**

Projektbearbeiter: Diplom-Geologe T. Freisfeld

Projekt-Nr.: 2021/14656

Münster, 26.10.2021

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Auftrag und allgemeine Angaben zum Projekt | 4 |
| 2 | Durchführung der Untersuchungen | 5 |
| 3 | Morphologische Verhältnisse | 7 |
| 4 | Baugrundverhältnisse | 7 |
| 4.1 | Schichtenfolge | 7 |
| 4.2 | Grundwasser | 10 |
| 4.3 | Organoleptische Bewertungen | 11 |
| 4.4 | Gefährdungspotenziale des Untergrundes | 12 |
| 4.5 | Erdbebeneinwirkung..... | 12 |
| 5 | Ergebnisse der chemischen Untersuchungen..... | 12 |
| 5.1 | Bewertungsgrundlage..... | 12 |
| 5.2 | Bewertung hinsichtlich der Verwertung/Entsorgung von Bodenaushub gemäß der LAGA-Richtlinie 2004 | 14 |
| 5.3 | Schwarzdecke | 15 |
| 5.4 | Hinweise zu den durchgeführten Untersuchungen | 15 |
| 6 | Homogenbereiche, Bodenkennwerte, Bodenklassen, Bodengruppen und Frostempfindlichkeitsklassen | 16 |
| 6.1 | Homogenbereiche | 16 |
| 6.2 | Bodenkennwerte..... | 16 |
| 6.3 | Bodenklassen gem. VOB/DIN 18300, Bodengruppen gem. DIN 18196 und Frostempfindlichkeitsklassen gem. ZTV E-StB 17..... | 20 |
| 7 | Gründungstechnische Folgerungen für den Kanalbau | 22 |
| 7.1 | Allgemeine Ausführungen zum Kanalbau..... | 22 |
| 7.2 | Gründungstiefe | 22 |
| 7.3 | Wasserhaltungsmaßnahmen..... | 22 |
| 7.4 | Tragfähigkeit des Baugrundes und Baugrundverbesserungsmaß- nahmen | 23 |
| 7.5 | Kanalgrabensicherung, Kanalverlegung..... | 24 |
| 7.6 | Verwendung des Aushubmaterials | 25 |

| | | |
|-------|--|----|
| 8 | Gründungstechnische Folgerungen für den Bau von Wohnhäusern..... | 26 |
| 8.1 | Gründungsart | 26 |
| 8.2 | Gründungstiefe | 26 |
| 8.3 | Tragfähigkeit des Baugrundes und Baugrundverbesserungsmaßnahmen | 27 |
| 8.4 | Wasserhaltungsmaßnahmen..... | 29 |
| 8.4.1 | Nicht unterkellerte Gebäude | 29 |
| 8.4.2 | Unterkellerte Gebäude | 29 |
| 8.5 | Baugrubensicherung | 30 |
| 8.6 | Maßnahmen zum Schutz der Bauwerke gegen Grundwasser | 31 |
| 8.7 | Belastung des Baugrundes, Setzungsverhalten und Grundbruchsicherheit | 33 |
| 8.7.1 | Nördliches Baufeld..... | 33 |
| 8.7.2 | Südliches Baufeld | 35 |
| 8.8 | Verwendung des Aushubmaterials | 36 |
| 9 | Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten | 38 |
| 10 | Angaben zu bautechnischen Maßnahmen für die Außenanlagen..... | 38 |
| 11 | Verdichtungsüberprüfung..... | 41 |
| 12 | Versickerung von Niederschlagswasser | 41 |
| 13 | Hinweise auf weitere Untersuchungen..... | 42 |
| 14 | Schlusswort..... | 42 |

1 Auftrag und allgemeine Angaben zum Projekt

Das Erdbaulabor Dr. F. Krause wurde von der Stadt Versmold, Münsterstr. 16, 33775 Versmold, beauftragt, für die geplante Erschließung der Wohnbauentwicklung im Ortsteil Loxten, Am Sportplatz, 33775 Versmold, Baugrunduntersuchungen durchzuführen und ein geotechnisches Gutachten auszuarbeiten. Die Planung erfolgt durch die SM Ingenieurplan GmbH, Werner-Bock-Str. 38, 33602 Bielefeld.

Gemäß den Angaben der SM Ingenieurplan GmbH wird zur Erschließung des Wohngebietes der in der Straße „Am Sportplatz“ vorhandene Mischwasserkanal nach Osten verlängert. Die Sohle des Mischwasserkanals liegt ca. 2,5 m unter dem Straßenniveau bzw. bei ca. 75,9 m ü. NHN.

Angaben zur geplanten Wohnbebauung liegen nicht vor.

Es wird angenommen, dass die Gründung von nicht unterkellerten und unterkellerten Häusern auf bewehrten Sohlplatten erfolgen wird.

Auf die Ausführung von Frostschrüzen kann bei einer Sohlplattengründung verzichtet werden, wenn unter der Sohlplatte von nicht unterkellerten Wohnhäusern bis mindestens 0,8 m unter der geplanten Geländeoberkante (GOK) eine Schicht aus frostunempfindlichem Lockergesteinsmaterial eingebaut wird. Stehen in der Planumsebene für die Tragschicht schwach bis sehr schwach durchlässige bindige Böden an, ist die Tragschicht der Sohlplatte zur Verhinderung eines Aufstaus von Sickerwasser zu dränieren.

Werden die ggf. zur Ausführung kommenden Frostschrüzen zum Lastabtrag mit herangezogen, dann erfüllen sie die Funktion von Streifenfundamenten.

Die Fundamentabmessungen sowie die Stärken der Sohlplatten sind noch vom Tragwerksplaner festzulegen.

Für die weiteren Ausführungen wird angenommen, dass die Oberkante des fertigen Fußbodens (OKFF EG) der geplanten Wohnhäuser ca. 0,2 m über der mittleren Geländeoberkante bzw. bei ca. 77,8 m ü. NHN angeordnet wird. Die angenommene Gründungsebene der Sohlplatten liegt bei ca. 77,35 m ü. NHN. Die frostfreie Gründungsebene der Frostschrüzen bzw. der Fundamente wird bei ca. 76,8 m ü. NHN angenommen. Die Gründungsebene der Kellerfußboden-Unterkante (KFUK) liegt bei ca. 74,80 m ü. NHN.

Die vorgenannten Gründungsebenen sind Grundlage der weiteren Ausführungen.

Konstruktions- und Ausführungspläne sowie Angaben zu ankommenden Lasten liegen dem Erdbaulabor Dr. F. Krause nicht vor.

2 Durchführung der Untersuchungen

Zur Erschließung der Baugrundverhältnisse und zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Baugrundes wurden am 05.10. und 06.10.2021 auf dem Baugrundstück zehn Rammkernsondierbohrungen (RKS 1 bis RKS 10), drei leichte (DPL 4, DPL 6 und DPL 7) und fünf leichte/mittelschwere Rammsondierungen (DPL/M 1 bis DPL/M 3, DPL/M 5 und DPL/M 5a, mittelschwere Rammsondierung mit der Sonde DPM-A) niedergebracht.

Die Rammsondierung DPL/M 5 musste aufgrund eines Rammhindernisses vor dem Erreichen der angestrebten Endteufe bei 1,0 m unter GOK eingestellt werden und wurde versetzt als DPL/M 5a neu ausgeführt.

Auch die versetzt neu ausgeführte Rammsondierung DPL/M 5a musste aufgrund des o. g. Grundes vor dem Erreichen der angestrebten Endteufe bei 1,1 m unter GOK eingestellt werden.

Die Aufschlusspunkte sind dem Lageplan (s. Anlage 1) zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Aufschlussbohrungen und die der Rammsondierungen wurden gemäß DIN 4023 und DIN EN ISO 22476-2 in Schichtenprofilen und Rammdiagrammen auf den Anlagen 2.1 bis 2.14 und 2.12a dargestellt.

Aus den Bohrungen wurden 59 gestörte Boden- und Materialproben entnommen.

Im Labor erfolgte die bodenphysikalische, bodenmechanische und organoleptische Ansprache der Bodenproben und, unter Beachtung der Ergebnisse der Rammsondierungen, die Abschätzung der für die erdstatischen Berechnungen erforderlichen Bodenkennwerte.

An charakteristischen Bodenproben wurden im bodenphysikalischen Labor die Korngrößenverteilungen gemäß DIN EN ISO 17892-4, die Zustandsgrenzen nach DIN EN ISO 17892-12 und die Wassergehalte nach DIN EN ISO 17892-1 bestimmt. Die Ergebnisse der vorgenannten bodenphysikalischen Laborversuche sind den Anlagen 3.1 bis 3.6 zu entnehmen.

Zur orientierenden Klärung des Verwertungs- und Entsorgungspfades des abzufahrenden Bodens wurden die Mischproben MP 1 und MP 2 aus folgenden Bodenproben zusammengestellt:

| Mischproben- bezeichnung | RKS | Teufe in m unter GOK |
|---|-----|--|
| MP 1 (Geschiebemergel, Schluff und Ton) | 1 | 0,9 - 2,5 u. 2,5 - 3,0 |
| | 2 | 0,9 - 2,0 u. 2,0 - 3,0 |
| | 3 | 0,4 - 2,0 u. 2,0 - 2,9 |
| | 4 | 1,0 - 2,0 |
| | 9 | 0,8 - 2,3 u. 2,3 - 4,4 |
| | 10 | 0,5 - 2,8 u. 2,8 - 5,2 |
| MP 2 (Sand) | 4 | 0,7 - 1,0 |
| | 5 | 0,3 - 0,6, 0,6 - 0,9 u. 0,9 - 2,5 |
| | 6 | 0,4 - 0,7, 0,7 - 2,3 u. 2,3 - 3,5 |
| | 7 | 0,6 - 2,5 u. 2,5 - 3,5 |
| | 8 | 0,3 - 0,7, 0,7 - 1,5, 1,5 - 2,5 u. 2,5 - 4,4 |
| | 9 | 0,5 - 0,8 |

Die Mischproben **MP 1** und **MP 2** wurden in einem akkreditierten chemischen Laboratorium auf die Parameter der Tabellen II.1.2-2/4 und II.1.2-3/5 (Zuordnungswerte für die Verwendung in bodenähnlichen Anwendungen / für den eingeschränkten Einbau in technischen Bauwerken - Feststoffgehalte und Eluatkonzentrationen im Bodenmaterial) der LAGA-Richtlinie „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen: Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden)“, Stand 05.11.2004, untersucht.

Die Ergebnisse der vorgenannten chemischen Untersuchungen sind den Anlagen 4.1 (tabellarische Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse) und 4.2 (Prüfberichte) zu entnehmen. Die Probenahme-Protokolle sind dem geotechnischen Gutachten als Anlagen 4.3 und 4.4 beigelegt.

Aus der vorhandenen Oberflächenbefestigung der Straße „Am Sportplatz“ wurde die Schwarzdeckenprobe **RKS 1 (0-0,1 m)** entnommen.

An der vorgenannten Schwarzdeckenprobe wurden in einem akkreditierten chemischen Laboratorium die Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Feststoff und der Phenolindex im Eluat untersucht. Ergänzend dazu wurde eine quantitative Bestimmung von Asbest gemäß dem BIA-Verfahren 7487 durchgeführt.

Die Ergebnisse der an der Schwarzdeckenprobe durchgeführten chemischen Untersuchungen sind der Anlage 5 zu entnehmen.

Die bei den bodenphysikalischen und chemischen Laborversuchen nicht verbrauchten Bodenproben werden 6 Monate nach Abgabe des geotechnischen Gutachtens aufbewahrt und dann, falls vom Auftraggeber nicht anders bestimmt, verworfen.

3 Morphologische Verhältnisse

Bei dem \pm ebenen Baugelände handelt es sich um eine Ackerfläche.

Als Höhenbezugspunkt (BP) für die Bohr- und Rammansatzpunkte wurde der im Lageplan (s. Anlage 1) eingezeichnete Kanaldeckel (KD) mit der Höhe 78,21 m ü. NHN gewählt.

Die Bodenaufschlusspunkte wurden auf diese NHN-Höhe bezogen.

Nach dem Höhennivellement der Bohr- und Rammansatzpunkte liegt eine maximale Höhendifferenz von ca. 0,66 m vor.

Das Gelände fällt von ca. 77,98 m ü. NHN (RKS 2 und DPL/M 2) im Nordosten auf ca. 77,32 m ü. NHN (DPL 7) im Westen um diesen Betrag ab.

Danach liegt das Gelände im Mittel bei ca. 77,63 m ü. NHN.

4 Baugrundverhältnisse

4.1 Schichtenfolge

Die Aufschlussbohrungen haben eine relativ einheitliche Schichtenfolge erschlossen, die, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Rammsondierungen, vereinfacht wie folgt beschrieben wird (s. dazu die Anlagen 2.1 bis 2.14 und 2.12a):

bis ca. 0,4/0,5 m unter GOK

Oberflächenbefestigung aus Schwarzdecke mit unterlagernder Schottertragschicht. Die Oberflächenbefestigung wurde nur in den Bohrungen RKS 1 und RKS 2, die auf der Straße „Am Sportplatz“ ausgeführt wurden, angetroffen. In der Bohrung RKS 1 wurde ein Recycling-Schotter und in der Bohrung RKS 2 ein schwach sandiges Schottergemisch aus Mergelkalk- und Kalksteinen, mit geringen Bauschuttanteilen, erbohrt. Die erdfeuchten Tragschichten sind dicht bis sehr dicht gelagert.

| | |
|------------------------------------|---|
| bis ca. 0,3/0,5 m unter GOK | belebter humoser Oberboden (Mutterboden), erdfeucht. |
| bis ca. 0,9 m unter GOK | anthropogene Auffüllung , inhomogen zusammengesetzt aus mineralischem Boden (schwach humoser, schwach schluffiger Sand) mit Ziegelresten, erdfeucht und mitteldicht gelagert. Der aufgefüllte Sand wurde nur in der Bohrung RKS 1 angetroffen. |
| bis ca. 0,7 m unter GOK | Schluff , sandig, schwach tonig, erdfeucht. Der in der Bohrung RKS 4 zwischen ca. 0,4 m und ca. 0,7 m unter GOK erbohrte Schluff besitzt im ungestörten Zustand bei dem aktuellen Wassergehalt eine halb-feste Konsistenz. |
| bis ca. 0,8/3,5 m unter GOK | Feinsand , überwiegend schwach mittelsandig bis mittelsandig, schwach schluffig bis stark schluffig, Mittelsand , feinsandig bis stark feinsandig, schwach schluffig bis schluffig, teils schwach steinig, schwach tonig, Sand , schwach schluffig, schwach humos und Ortsteinlage (nur RKS 1 und RKS 7), erdfeucht bis grundwasserführend und dann fließfähig. Die vorgenannten Sande wurden in den Bohrungen RKS 1 und RKS 4 bis RKS 7 erbohrt und sind gemäß den Angaben der geologischen Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000, Blatt 3914 Versmold, stratigraphisch in die Saale-Kaltzeit (sogenannte Nachschüttsande, Serie Pleistozän des Systems Quartär) einzustufen. |

bis ca. 2,0/2,9 m unter GOK

Geschiebemergel (unverwitterte Grundmoräne: Gemisch aus Ton, Schluff und Sand, gering kiesig, gering steinig, mit ggf. auftretenden sogenannten Findlingen in Blockgröße), erdfeucht.

Die Konsistenz des Geschiebemergels ist steifplastisch (s. Anlagen 3.5 und 3.6).

Der Geschiebemergel wurde nur in den Bohrungen RKS 1 bis RKS 4, RKS 9 und RKS 10 angetroffen.

In der Grundmoräne können erfahrungsgemäß geringmächtige, nicht durchhaltende Sandlinsen (Geschiebesande) auftreten. Diese sind ggf. wasserführend und dann fließfähig.

In den o. g. Aufschlussbohrungen wurden keine Geschiebesande erbohrt.

Gemäß der vorgenannten geologischen Karte sind die Grundmoränenablagerungen stratigraphisch der Saale-Kaltzeit (Serie Pleistozän des Systems Quartär) zuzuordnen.

bis ca. 4,4 m unter GOK

Schluff, sandig, schwach tonig, mit geringmächtigen Sandlinsen durchsetzt, erdfeucht bis grundwasserführend und dann fließfähig.

Der in der Bohrung RKS 4 von ca. 2,3 m bis ca. 4,4 m unter GOK erbohrte Schluff besitzt im ungestörten Zustand eine steifplastische Konsistenz.

**bis ca. 5,2 m unter GOK bzw.
bis zur max. Aufschlusstiefe
von 5,0 m unter GOK**

Ton, stark schluffig, schwach sandig, z. T. mit Sand-Linsen durchsetzt, erdfeucht. Der in den Bohrungen RKS 1, RKS 2 und RKS 10 erbohrte Ton besitzt eine steifplastische Konsistenz. Die Bohrungen

RKS 1 und RKS 2 wurden beim Erreichen der angestrebten Endteufe von 5,0 m unter GOK im Ton eingestellt.

Gemäß der vorgenannten geologischen Karte handelt es sich bei dem Ton und um den in der Bohrung RKS 4 erbohrten Schluff um sogenannte Beckenablagerungen, die stratigraphisch der Saale-Kaltzeit zuzuordnen sind.

bis zur max. Aufschlusstiefe von 6,0 m unter GOK

Mittelsand, feinsandig, z. T. schwach grobsandig, schwach schluffig, und **Feinsand**, schwach mittelsandig bis stark mittelsandig, schwach schluffig bis stark schluffig, erdfeucht bis grundwasserführend und dann fließfähig.

Die vorgenannten Sande sind mitteldicht, zur Tiefe hin auch dicht bis sehr dicht gelagert.

Die in den Bohrungen RKS 3 bis RKS 10 zur Tiefe hin erbohrten Sande sind gemäß den Angaben der vorgenannten geologischen Karte stratigraphisch in die Saale-Kaltzeit (sogenannte Vorschüttsande) zu stellen.

Die Aufschlussbohrungen wurden beim Erreichen der angestrebten Endteufen von 5,0 m unter GOK im Ton (RKS 1 und RKS 2) und in den sogenannten Vorschüttsanden (RKS 3 bis RKS 10) eingestellt.

4.2 Grundwasser

Das Grundwasser wurde im Zuge der Baugrunduntersuchungen am 05.10. und 06.10.2021 zwischen ca. 3,5 m (RKS 10) und ca. 3,0 m unter GOK (RKS 4, RKS 5 und RKS 7) bzw. zwischen ca. 74,2 m ü. NHN (RKS 10) und ca. 74,7 m ü. NHN (RKS 4) angetroffen.

Der mittlere Grundwasserstand lag bei ca. 74,5 m ü. NHN.

Unter Berücksichtigung der Angaben der Karten der Grundwassergleichen in Nordrhein-Westfalen 1 : 50.000, Blatt L 3914 Bad Iburg, ist der geschätzte mittlere höchste Grundwasserstand (mHGW) ca. 1,0 m über dem vorgenannten mittleren Grundwasserstand bzw. bei ca. 75,5 m ü. NHN anzusetzen. Der geschätzte maximale Grundwasserstand (Bemessungsgrundwasserstand HGW) ist bei ca. 76,0 m ü. NHN anzusetzen.

Der niedrigste Grundwasserstand ist ca. 0,5 m unter dem vorgenannten mittleren Grundwasserstand bzw. bei ca. 74,0 m ü. NHN anzusetzen.

Der Wasserhaushalt der örtlich oberflächennah anstehenden bindigen Böden unterliegt unmittelbar den vor Ort stattfindenden Regenereignissen. In und oberhalb dieser Böden ist mit temporär aufstauendem Sickerwasser zu rechnen. Nach langanhaltenden, starken Niederschlägen können somit die örtlich oberflächennah anstehenden bindigen Böden auch bis zur GOK im wassergesättigten Zustand vorliegen.

4.3 Organoleptische Bewertungen

Die entnommenen Bodenproben wurden organoleptisch bewertet. Dabei wurde im untersuchten Bereich nur in den Bohrungen RKS 1 und RKS 2, die auf der Straße „Am Sportplatz“ ausgeführt wurden, eine anthropogene Auffüllung in einer Mächtigkeit von ca. 0,5/0,9 m in der im Kapitel 4.1 beschriebenen Zusammensetzung festgestellt.

An den entnommenen Bodenproben wurde, bis auf den in der Bohrung RKS 1 erbohrten Recycling-Schotter sowie die in der Bohrung RKS 2 erbohrten unterschiedlichen Massenanteile an Bauschutt und Ziegelresten, kein weiterer organoleptisch positiver bzw. optisch oder geruchlich auffälliger Befund, der einen Hinweis auf eine Schadstoffbelastung gibt, festgestellt.

Generell ist bei Baumaßnahmen darauf zu achten, dass Nester mit Verunreinigungen oder auffällige Anschüttungen, die durch eine stichprobenartige Untersuchung nicht zu erfassen sind, erst bei den Erdarbeiten angetroffen werden können.

Beim Antreffen derartiger Verunreinigungen ist das Erdbaulabor Dr. F. Krause unverzüglich zur Klärung der weiteren Vorgehensweise einzuschalten.

4.4 Gefährdungspotenziale des Untergrundes

Gemäß dem seitens der Bezirksregierung Arnsberg, Abteilung Bergbau und Energie in NRW, und des Geologischen Dienstes NRW zur Verfügung gestellten Internet-Auskunftssystem „Gefährdungspotenziale des Untergrundes in Nordrhein-Westfalen“ ist im Bereich des Baugrundstücks und der näheren Umgebung (**Kilometerquadrat 31019**) kein oberflächennaher Bergbau umgegangen. Es liegen keine Hinweise auf verlassene Tagesöffnungen vor und im Untergrund stehen keine Gesteine an, die zur Verkarstung oder Auslaugung neigen. Mit Methanausgasungen ist nicht zu rechnen.

4.5 Erdbebeneinwirkung

Gemäß der DIN EN 1998-1/NA beträgt im Bereich des Untersuchungsgrundstücks die spektrale Antwortbeschleunigung für eine Wiederkehrperiode T_{NCR} von 475 Jahren und für das Untergrundverhältnis A-R im Plateaubereich $S_{aP,R} \leq 0,2 \text{ m/s}^2$.

Danach ist das Untersuchungsgrundstück als Gebiet mit geringer Seismizität einzustufen.

5 Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

5.1 Bewertungsgrundlage

Die Bewertung der in den untersuchten Misch- (MP 1 und MP 2) und Materialproben [RKS 1 (0-0,1 m)] ermittelten Schadstoffgehalte erfolgt gemäß folgender Regel- und Tabellenwerke:

- Technische Regeln Boden der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen, Teil II: Technische Regeln für die Verwertung, 1.2 Bodenmaterial (TR Boden)“ (**LAGA-Richtlinie 2004**; nur MP 1 und MP 2)
- Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau [**RuVA-StB 01**; Schwarzdeckenprobe RKS 1 (0-0,1 m)]
- Abfallverzeichnis-Verordnung **AVV** [nur Schwarzdeckenprobe RKS 1 (0-0,1 m)]

Im Hinblick auf eine Verwertung bzw. Entsorgung von Bodenaushub werden in der **LAGA-Richtlinie 2004** folgende Zuordnungswerte als Obergrenzen der Einbauklassen unterschieden:

- | | |
|---------------------------|--|
| Zuordnungswert Z 0 | uneingeschränkter Einbau von Bodenmaterial möglich. |
| Zuordnungswert Z 1 | Die Zuordnungswerte Z 1 im Feststoff und Z 1.1 bzw. Z 1.2 im Eluat stellen die Obergrenze für den offenen Einbau von Bodenmaterial in technischen Bauwerken dar. Im Eluat gelten grundsätzlich die Z 1.1-Werte. Darüber hinaus kann in hydrogeologisch günstigen Gebieten Bodenmaterial mit Eluatkonzentrationen bis zu den Zuordnungswerten Z 1.2 eingebaut werden. Hydrogeologisch günstig sind u. a. Standorte, bei denen der Grundwasserleiter nach oben durch ausreichend mächtige Deckschichten mit hohem Rückhaltevermögen gegenüber Schadstoffen überdeckt ist oder Standorte mit hohem Grundwasserflurabstand. |
| Zuordnungswert Z 2 | Die Zuordnungswerte Z 2 stellen die Obergrenze für den Einbau von Bodenmaterial in technischen Bauwerken mit definierten technischen Sicherungsmaßnahmen dar. Dadurch soll der Transport von Inhaltsstoffen in den Untergrund und in das Grundwasser verhindert werden. |

Die Bewertung der Schwarzdeckenprobe **RKS 1 (0-0,1 m)** erfolgt gemäß der Richtlinie für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbausphal im Straßenbau (**RuVA-StB 01**).

In der vorgenannten Richtlinie ist festgelegt, dass teer-/pechhaltige Straßenausbaustoffe bei einem PAK-Gehalt von > 25 mg/kg vorliegen.

Bei einem Phenolindex im Eluat von $\leq 0,1$ mg/l sind die Straßenausbaustoffe in die Verwertungsklasse B (vorwiegend steinkohlenteertypisch) und bei einem Phenolindex im Eluat von > 0,1 mg/l in die Verwertungsklasse C (vorwiegend braunkohlenteertypisch) einzustufen.

Bei einem PAK-Gehalt ≤ 25 mg/kg und einem Phenolindex im Eluat von $\leq 0,1$ mg/l sind Straßenausbaustoffe als bitumenhaltig zu bezeichnen und in die Verwertungsklasse A (Ausbausphal) einzuordnen.

Bei einem Asbestgehalt von $\geq 0,1$ Gew.-% ist das Schwarzdeckenmaterial gemäß der Abfallverzeichnisverordnung (**AVV**) als gefährlich einzustufen und einer entsprechenden Entsorgung zuzuführen. Enthält der Abfall $< 0,1$ Gew.-% Asbest, gilt er als unbelastet und kann als nicht gefährliches Aushubmaterial entsorgt werden.

5.2 Bewertung hinsichtlich der Verwertung/Entsorgung von Bodenaushub gemäß der LAGA-Richtlinie 2004

Der in der Mischprobe **MP 1** in der Originalsubstanz ermittelte Gesamtgehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs (TOC) von 1,5 Gew.-% ist in die Kategorie Z 1 der LAGA-Richtlinie 2004 einzustufen. Alle weiteren untersuchten Parameter der Mischprobe MP 1 halten die jeweiligen Zuordnungswerte Z 0 der LAGA-Richtlinie 2004 ein (s. Anlage 4.1).

In der Mischprobe **MP 2** halten alle untersuchten Parameter die jeweiligen Zuordnungswerte Z 0 der LAGA-Richtlinie 2004 ein.

Gemäß den Ergebnissen der durchgeführten chemischen Untersuchungen ist das den Mischproben MP 1 und MP 2 entsprechende Bodenaushubmaterial in folgende Einbauklassen der LAGA-Richtlinie einzustufen und entsprechend diesen Einstufungen einer Verwertung zuzuführen:

| Mischprobe | Einstufung gem. LAGA 2004 | Einstufungsrelevante(r) Parameter |
|---|---------------------------|-----------------------------------|
| MP 1 (Geschiebemergel, Schluff und Ton) | Z 1 | TOC |
| MP 2 (Sand) | Z 0 | - |
| Feststoffparameter / Eluatparameter | | |

5.3 Schwarzdecke

In der Schwarzdeckenprobe **RKS 1 (0-0,1 m)** liegt der Gehalt an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und der Phenolindex unter der jeweiligen Nachweisgrenze.

Gemäß den Ergebnissen der durchgeführten chemischen Untersuchungen ist das der Schwarzdeckenprobe RKS 1 (0-0,1 m) entsprechende Ausbaumaterial in die Verwertungsklasse A (Ausbauasphalt) der RuVA-StB 01 einzustufen.

An der vorgenannten Schwarzdeckenprobe wurde ein Gesamtgehalt an Amphibolasbest der Faservarietät Aktinolith von 0,089 % nachgewiesen. Der Anteil der lungengängigen Asbestfasern (WHO) beträgt 0,002 Gew.-%.

Erst ab einem Asbestgehalt von $\geq 0,1$ Gew.-% ist gemäß der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) ein Aushubmaterial als gefährlich einzustufen.

Künstliche Mineralfasern (KMF) wurden nicht nachgewiesen (s. Anlage 5).

Gemäß der Abfallverzeichnisverordnung (**AVV**) ist das der vorgenannten Schwarzdeckenprobe entsprechende Ausbaumaterial als nicht gefährliches Ausbaumaterial einzustufen und kann somit unter der Abfallschlüsselnummer 170302 [Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 170301* (kohlenteerhaltige Bitumengemische) fallen] verwertet bzw. entsorgt werden.

5.4 Hinweise zu den durchgeführten Untersuchungen

Es wird darauf hingewiesen, dass die jeweiligen Kippstellen über den Umfang der LAGA-Richtlinie hinaus zur Verwertung ggf. noch weitere chemische Untersuchungen benötigen.

Die chemischen Untersuchungen können bei einer zeitnahen Beauftragung an den Rückstellproben der Aufschlussbohrungen durchgeführt werden. Es wird in diesem Zusammenhang auf die im Kapitel 2 genannte Aufbewahrungszeit der entnommenen Boden- und Materialproben hingewiesen.

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den durchgeführten chemischen Analysen um eine orientierende Untersuchung handelt. In der Regel nehmen Kippstellen nur Materialien an, bei denen die chemischen Untersuchungen bzw. die Probenentnahmen nicht länger als 6 Monate zurückliegen. Sollte die Verwertung zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden, werden ggf. weitere Probenentnahmen und chemische Untersuchungen notwendig.

6 Homogenbereiche, Bodenkennwerte, Bodenklassen, Bodengruppen und Frostempfindlichkeitsklassen

6.1 Homogenbereiche

Nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind die angetroffenen Böden in folgende Homogenbereiche zu unterteilen:

| | |
|-------------------------------|--|
| Homogenbereich O | belebter humoser Oberboden (Mutterboden) |
| Homogenbereich 1 ₁ | aufgefüllter Schotter |
| Homogenbereich 1 ₂ | aufgefüllter Sand |
| Homogenbereich 2 | Schluff |
| Homogenbereich 3 | Geschiebemergel |
| Homogenbereich 4 | Ton |
| Homogenbereich 5 | Fein- und Mittelsand |

6.2 Bodenkennwerte

Die für die erdstatischen Berechnungen erforderlichen Bodenkennwerte sind, unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Rammsondierungen, als charakteristische Mittelwerte geschätzt, wie folgt in Ansatz zu bringen:

Material des bauzeitlichen Flächenfilters (Kiessand 0/32, Schotter 0/45) und/oder Bodenaustausch- bzw. Bodenauffüllmaterial (Kiessand 0/32, Sand, Grubenkies, Schotter 0/45, Recycling)

| | | | |
|------------------------------------|---|------------------------|---------------------|
| Wichte γ | : | 19,5 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 11,5 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 35,0 | ° |
| Kohäsion c' | : | 0 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | ≥ 60 | MN/m ² |
| Durchlässigkeits- beiwert k_f | : | > 1 · 10 ⁻⁴ | m/s |
| Proctordichte D_{Pr} | : | 100 | % |

Auffüllung (Schotter)

(Homogenbereich 1)

| | | | |
|------------------------------------|---|-----------------------|---------------------|
| Wichte γ | : | 19,5 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 11,5 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 35,0 | ° |
| Kohäsion c' | : | 0 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | 80 | MN/m ² |
| Durchlässigkeits- beiwert k_f | : | ca. $1 \cdot 10^{-4}$ | m/s |

Aufgefüllter Sand

(Homogenbereich 1₂)

| | | | |
|------------------------------------|---|-----------------------|---------------------|
| Wichte γ | : | 18,5 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 10,5 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 32,5° | |
| Kohäsion c' | : | 0 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | 40 | MN/m ² |
| Durchlässigkeits- beiwert k_f | : | ca. $5 \cdot 10^{-5}$ | m/s |

Schluff, steifplastisch

(Homogenbereich 2)

| | | | |
|------------------------------------|---|-----------------------|--|
| Wichte γ | : | 19,0 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 9,0 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 27,5 | ° |
| Kohäsion c' | : | 5 | kN/m ² (bei Wassersättigung und im gestörten Zustand gegen 0 kN/m ² gehend) |
| Steifeziffer E_s | : | 15 | MN/m ² |
| Durchlässigkeits- beiwert k_f | : | ca. $1 \cdot 10^{-7}$ | m/s |

Schluff, halbfest

(Homogenbereich 2)

| | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------|---|
| Wichte γ | : | 19,5 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 9,5 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 27,5 | ° |
| Kohäsion c' | : | 5 | kN/m ² (bei Wassersättigung und im gestörten Zustand gegen 0 kN/m ² gehend) |
| Steifeziffer E_s | : | 20 | MN/m ² |
| Durchlässigkeitsbeiwert k_f | : | ca. $1 \cdot 10^{-7}$ | m/s |

Geschiebemergel

(Homogenbereich 3)

| | | | |
|-------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| Wichte γ | : | 19,0 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 9,0 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 25,0 | ° |
| Kohäsion c' | : | 20 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | 15 | MN/m ² |
| Durchlässigkeitsbeiwert k_f | : | $< 1 \cdot 10^{-9}$ | m/s |

Ton

(Homogenbereich 4)

| | | | |
|-------------------------------|---|---------------------|---------------------|
| Wichte γ | : | 19,0 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 9,0 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 22,5 | ° |
| Kohäsion c' | : | 20 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | 10 | MN/m ² |
| Durchlässigkeitsbeiwert k_f | : | $< 1 \cdot 10^{-9}$ | m/s |

Fein- und Mittelsand, mitteldicht gelagert

(Homogenbereich 5)

| | | | |
|------------------------------------|---|--|---------------------|
| Wichte γ | : | 18,5 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 10,5 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 32,5 | ° |
| Kohäsion c' | : | 0 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | 40 | MN/m ² |
| Durchlässigkeits- beiwert k_f | : | ca. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s bis ca. $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (abhängig vom Feinkornanteil) | |

Fein- und Mittelsand, dicht bis sehr dicht gelagert

(Homogenbereich 5)

| | | | |
|------------------------------------|---|--|---------------------|
| Wichte γ | : | 19,0 | kN/m ³ |
| (unter Auftrieb γ' | : | 11,0 | kN/m ³) |
| Reibungswinkel φ' | : | 35,0 | ° |
| Kohäsion c' | : | 0 | kN/m ² |
| Steifeziffer E_s | : | 60 | MN/m ² |
| Durchlässigkeits- beiwert k_f | : | ca. $1 \cdot 10^{-4}$ m/s bis ca. $1 \cdot 10^{-6}$ m/s (abhängig vom Feinkornanteil) | |

6.3 Bodenklassen gem. VOB/DIN 18300, Bodengruppen gem. DIN 18196 und Frostepfindlichkeitsklassen gem. ZTV E-StB 17

Für die Ausschreibung der Erdarbeiten sind die angetroffenen Bodenarten wie folgt zu klassifizieren und in folgende Bodengruppen einzuordnen:

Belebter humoser Oberboden (Mutterboden)

(Homogenbereich O)

Bodenklasse: 1
Bodengruppen: OU/OH

Anthropogene Auffüllung (Schotter)

(Homogenbereich 1₁)

Bodenklasse: 3
[bei grobstückigen Inhaltsstoffen, die durch das gewählte Aufschlussverfahren (Rammkernsondierbohrungen) nicht aufgeschlossen werden können (z. B. Grobschlag, grober Bauschutt), auch Klassen 5 bis 7]
Bodengruppen: A, [GW], [GI]
Frostepfindlichkeitsklasse: F 1 (nicht frostepfindlich)

Anthropogene Auffüllung (Sand)

(Homogenbereich 1₂)

Bodenklasse: 3
[bei grobstückigen Inhaltsstoffen, die durch das gewählte Aufschlussverfahren (Rammkernsondierbohrungen) nicht aufgeschlossen werden können (z. B. Grobschlag, grober Bauschutt), auch Klassen 5 bis 7]
Bodengruppe: [SU]
Frostepfindlichkeitsklassen: je nach Feinkornanteil und Ungleichförmigkeitszahl Klasse F 1 (nicht frostepfindlich) oder F 2 (gering bis mittel frostepfindlich)

Schluff

(Homogenbereich 2)

| | |
|------------------------------|---|
| Bodenklasse: | 4 (bei Verschlämmung, Wassersättigung bzw. einer Konsistenzzahl von $I_c \leq 0,5$: Klasse 2) |
| Bodengruppen: | UL, UM, TL |
| Frostempfindlichkeitsklasse: | F 3 (sehr frostempfindlich) |

Geschiebemergel

(Homogenbereich 3)

| | |
|------------------------------|--|
| Bodenklasse: | 5 (bei Verschlämmung, Wassersättigung bzw. einer Konsistenzzahl von $I_c \leq 0,5$: Klasse 2; bei ggf. auftretenden Findlingen in Blockgröße auch Klassen 6 und 7) |
| Bodengruppe: | TA (s. Anlagen 3.1 und 3.5) |
| Frostempfindlichkeitsklasse: | F 2 (gering bis mittel frostempfindlich) |

Ton

(Homogenbereich 4)

| | |
|------------------------------|---|
| Bodenklasse: | 5 (bei Verschlämmung, Wassersättigung bzw. einer Konsistenzzahl von $I_c \leq 0,5$: Klasse 2) |
| Bodengruppe: | TA |
| Frostempfindlichkeitsklasse: | F 2 (gering bis mittel frostempfindlich) |

Fein- und Mittelsand

(Homogenbereich 5)

| | |
|-------------------------------|---|
| Bodenklassen: | 3 und 4 |
| Bodengruppen: | SE, SU, SU* |
| Frostempfindlichkeitsklassen: | je nach Feinkornanteil und Ungleichförmigkeitszahl F 1 (nicht frostempfindlich; Bodengruppen SE und SU) und F 2 (gering bis mittel frostempfindlich; Bodengruppe SU) sowie F 3 (sehr frostempfindlich; Bodengruppe SU*) |

7 Gründungstechnische Folgerungen für den Kanalbau

7.1 Allgemeine Ausführungen zum Kanalbau

Die Kanalverlegung hat unter Beachtung der VOB/DIN 18300 (Erdarbeiten), VOB/DIN 18137 (Straßenbauarbeiten/Oberbauschichten), DIN EN 1610 (Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen), DIN 4124 (Baugruben und Gräben), der ZTV E-StB 17, der ZTVA-StB 12 sowie mitgeltender Normen und Richtlinien zu erfolgen.

7.2 Gründungstiefe

Gemäß den Angaben der SM Ingenieurplan GmbH wird zur Erschließung des Wohngebietes der in der Straße „Am Sportplatz“ vorhandene Mischwasserkanal nach Osten verlängert. Die Sohle des Mischwasserkanals liegt ca. 2,5 m unter dem Straßenniveau bzw. bei ca. 75,9 m ü. NHN.

7.3 Wasserhaltungsmaßnahmen

Bei den aktuellen bzw. bei wenig geänderten Grundwasserständen ist im Zuge der Kanalverlegung lediglich das anfallende Tageswasser bzw. das in sehr geringen Mengen anfallende Sicker- und Schichtenwasser über eine offene Wasserhaltung abzuführen. Gegebenenfalls in der Aushubebene anstehende durchlässige Sande sind frei von Baustellenresten und Verschlämmungen zu halten, damit die anfallenden Sicker- und Schichtenwässer sowie das Tageswasser ungehindert in den tieferen Untergrund versickern können.

Zum Schutz des Aushubplanums vor Verschlämmungen ist sofort nach Freilegung eines Teilbereiches der Aushubebene das Material der Kiessandbettungsschicht (z. B. Kiessand 0/32 oder eine äquivalente Mischung; Stärke ca. 0,3 m) anzudecken bzw. bei anstehenden verdichtungsfähigen Sanden die Sauberkeitsschicht einzubringen.

Die Kiessandbettungsschicht übernimmt bei anhaltenden Niederschlägen in Verbindung mit Pumpensäugern gleichzeitig die Funktion eines bauzeitlichen Flächenfilters.

Stehen ggf. in der Gründungsebene der Kanalsohle durchlässige und fließfähige Lockergesteine (Sande) an, dann wird bei Wasserständen etwa auf Höhe bzw. nur geringfügig oberhalb der geplanten Kanalsohle eine offene Wasserhaltung über einen bauzeitlichen Flächenfilter notwendig.

Sofort nach Freilegung eines Teilbereiches der Aushubebene ist dann das Material der Kanalbettungsschicht, Kiessand 0/32 oder eine äquivalente Mischung, beginnend von einem Pumpensumpf aus, im Andeckverfahren einzubringen. Die Stärke des bauzeitlichen Kiessandflächenfilters richtet sich nach den anfallenden Wassermengen und der Stabilität der Aushubsohle und ist im Zuge der Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten noch exakt festzulegen. Zunächst ist eine Stärke von ca. 0,3 m für die Ausschreibung anzusetzen.

Bei Wasserständen deutlich oberhalb der geplanten Kanalsohle sind ggf. in der Kanalsohle anstehende durchlässige und fließfähige Sande über Vakuumfilter (z. B. kiesummantelte Vakuumfilter bzw. OTO-Filter) oder über Brunnen zu entwässern. Alternativ dazu kann auch eine Wasserhaltung über eine Tiefendränage, die mittels einer Schlitzfräse in den Untergrund einzubauen ist, erfolgen. Die Filter bzw. die Brunnen werden bis ca. 2,0 m unter der vorgenannten Gründungsebene in den Baugrund eingeleitet und stehen maximal 1,5 m auseinander. Die Tiefendränage ist mindestens 0,5 m unter der angenommenen Kanalsohlentiefe von ca. 75,9 m ü. NHN bzw. bei ca. 75,4 m ü. NHN zu verlegen. Die Vorlaufzeit beträgt mindestens 48 Stunden.

Wird die Aushubebene über die Vakuumfilterbrunnenanlage, über die Brunnen oder über die Tiefendränage nur unvollkommen entwässert, ist ergänzend zur vorgenannten Wasserhaltung der Einbau eines bauzeitlichen Flächenfilters (Kiessand 0/32 oder eine äquivalente Mischung; Stärke ca. 0,3 m) erforderlich. Dabei übernimmt das Material des bauzeitlichen Flächenfilters gleichzeitig die Funktion der Bettungsschicht der Kanalrohre.

Sofort nach Freilegung eines Teilbereiches der Aushubebene ist dann das Material des bauzeitlichen Flächenfilters, beginnend von einem Pumpensumpf aus, im Andeckverfahren einzubringen.

Es wird empfohlen, unmittelbar vor Beginn der Neubaumaßnahmen an verschiedenen Stellen Baggerschürfe anzulegen bzw. ergänzende Aufschlussbohrungen abzuteufen, um die Grundwasserstände zum Zeitpunkt der Bauarbeiten zu erkunden.

7.4 Tragfähigkeit des Baugrundes und Baugrundverbesserungsmaßnahmen

Wie den Schichtenprofilen auf den Anlagen 2.1 bis 2.14 und 2.12a zu entnehmen ist, stehen in der angenommenen Kanalsohlentiefe von ca. 75,9 m ü. NHN steifplastische bindige Böden (Geschiebemergel und Ton), ggf. auch verdichtungsfähige Sande, und somit ausreichend tragfähiger Baugrund an.

Ein über die Stärke des ggf. erforderlichen bauzeitlichen Flächenfilters (Kies-sand 0/32 oder eine äquivalente Mischung oder Bodenart, Stärke ca. 0,3 m; s. Kapitel 7.3), der dann die Funktion einer Bettungsschicht übernimmt, hinausgehender Bodenaustausch wird i. d. R. nicht erforderlich.

Bei der Verdichtung des bauzeitlichen Flächenfiltermaterials und der ggf. aufgelockerten Bereiche sind die Vorgaben der ZTV E-StB 17 sowie der ZTV A-StB 12 zu beachten. Die geforderten Verdichtungen sind nachzuweisen.

Werden bei den Verdichtungsarbeiten für die Bettungsschicht dynamisch wirkende Verdichtungsgeräte verwendet, ist deren Eindringtiefe so zu wählen, dass ggf. unterlagernde wassergesättigte, gemischtkörnige und bindige Böden nicht dynamisch beansprucht werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass dynamische Beanspruchungen bei Böden mit hohem Wassergehalten einen Porenwasserüberdruck im Boden bewirken, wodurch die Tragfähigkeit stark herabgesetzt wird (es entsteht ein sogenannter „Matratzeneffekt“).

Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung sollte ergeben, welches Material für die ggf. erforderliche Kiessandbettungsschicht gewählt werden kann.

Bezüglich der gründungstechnisch erforderlichen Maßnahmen und der geforderten Verdichtungsnachweise wird auf die Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten durch das Erdbaulabor Dr. F. Krause hingewiesen.

7.5 Kanalgrabensicherung, Kanalverlegung

Die Baugrubenwände können in den Sanden sowie in weich- bis steifplastischen bindigen Böden (Schluff, Geschiebemergel und Ton) bis 45° und in den mindestens steifplastischen bindigen Böden bis 60° abgeböschert werden. Die Böschungen sind bei Bedarf (z. B. bei starken Niederschlägen) ggf. gegen Erosion durch Folienabdeckung zu schützen.

Alternativ kann bei den Kanalgräben ein senkrechter Grabenverbau, z. B. ein Kanaldielenverbau, Gleitschienenverbau bzw. ein Spundwandverbau, der statisch zu bemessen ist, ausgeführt werden.

Für die Ausführung der Kanalgräben und der Verbaumaßnahmen gelten die Vorgaben der DIN 4124.

Die Kanalrohre sind kraftschlüssig in einer Kiessandbettungsschicht oder in den anstehenden verdichtungsfähigen Böden (siehe Kapitel 7.4) zu verlegen. Bei der Verfüllung des Kanalgrabens ist insbesondere auf eine sorgfältige Verdichtung der Füllböden seitlich der Rohre zu achten.

Bezüglich der Verfüllung und der Verdichtung wird insbesondere auf die entsprechenden Angaben der DIN EN 1610, der ZTV E-StB 17 und der ZTV A-StB 12 hingewiesen.

7.6 Verwendung des Aushubmaterials

Die Verwendung der im Zuge der Gründungsarbeiten anfallenden aufgefüllten Aushubböden als Füll- bzw. Auffüllmaterial ist unter umweltrelevanten Gesichtspunkten mit dem zuständigen Umweltamt abzustimmen.

Die im Zuge der Aushubarbeiten anfallenden Sande sind im erdfeuchten Zustand einbau- und verdichtungsfähig.

Die anfallenden bindigen Böden (Schluff, Geschiebemergel und Ton) sind nur im erdfeuchten Zustand und bei fehlenden Niederschlägen verdichtungsfähig und somit als Füll- bzw. Auffüllmaterial, z. B. für Geländeprofilierungen, nur bedingt geeignet.

Gemäß den Angaben der ZTV A-StB 12, Kapitel 4.3.2 „Verfüllzone“, sind lediglich die örtlich anfallenden erdfeuchten Schluffe und Sande für das Verfüllen von Leitungsgräben geeignet.

Die beim Aushub anfallenden ausgeprägt plastischen Böden (Geschiebemergel und Ton) sowie vernässte nicht verdichtungsfähige Schluffe sind für die Verfüllung von Leitungsgräben nicht geeignet und müssen abgefahren werden.

Der zum Wiedereinbau geeignete Boden ist durch Folienabdeckungen gegen Witterungseinflüsse zu schützen und im Zuge der Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten auf seine Verwendung als Füllboden zu prüfen.

Das für die Verfüllung der Kanalgräben vorgesehene Material ist in Lagenstärken bis maximal 0,3 m einzubringen und mittels geeigneter Verdichtungsgeräte bis auf ca. 98 % - 100 % der Proctordichte zu verdichten.

Die geforderte Verdichtung ist nachzuweisen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten durch das Erdbaulabor Dr. F. Krause hingewiesen.

Der für die Verfüllung der Leitungszonen vorgesehene Boden ist nur bis zur Unterkante des frostsicheren Oberbaus einzubauen und entsprechend zu verdichten.

Im Zuge der Gründungsarbeiten fällt neben den o. g. Böden gegebenenfalls auch humoser Oberboden (Mutterboden) an.

Es wird an dieser Stelle auf den § 202, Schutz des Mutterbodens, des Baugesetzbuches hingewiesen. Danach ist *„Mutterboden, der bei der Errichtung und Änderung baulicher Anlagen sowie bei wesentlichen anderen Veränderungen der Erdoberfläche ausgehoben wird, ... in nutzbarem Zustand zu erhalten und vor Vernichtung oder Vergeudung zu schützen“*.

8 Gründungstechnische Folgerungen für den Bau von Wohnhäusern

8.1 Gründungsart

Es wird angenommen, dass die Gründung von nicht unterkellerten und unterkellerten Häusern auf bewehrten Sohlplatten erfolgen wird.

Auf die Ausführung von Frostschrüzen kann bei einer Sohlplattengründung verzichtet werden, wenn unter der Sohlplatte von nicht unterkellerten Wohnhäusern bis mindestens 0,8 m unter der geplanten Geländeoberkante (GOK) eine Schicht aus frostunempfindlichem Lockergesteinsmaterial eingebaut wird. Stehen in der Planumsebene für die Tragschicht schwach bis sehr schwach durchlässige bindige Böden an, ist die Tragschicht der Sohlplatte zur Verhinderung eines Aufstaus von Sickerwasser zu dränieren.

Werden die ggf. zur Ausführung kommenden Frostschrüzen zum Lastabtrag mit herangezogen, dann erfüllen sie die Funktion von Streifenfundamenten.

Die Fundamentabmessungen sowie die Stärken der Sohlplatten sind noch vom Tragwerksplaner festzulegen.

8.2 Gründungstiefe

Die angenommene Gründungsebene der Sohlplatten liegt bei ca. 77,35 m ü. NHN. Die frostfreie Gründungsebene der Frostschrüzen bzw. der Fundamente wird bei ca. 76,8 m ü. NHN angenommen. Die Gründungsebene der Kellerfußboden-Unterkante (KFUK) liegt bei ca. 74,80 m ü. NHN.

8.3 Tragfähigkeit des Baugrundes und Baugrundverbesserungsmaßnahmen

Wie den Schichtenprofilen und den Rammdiagrammen auf den Anlagen 2.1 bis 2.14 und 2.12a zu entnehmen ist, wurden in den angenommenen Gründungsebenen der Sohlplatten bei ca. 77,35 m ü. NHN, der Fundamente (Frostschürzen) bei ca. 76,8 m ü. NHN sowie unter den ggf. zur Ausführung kommenden Kellersohlen bei ca. 74,80 m ü. NHN unterschiedliche Böden (Sand, Geschiebemergel, Schluff und Ton) angetroffen.

Um ein ausreichend tragfähiges Gründungsplanum gewährleisten zu können, ist unter den Sohlplatten von nicht unterkellerten Häusern und den Frostschürzen, wenn sie zum Lastabtrag mit herangezogen werden und dann die Funktion eines Streifenfundamentes erfüllen, entweder durch eine Nachverdichtung der örtlich anstehenden verdichtungsfähigen Sande oder durch einen Bodenaustausch bzw. eine Bodenauffüllung eine Tragschicht in einer Stärke von mindestens 0,3 m herzustellen.

Gegebenenfalls in der Aushubebene des Bodenaustauschpolsters anstehender stark vernässter und dann nicht verdichtungsfähiger bindiger Boden ist vollständig bis auf den mindestens steifplastischen bindigen Boden auszuheben und durch das empfohlene Bodenaustauschmaterial zu ersetzen.

Bei Bedarf dient das empfohlene Bodenaustausch- bzw. Bodenauffüllmaterial in Verbindung mit Pumpensäulungen als bauzeitlicher Flächenfilter.

Es wird in diesem Zusammenhang auf die Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten durch das Erdbaulabor Dr. F. Krause hingewiesen.

Unter den ggf. zur Ausführung kommenden Kellersohlen wird i. d. R. ein über die Stärke des ggf. erforderlichen bauzeitlichen Flächenfilters (Kiessand 0/32 oder Kalksteinschotter 0/45, Stärke ca. 0,3 m) hinausgehender Bodenaustausch nicht erforderlich.

Als Bodenaustausch- bzw. Bodenauffüllmaterial ist nicht bindiges, stark wasser-durchlässiges und verdichtungsfähiges Lockergesteinsmaterial wie Kiessand 0/32, Grubenkies, Sand, Kalkstein-Schotter 0/45 bzw. eine äquivalente Mischung oder Bodenart zu verwenden.

Das Bodenaustausch- bzw. Bodenauffüllmaterial ist in Lagenstärken bis maximal 0,3 m einzubringen und mit geeigneten Verdichtungsgeräten bis auf ca. 100 % der Proctordichte zu verdichten.

Werden bei den Verdichtungsarbeiten für die Tragschichten dynamisch wirkende Verdichtungsgeräte verwendet, ist deren Eindringtiefe so zu wählen, dass ggf. unterlagernde wassergesättigte bindige Böden nicht dynamisch beansprucht werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass dynamische Beanspruchungen bei wassergesättigten bindigen Böden bei hohen Wassergehalten einen Porenwasserüberdruck im Boden bewirken, wodurch die Tragfähigkeit stark herabgesetzt wird (es entsteht ein so genannter „Matratzeneffekt“).

Das Befahren des Erdplanums mit schweren oder gummibereiften Baufahrzeugen ist zu unterlassen. Bei Bedarf sind Baustraßen anzulegen.

Werden gleichkörnige Sande als Auffüll-/Austauschboden verwendet, wird empfohlen, unter den Sohlplatten als oberste Lage eine mindestens 0,15 m starke Schicht aus Kiessand 0/32 oder Schotter 0/45 einzubauen, um den geforderten Verdichtungswert erreichen zu können.

Bei Verdichtungsüberprüfungen durch Plattendruckversuche ist auf der Tragschicht, auch unter Berücksichtigung der für die Tragschicht angesetzten Steifeziffer von $E_s = 60 \text{ MN/m}^2$ (s. Kapitel 6.2), ein E_{v2} -Wert von mindestens 45 MPa zu erreichen.

Die geforderte Verdichtung ist nachzuweisen.

Sollten seitens des Sohlplattenherstellers abweichende Anforderungen an die Tragschicht unter der Gebäudesohle gestellt werden, so ist das Erdbaulabor Dr. F. Krause zu informieren.

Bezüglich der gründungstechnisch erforderlichen Maßnahmen und der geforderten Verdichtungsnachweise wird auf die Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten durch das Erdbaulabor Dr. F. Krause hingewiesen.

Sollte auf dem Baugrundstück unter den Sohlplatten von nicht unterkellerten Gebäuden der Einbau von Recyclingbaustoffen vorgesehen sein, ist dies im Vorfeld der Baumaßnahme mit den zuständigen Genehmigungsbehörden abzustimmen.

8.4 Wasserhaltungsmaßnahmen

8.4.1 Nicht unterkellerte Gebäude

Im nördlichen Baufeld, in dem die bindigen Böden oberflächennah anstehen, ist während der Gründungsarbeiten bzw. im Zuge der Ausschachtungsarbeiten nur das Tageswasser bzw. nur das ggf. in geringer Menge anfallende Sicker- und Schichtwasser in offener Haltung abzuführen.

Dabei dient das empfohlene Bodenaustausch- bzw. Bodenauffüllmaterial bei Bedarf in Verbindung mit Pumpensämpfen als bauzeitlicher Flächenfilter.

Im südlichen Baufeld, in dem ausschließlich durchlässige Sande anstehen, ist nach den bisher vorliegenden Grundwasserstandsmessungen, den anstehenden wasserdurchlässigen Böden und unter Beachtung einer Grundwasserspiegelschwankung von $\pm 2,0$ m eine Wasserhaltung während der Gründungsarbeiten und nach Fertigstellung des Bauwerkes nicht erforderlich.

Die Arbeitsräume und das Aushubplanum sind jedoch frei von Baustellenresten und Verschlämmungen zu halten, damit die anfallenden Sicker- und Schichtwässer ungehindert in den tieferen Untergrund versickern können.

8.4.2 Unterkellerte Gebäude

Bei den aktuellen bzw. bei wenig geänderten Grundwasserständen ist während der Gründungsarbeiten eine Wasserhaltung nicht erforderlich. Die Arbeitsräume und das Aushubplanum sind jedoch frei von Baustellenresten und Verschlämmungen zu halten, damit die anfallenden Sicker- und Schichtwässer ungehindert in den tieferen Untergrund versickern können. Gegebenenfalls in der Gründungsebene anstehende schwach bis sehr schwach durchlässige bindige Böden (Ton, Schluff und Geschiebemergel) sind in einer Stärke von mindestens 0,3 m auszuheben und durch das empfohlene Bodenaustauschmaterial (s. Kapitel 8.3) zu ersetzen.

Das empfohlene Bodenaustauschmaterial dient bei Bedarf in Verbindung mit Pumpensämpfen als bauzeitlicher Flächenfilter.

Zum Schutz des Aushubplanums vor Verschlämmungen ist sofort nach Freilegung eines Teilbereiches der Aushubebene das empfohlene Bodenaustauschmaterial anzudecken bzw. bei anstehenden verdichtungsfähigen Sanden die Sauberkeitsschicht einzubringen.

Bei Wasserständen oberhalb der angenommenen Gründungsebene der Kellersohle sind die unterhalb der Kellersohle anstehenden durchlässigen und fließfähigen Sande über Vakuumfilter (z. B. kiesummantelte Vakuumfilter bzw. OTO-Filter) oder über Brunnen zu entwässern. Alternativ dazu kann auch eine Wasserhaltung über eine Tiefendränage, die mittels einer Schlitzfräse in den Untergrund einzubauen ist, erfolgen.

Die Filter bzw. die Brunnen werden bis ca. 2,0 m unter der angenommenen Gründungsebene der Kellersohlen von ca. 74,8 m ü. NHN in den Baugrund eingeleitet und stehen maximal 1,5 m auseinander. Die Tiefendränage ist mind. 0,5 m unter der Gründungsebene der Kellersohle bzw. bei ca. 74,3 m ü. NHN zu verlegen. Die Vorlaufzeit beträgt mindestens 48 Stunden.

Wird die Aushubebene über die Vakuumfilterbrunnenanlage, über die Brunnen oder über die Tiefendränage nur unvollkommen entwässert, ist ergänzend zur vorgenannten Wasserhaltung der Einbau eines bauzeitlichen Flächenfilters (Kiessand 0/32 bzw. Kalkstein-Schotter 0/45 oder eine äquivalente Mischung oder Bodenart; Stärke ca. 0,3 m) erforderlich.

Sofort nach Freilegung eines Teilbereiches der Aushubebene ist dann das Material des bauzeitlichen Flächenfilters, beginnend von einem Pumpensumpf aus, im Andeckverfahren einzubringen.

Es wird empfohlen, unmittelbar vor Beginn der Neubaumaßnahmen an verschiedenen Stellen Baggerschürfe anzulegen bzw. ergänzende Aufschlussbohrungen abzuteufen, um die Grundwasserstände zum Zeitpunkt der Bauarbeiten zu erkunden.

8.5 Baugrubensicherung

Die Fundamentgruben können bis zu einer Tiefe von $t = 1,25$ m senkrecht ausgeschachtet werden. Bei einer tieferen Ausschachtung können die Baugrubenwände in den Sanden sowie weichplastischen bindigen Böden bis 45° und in den mindestens steifplastischen bindigen Böden bis 60° abgeböschet werden. Die Böschungen sind gegen Erosion durch Folienabdeckung zu schützen.

In den Bereichen, in denen keine Böschungen angelegt werden können, ist ein Baugrubenverbau (z.B. Trägerbohlwandverbau), der statisch nachzuweisen ist, vorzusehen.

Für die Ausführung der Baugruben und Verbaumaßnahmen gelten die Vorgaben der DIN 4124.

Im Übergangsbereich zur Nachbarbebauung sind die Aushubbegrenzungen gemäß DIN 4123 zu beachten.

8.6 Maßnahmen zum Schutz der Bauwerke gegen Grundwasser

Für geplante **nicht unterkellerte Gebäude**, die im südlichen Bereich des Erschließungsgebietes errichtet werden, kann aus gutachterlicher Sicht (OKFF EG bei ca. 77,8 m ü. NHN und UK-Sohle bei ca. 77,45 m ü. NHN; HGW bei ca. 76,0 m ü. NHN) der Lastfall Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser (z. B. gemäß der Wassereinwirkungsklasse W1.1-E nach DIN 18533-1; gemäß WU-Richtlinie, Beanspruchungsklasse 2) angesetzt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt werden:

- Das Gelände ist von den Gebäuden aus mit einem Gefälle so anzulegen, dass anfallendes Oberflächen- und Tageswasser von den Gebäuden weggeführt wird.
- Im Baufeld stehen ausschließlich durchlässige Sande an.
- Die Arbeitsräume der Fundamentgruben sind mit einem nicht bindigen (Feinkornanteil < 5 M.-%) und stark durchlässigen (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f > 1 \cdot 10^{-4}$ m/s) Lockergesteinsmaterial, wie z. B. Grubenkies, Sand oder Kiessand der Körnung 0/32, so zu verfüllen, dass eine Stauwasserbildung im Arbeitsraum vermieden wird.
- Als Tragschicht unter den geplanten Sohlfplatten ist nicht bindiges (Feinkornanteil < 5 M.-%), kapillARBrechendes, ausreichend durchlässiges (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f > 1 \cdot 10^{-4}$ m/s) und verdichtungsfähiges Lockergesteinsmaterial (z. B. Kiessand 0/32 oder Kalkstein-Schotter der Körnung 0/45 bzw. eine äquivalente Mischung oder Bodenart) zu verwenden.
- Das Aushubplanum ist frei von Baustellenresten und Verschlämmungen zu halten, damit die anfallenden Sicker- und Schichtwässer ungehindert in den tieferen Untergrund versickern können.

Sollte eine der vorgenannten Anforderungen nicht erfüllt werden, ist für die Planung des Gebäudes der Lastfall mäßige Einwirkung von drückendem Wasser (Wassereinwirkungsklasse W2.1-E gemäß der DIN 18533-1 bzw. Beanspruchungsklasse 1 gemäß WU-Richtlinie) in Ansatz zu bringen.

Aufgrund der angetroffenen hydrogeologischen Gegebenheiten (s. Kapitel 4.1 und 4.2) ist für die Sohlplatten sowie die ins Erdreich einbindenden Gebäudeteile von geplanten **nicht unterkellerten Gebäuden**, die im nördlichen Bereich des Erschließungsgebietes errichtet werden, der Lastfall drückendes Wasser anzusetzen. Die Sohlplatten sowie die erdberührenden Bauteile sind demnach in wasserundurchlässigem Beton (gemäß WU-Richtlinie, Beanspruchungsklasse 1) oder mit einer Abdichtung gegen drückendes Wasser (z. B. gemäß der DIN 18533-1, Einwirkungsklasse W2.1-E; mäßige Einwirkung von drückendem Wasser ≤ 3 m Eintauchtiefe) auszuführen.

Für die im nördlichen Bereich des Erschließungsgebietes geplanten nicht unterkellerten Gebäude kann der Lastfall Bodenfeuchte und nicht drückendes Wasser nur dann angesetzt werden, wenn zur Verhinderung eines Aufstaus von Sicker- und Schichtwasser eine auf Dauer funktionsfähige Drainage gemäß DIN 4095 verlegt wird. Zur Festlegung der erdseitigen Einwirkung auf die Abdichtungsschicht gilt dann die Wassereinwirkungsklasse W1.2-E gemäß der DIN 18533-1 bzw. die Beanspruchungsklasse 2 gemäß der WU-Richtlinie. Das Dränagesystem verhindert einen Aufstau von Sickerwasser durch Niederschläge in den Arbeitsräumen und verändert nicht die Grundwasserverhältnisse im Bereich der Bebauung. Eine Abführung der sich ggf. in den Arbeitsräumen anfallenden Sickerwässer hat keine nachteilige Auswirkung auf die hydrogeologischen Verhältnisse in der Umgebung.

Das Gelände ist von den Gebäuden aus mit einem Gefälle so anzulegen, dass anfallendes Oberflächen- und Tageswasser vom Bauwerk weggeführt wird. Die Arbeitsräume der Fundamentgruben sind bei einer Ausführung einer auf Dauer funktionsfähigen Drainage mit einem nicht bindigen (Feinkornanteil < 5 M.-%) und stark durchlässigen Lockergesteinsmaterial (Durchlässigkeitsbeiwert $k_f > 1 \cdot 10^{-4}$ m/s) so zu verfüllen, dass eine Stauwasserbildung im Arbeitsraum oberhalb der Dränung vermieden wird. Alternativ zur Arbeitsraumverfüllung mit nicht bindigem Lockergesteinsmaterial können Kiessandsickerschlitze oder Dränplatten vorgesehen werden.

Insbesondere sind Verschlammungen oder Ablagerungen von Baustellenresten zu vermeiden und ggf. zu entfernen.

Aufgrund der angetroffenen hydrogeologischen Gegebenheiten (s. Kapitel 4.1 und 4.2) ist für **unterkellerte Gebäude** der Lastfall drückendes Wasser anzusetzen. Das Kellergeschoss ist deshalb in wasserundurchlässigem Beton (z. B. gemäß WU-Richtlinie, Beanspruchungsklasse 1) oder mit einer Abdichtung gegen drückendes Wasser auszuführen (z. B. gemäß der DIN 18533-1, Einwirkungsklasse W2.1-E; mäßige Einwirkung von drückendem Wasser ≤ 3 m Ein-tauchtiefe).

Der wasserundurchlässige Beton bzw. die Abdichtung gegen drückendes Wasser ist mindestens bis zur zukünftigen GOK hochzuziehen. Gegebenenfalls vorgesehene Lichtschächte oder Kellerzugänge von außen sind in die Gebäudeabdichtung mit einzubeziehen.

Bei der Bemessung der Kellersohlen bzw. der aufgehenden Kellerwände ist ein Wasserdruck von UK-Sohle bis zu dem im Kapitel 4.2 genannten geschätzten maximalen Grundwasserstand von ca. 76,0 m ü. NHN zu berücksichtigen.

8.7 Belastung des Baugrundes, Setzungsverhalten und Grundbruchsicherheit

8.7.1 Nördliches Baufeld

Unter Beachtung der zulässigen Setzungen von $S_g = 2,0$ cm, der zulässigen Setzungsdifferenzen von $\Delta S = 1,0$ cm auf 5,0 m bzw. der noch zulässigen Winkelverdrehung von $\alpha_{krit} = 1/500$ und der Grundbruchsicherheit [Ausnutzungsgrad μ (parallel zu b) $\leq 1,0$; Teilsicherheit $\gamma_{R,v} \geq 1,4$] sind folgende Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes ($\sigma_{R,d}$) anzusetzen bzw. unter Berücksichtigung der Gesamtsicherheit folgende charakteristische Sohldruckspannungen ($\sigma_{zul.}$) in der Lasteintragsfläche (Unterkante Fundament) zulässig:

Streifenfundamente (Frostschürzen)

| Fundamentbreite b (m) | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ (kN/m ²) | 472 | 456 | 453 | 426 | 377 | 341 | 289 | 257 |
| Zul. Sohldruck $\sigma_{zul.}$ (kN/m ²) | 346 | 334 | 332 | 312 | 276 | 250 | 212 | 188 |
| Gesamtsetzungen S_g (cm) | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Bettungsmodul k_s (MN/m ³) | 28,8 | 21,7 | 18,0 | 15,6 | 13,8 | 12,5 | 10,6 | 9,4 |

Zwischenwerte sind entsprechend den Darstellungen auf der Anlage 6.1 geradlinig einzuschalten.

Die Mindestbreite der Fundamente beträgt $b = 0,3$ m und die Mindesteinbindetiefe $t = 0,8$ m (einschließlich Sohlplattenstärke).

Bei geringer belasteten Fundamentkonstruktionen ist eine Reduzierung der Mindestwerte der Fundamentabmessungen zulässig.

Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Sohlplatten Gründung die Hauptlasten im Bereich der Gebäudesohlen überwiegend streifenförmig unter den Wänden auftreten.

Für eine unter der Sohlplatte in einer Breite von ca. $b = 1,25$ m wirkende charakteristische Streifenlast von ca. $R = 250$ kN/m, das entspricht einer resultierenden charakteristischen Sohldruckbeanspruchung von ca. $\sigma_{\text{vorh}} = 200$ kN/m² bzw. einem Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes von ca. $\sigma_{R,d} = 280$ kN/m², wurden überschlägige Setzungsberechnungen ausgeführt.

Entsprechend den Ergebnissen der Setzungsberechnungen auf den Anlagen 6.2 und 6.3 ergeben sich rechnerisch Setzungen von ca. $S_g = 2,23$ cm (nicht unterkellerte Bauweise) und von ca. $S_g = 1,73$ cm (unterkellerte Bauweise).

Für die Bemessung der Gebäudesohlen ist ein Bettungsmodul von $k_s = 9,0$ MN/m³ (nicht unterkellerte Bauweise) und von $k_s = 11,6$ MN/m³ (unterkellerte Bauweise) in Ansatz zu bringen.

Die Setzungen werden bei den vorgenannten Belastungen und den dazugehörigen Fundamentabmessungen bzw. der angenommenen Lastverteilung innerhalb der Sohlplatte rechnerisch $S_g = 1,73$ cm (Kellersohle), $S_g = 2,0$ cm (Streifenfundamente) und $S_g = 2,23$ cm (Sohlplatte nicht unterkellerte Gebäude) nicht überschreiten. Die Setzungsdifferenzen, die sich durch die unterschiedlichen Baugrundverhältnisse ergeben, betragen nach den überschlägigen Setzungsberechnungen bei annähernd gleichmäßig zu erwartender Lastverteilung nur wenige Millimeter und können vernachlässigt werden.

Unzulässige Setzungen und Setzungsdifferenzen sind somit nicht zu erwarten.

Nach Fertigstellung des Last- und Fundamentplanes ist eine Überprüfung des Setzungsverhaltens vorzunehmen.

Die Fundamente und die Sohlplatten besitzen bei den vorgenannten Belastungen und den dazugehörigen Abmessungen bzw. der vorgenannten Lastverteilung innerhalb der Sohlplatte eine ausreichende Grundbruchsicherheit [Ausnutzungsgrad μ (parallel zu b) $\leq 1,0$; Teilsicherheit $\gamma_{R,v} \geq 1,4$].

8.7.2 Südliches Baufeld

Unter Beachtung der zulässigen Setzungen von $S_g = 2,0$ cm, der zulässigen Setzungsdifferenzen von $\Delta S = 1,0$ cm auf 5,0 m bzw. der noch zulässigen Winkelverdrehung von $\alpha_{krit} = 1/500$ und der Grundbruchsicherheit [Ausnutzungsgrad μ (parallel zu b) $\leq 1,0$; Teilsicherheit $\gamma_{R,v} \geq 1,4$] sind folgende Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes ($\sigma_{R,d}$) anzusetzen bzw. unter Berücksichtigung der Gesamtsicherheit folgende charakteristische Sohldruckspannungen ($\sigma_{zul.}$) in der Lasteintragsfläche (Unterkante Fundament) zulässig:

Streifenfundamente (Frostschürzen)

| Fundamentbreite b (m) | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ (kN/m²) | 324 | 344 | 364 | 385 | 405 | 425 | 456 | 483 |
| Zul. Sohldruck $\sigma_{zul.}$ (kN/m²) | 237 | 252 | 267 | 282 | 297 | 311 | 334 | 354 |
| Gesamtsetzungen S_g (cm) | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 1,3 | 1,5 |
| Bettungsmodul k_s (MN/m³) | 68,2 | 53,6 | 44,7 | 38,6 | 34,4 | 31,2 | 26,7 | 23,5 |

Zwischenwerte sind entsprechend den Darstellungen auf der Anlage 6.4 geradlinig einzuschalten.

Die Mindestbreite der Fundamente beträgt $b = 0,3$ m und die Mindesteinbindetiefe $t = 0,8$ m (einschließlich Sohlplattenstärke).

Bei geringer belasteten Fundamentkonstruktionen ist eine Reduzierung der Mindestwerte der Fundamentabmessungen zulässig.

Es wird davon ausgegangen, dass bei einer Sohlplatten Gründung die Hauptlasten im Bereich der Gebäudesohlen überwiegend streifenförmig unter den Wänden auftreten.

Für eine unter der Sohlplatte in einer Breite von ca. $b = 1,25$ m wirkende charakteristische Streifenlast von ca. $R = 250$ kN/m, das entspricht einer resultierenden charakteristischen Sohldruckbeanspruchung von ca. $\sigma_{\text{vorh}} = 200$ kN/m² bzw. einem Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes von ca. $\sigma_{R,d} = 280$ kN/m², wurden überschlägige Setzungsberechnungen ausgeführt.

Entsprechend den Ergebnissen der Setzungsberechnungen auf den Anlagen 6.5 und 6.6 ergeben sich rechnerisch Setzungen von ca. $S_g = 0,92$ cm (nicht unterkellerte Bauweise) und von ca. $S_g = 0,68$ cm (unterkellerte Bauweise).

Für die Bemessung der Gebäudesohlen ist ein Bettungsmodul von $k_s = 21,7$ MN/m³ (nicht unterkellerte Bauweise) und von $k_s = 29,4$ MN/m³ (unterkellerte Bauweise) in Ansatz zu bringen.

Die Setzungen werden bei den vorgenannten Belastungen und den dazugehörigen Fundamentabmessungen bzw. der angenommenen Lastverteilung innerhalb der Sohlplatte rechnerisch $S_g = 0,68$ cm (Kellersohle), $S_g = 0,92$ cm (Sohlplatte nicht unterkellertes Gebäude) und $S_g = 1,5$ cm (Streifenfundamente) nicht überschreiten. Die Setzungsdifferenzen, die sich durch die unterschiedlichen Baugrundverhältnisse ergeben, betragen nach den überschlägigen Setzungsberechnungen bei annähernd gleichmäßig zu erwartender Lastverteilung nur wenige Millimeter und können vernachlässigt werden.

Unzulässige Setzungen und Setzungsdifferenzen sind somit nicht zu erwarten.

Nach Fertigstellung des Last- und Fundamentplanes ist eine Überprüfung des Setzungsverhaltens vorzunehmen.

Die Fundamente und die Sohlplatten besitzen bei den vorgenannten Belastungen und den dazugehörigen Abmessungen bzw. der vorgenannten Lastverteilung innerhalb der Sohlplatte eine ausreichende Grundbruchsicherheit [Ausnutzungsgrad μ (parallel zu b) $\leq 1,0$; Teilsicherheit $\gamma_{R,v} \geq 1,4$].

8.8 Verwendung des Aushubmaterials

Die Verwendung der im Zuge der Gründungsarbeiten ggf. anfallenden aufgefüllten Aushubböden als Füll- bzw. Auffüllmaterial ist unter umweltrelevanten Gesichtspunkten mit dem zuständigen Umweltamt abzustimmen.

Die beim Aushub anfallenden bindigen Böden (Schluff, Geschiebemergel und Ton) können als Füll- bzw. Auffüllmaterial im Bereich der Arbeitsräume oder als Geländeauffüllmaterial nur bedingt verwendet werden.

Die im südlichen Bereich des Erschließungsgebietes anfallenden Sande können i. d. R. als Füll- bzw. Auffüllmaterial oder als Geländeauffüllmaterial wieder verwendet werden.

Kommt eine Dränage gemäß DIN 4095 zur Ausführung (s. Kapitel 8.6), können die Aushubböden i. d. R. nur in Verbindung mit Dränplatten oder Kiessandsickerschlitzern als Füllmaterial in den Arbeitsräumen wiederverwendet werden.

Vernässter, nicht verdichtungsfähiger bindiger Boden ist abzufahren.

Die bindigen Aushubböden (Schluff, Geschiebemergel und Ton) sind nur im erdfeuchten bis feuchten Zustand und bei fehlenden Niederschlägen einbau- und verdichtungsfähig. Liegen entsprechende Verhältnisse vor, ist der bindige Aushubboden in Lagenstärken bis maximal 0,3 m einzubringen und mittels geeigneter Verdichtungsgeräte bis auf 97 % bis 100 % der Proctordichte zu verdichten.

Der zum Wiedereinbau vorgesehene Boden ist durch Folienabdeckungen gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

Ist der Aushubboden zu nass bzw. liegen entsprechend ungünstige Witterungsbedingungen für den Einbau vor, sind alternativ zum Aushubboden Sande, Grubenkiese oder Kiessande mit maximal bindigen Bestandteilen bis 15 % (ohne Dränage) bzw. 5 % (mit Dränage) einzubauen und zu verdichten.

Das Aushubmaterial ist im Zuge der Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten auf seine Verwendung als Füllboden zu prüfen.

Im Zuge der Gründungsarbeiten fällt neben den o. g. Böden auch humoser Oberboden (Mutterboden) an.

Es wird an dieser Stelle auf den § 202, Schutz des Mutterbodens, des Baugesetzbuches hingewiesen. Danach ist *„Mutterboden, der bei der Errichtung und Änderung baulicher Anlagen sowie bei wesentlichen anderen Veränderungen der Erdoberfläche ausgehoben wird, ... in nutzbarem Zustand zu erhalten und vor Vernichtung oder Vergeudung zu schützen“*.

9 Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten

Nach Freilegung der Baugrubensohle bzw. der Fundamentgruben oder auch während der Ausschachtungsarbeiten ist der Gutachter gemäß DIN EN 1997-1: 2014-03, Abschnitt 4.3.1, zu einer abschließenden Baugrundbeurteilung aufzufordern.

Es erfolgt ein Vergleich der Baugrundverhältnisse zu denen, die dem vorliegenden geotechnischen Gutachten zugrunde gelegt wurden.

Im Zuge der Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten werden die örtlich erforderlichen Bodenaustauscharbeiten exakt festgelegt, und es erfolgen die endgültigen Angaben zur bauzeitlichen Wasserhaltung, zur Baugrubensicherung und zur Gründung.

Darüber hinaus kann im Rahmen der Qualitätssicherung im Zuge der Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten eine Überprüfung der dem vorliegenden geotechnischen Gutachten zugrunde gelegten, geschätzten Bodenkenneiwerte erfolgen.

10 Angaben zu bautechnischen Maßnahmen für die Außenanlagen

Das Baugelände gehört gemäß RStO 12 der Frosteinwirkungszone I der Bundesrepublik Deutschland an.

Die im oberflächennahen Bereich anstehenden Böden sind, je nach Feinkornanteil und Ungleichförmigkeitszahl, gemäß ZTV E-StB 17, Tabelle 3, in die Frostempfindlichkeitsklassen F 1 (nicht frostempfindlich) bis F 3 (sehr frostempfindlich) zu stellen.

Die Stärke und der Aufbau der befestigten Fahrbahnen richten sich nach der vom Planer festzulegenden Belastungsklasse, der Ausführung der Tragschicht und der Art der Fahrbahndecke. Für die Herstellung der Außenanlagen sind für den Planer und die ausführende Firma die RStO 12, die ZTV E-StB 17 sowie die ZTV SoB-StB 04 maßgebend.

Davon ausgehend, dass im Untergrund Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F 3 anstehen und unter Berücksichtigung der ungünstigen Wasserverhältnisse nach RStO 12, beträgt die **Mindestdicke** des frostsicheren Straßenaufbaus gemäß den Tabellen 6 und 7 der RStO 12 für die

| | | |
|-------------|-----------------------------------|---------|
| | Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk1,0 | 0,65 m |
| und für die | Belastungsklasse Bk0,3 | 0,55 m. |

Bei einer Entwässerung der Fahrbahn und der Randbereiche über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen können die vorgenannten Mindestdicken des frostsicheren Straßenaufbaus um 0,05 m reduziert werden.

Stehen ggf. in der Planumsebene überwiegend Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F 2 (gering bis mittel frostempfindlich) an, ist eine Reduzierung der vorgenannten Mindestdicken des frostsicheren Straßenaufbaus um 0,1 m möglich.

Um die Tragfähigkeitswerte gemäß ZTV E-StB 17 bzw. der RStO 12 erreichen zu können, ist gemäß der Tabelle 8 der RStO 12 auf dem Planum der befestigten Außenanlagen ein E_{v2} -Wert von ≥ 45 MPa nachzuweisen.

Der auf dem Erdplanum geforderte E_{v2} -Wert von ≥ 45 MPa kann ggf. auf den anstehenden Böden auch durch eine Nachverdichtung nicht erreicht werden. Falls unter der Frostschutzschicht der geforderte E_{v2} -Wert von ≥ 45 MPa auf dem Erdplanum nicht erreicht werden sollte, ist unter der Frostschutzschicht ein Bodenaustausch in Stärken von ca. 0,2 m bis ca. 0,3 m mit ggf. unterlagerndem Geogitter durchzuführen. Alternativ zum Bodenaustausch kann auch eine Bodenverbesserung durch die Zugabe von hydraulischen Bindemitteln (z. B. Kalk-Zement-Mischbinder) ausgeführt werden.

Der Bodenaustausch erfolgt gegen nicht bindige, verdichtungsfähige, wasserdurchlässige und umweltverträgliche Lockergesteine.

Bei einer Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln ist die tatsächliche Bindemittelzugabemenge (ca. 2 - 6 M-%, mindestens 3 M.-% bei einer qualifizierten Bodenverbesserung) von den Witterungsverhältnissen und vom aktuellen Wassergehalt der anstehenden Böden abhängig und zeitnah zu den Erdarbeiten durch Feldversuche zu bestimmen.

Für die Durchführung der Bodenverbesserung sind die Angaben des „Merkblattes über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, maßgebend.

Das hydraulische Bindemittel ist maschinell so in den Boden einzuarbeiten, dass die Stärke der verbesserten Bodenschicht nach den Verdichtungsarbeiten mindestens 0,3 m beträgt.

Durch das Einfräsen von hydraulischen Bindemitteln kann gleichzeitig die Frostempfindlichkeit der anstehenden bindigen Böden so weit verbessert werden, dass der Boden in die Frostempfindlichkeitsklasse F 2 (gering bis mittel frostempfindlich) einzustufen ist. Auf dem verbesserten Erdplanum ist dann ein E_{v2} -Wert von mindestens 70 MPa nachzuweisen (so genannte qualifizierte Bodenverbesserung).

Wird eine qualifizierte Bodenverbesserung ausgeführt, beträgt die **Mindestdicke** des frostsicheren Straßenaufbaus gemäß den Tabellen 6 und 7 der RStO 12 für die

| | | |
|-------------|-----------------------------------|---------|
| | Belastungsklassen Bk3,2 bis Bk1,0 | 0,55 m |
| und für die | Belastungsklasse Bk0,3 | 0,45 m. |

Bei einer Entwässerung der Fahrbahn und der Randbereiche über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen können die vorgenannten Mindestdicken des frostsicheren Straßenaufbaus um 0,05 m reduziert werden.

Die erforderlichen bautechnischen Maßnahmen sind ggf. durch Probeverdichtungen festzulegen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die Überwachung der Erd- und Gründungsarbeiten durch das Erdbaulabor Dr. F. Krause hingewiesen.

Da der Untergrund im Bereich der befestigten Fahrbahnen, auch bei einer Bodenverbesserung mit einem hydraulischen Bindemittel, zum Teil aus gering durchlässigen, bindigen Böden besteht, ist zur Verhinderung eines Aufstaus von Sicker- und Schicht- bzw. Oberflächenwasser der frostsichere Oberbau der Fahrwege an der Unterkante der Frostschutzschicht zu dränieren.

Das anfallende Wasser ist dann kontrolliert in eine geeignete Vorflut bzw. in die Kanalisation abzuführen.

Stehen in der Planumsebene flächendeckend durchlässige Sande an, kann auf eine Dränierung des frostsicheren Oberbaus verzichtet werden.

11 Verdichtungsüberprüfung

Nach Fertigstellung der Tragschichten ist eine Überprüfung der geforderten Verdichtungswerte durchzuführen.

Die Verdichtungsüberprüfung erfolgt durch Rammsondierungen, Plattendruckversuche oder gegebenenfalls durch Raumgewichtsbestimmungen in Verbindung mit den im Labor ermittelten Proctorwerten.

Die zum Nachweis der geforderten Verdichtung erforderlichen Untersuchungen können vom Erdbaulabor Dr. F. Krause ausgeführt werden.

12 Versickerung von Niederschlagswasser

Nach den Angaben des DWA-Regelwerks, Arbeitsblatt DWA-A 138, liegt das für Versickerungsanlagen geforderte Durchlässigkeitsspektrum der versickerungsfähigen Böden zwischen $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s und $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Für die im nördlichen Baufeld angetroffenen bindigen Böden (Schluff, Geschiebemergel und Ton) ist ein geschätzter Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s /s (Schluff) und von $k_f \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s /s (Geschiebemergel und Ton) in Ansatz zu bringen. Die Durchlässigkeit der vorgenannten bindigen Böden ist damit geringer als gemäß DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 138, gefordert wird.

Die Versickerung von Niederschlagswasser ist im Bereich des nördlichen Erschließungsgebietes, unter Beachtung der hydrogeologischen Gegebenheiten (zu geringe Durchlässigkeit) und im Hinblick auf die Angaben im DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 138, nicht möglich.

Für die im südlichen Bereich des Erschließungsgebietes (RKS 5 bis RKS 8) angetroffenen Sande sind in Abhängigkeit vom Feinkornanteil Durchlässigkeitsbeiwerte von ca. $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s bis ca. $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ m/s in Ansatz zu bringen. Diese Werte liegen innerhalb des vom DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 138, geforderten Durchlässigkeitsspektrums.

Gemäß DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 138, ist auf dem südlichen Teil des Erschließungsgebietes eine Versickerung von Niederschlags- und Oberflächenwasser in den Sanden über Mulden oder Rigolen möglich.

Für die Bemessung der Versickerungsanlage sind noch standortbezogene Versickerungsversuche durchzuführen.

Im Bereich der Bohrung RKS 4 kann eine Versickerung von Niederschlags- und Oberflächenwasser in den Untergrund erfolgen, wenn die im Bereich der Versickerungsanlage anstehenden bindigen Böden (Geschiebemergel bis ca. 2,0 m unter GOK erbohrt) mit einem seitlichen Abstand zur geplanten Bebauung unter Berücksichtigung des hydraulischen Gefälles (s. Kapitel 3.2.2 und 3.2.3 des DWA-Regelwerks, Arbeitsblatt DWA-A 138) vollständig ausgehoben und durch durchlässiges bis stark durchlässiges (Durchlässigkeitsbeiwert ca. $k_f \geq 5 \cdot 10^{-5}$ m/s), nicht bindiges Lockergesteinsmaterial (Feinkornanteil < 5 M.-%) wie Kiessand, Sand oder Grubenkiese ersetzt werden.

Im DWA-Regelwerk, Arbeitsblatt DWA-A 138, Kapitel 3.1.3 in Verbindung mit Tabelle 1, wird darauf hingewiesen, dass für die Versickerung von Niederschlags- und Oberflächenwasser ein Abstand zwischen der Sohle der Versickerungsanlage und dem mittleren höchsten Grundwasserstand (arithmetisches Mittel der Jahreshöchstwerte mehrerer Jahre mit Angabe des Zeitraums) von mindestens 1,0 m gefordert wird.

Für die Planung der Versickerungsanlagen ist der im Kapitel 4.2 genannte mittlere höchste Grundwasserstand von ca. 75,5 m ü. NHN zu beachten. Eine Unterschreitung des Mindestabstandes der Sohle einer geplanten Versickerungsanlage zu dem vorgenannten mittleren höchsten Grundwasserstand gefährdet zwar nicht die Funktionsfähigkeit der Versickerungsanlage, ist jedoch im Vorfeld der Baumaßnahme mit den zuständigen Genehmigungsbehörden abzustimmen.

13 Hinweise auf weitere Untersuchungen

Der Gutachter ist über die Fertigstellung weiterer oder geänderter Planunterlagen, die aus baugrundtechnischer Sicht relevant sind, in Kenntnis zu setzen. Gegebenenfalls wird ein Nachtrag zum vorliegenden geotechnischen Gutachten erforderlich.

14 Schlusswort

Der Baugrund ist durch punktförmige Aufschlüsse erkundet worden. Sollten bei den Ausschachtungs-/Gründungsarbeiten abweichende Baugrundverhältnisse festgestellt werden, ist der Gutachter darüber zu unterrichten. Gegebenenfalls ist dann eine Ergänzung zum vorliegenden Gutachten auszuarbeiten.

Der Gutachter ist zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern, wenn sich Fragen ergeben, die im vorliegenden geotechnischen Gutachten nicht erörtert wurden.

Münster, den 26. Oktober 2021

i. A. Diplom-Geologe T. Freisfeld

Fiet Krause
Inhaber

Planunterlagen:

- Nr. 1 Lageplan, 1 : 500, mit eingetragener geplanter Wohnbebauung (Stand 18.08.2021, Verfasser: SM Ingenieurplan GmbH, Werner-Bock-Straße 38, 33602 Bielefeld)
- Nr. 2 Lageplan, 1 : 250, mit eingetragenen Geländehöhen (Stand 07.07.2021, Verfasser: Vermessungsbüro Gunnar Möller in Bürogemeinschaft mit B. Johann auf der Heide, Öffentlich bestellte Vermessungsingenieure, Osningstraße 12, 33605 Bielefeld)
- Nr. 3 Internetportal: Gefährdungspotenziale des Untergrundes in Nordrhein-Westfalen (Quelle: www.gdu.nrw.de, Zugriffsdatum: 22.10.2021)
- Nr. 4 Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25.000, Blatt 3914 Vermold
- Nr. 5 Karten der Grundwassergleichen in Nordrhein-Westfalen 1 : 50.000, Blatt L 3914 Bad Iburg, Stand 10/73 und 04/88
- Nr. 6 Archivunterlagen

Anlagen:

- Nr. 1 Lageplan, 1 : 500, mit eingetragenen Bodenaufschlusspunkten
- Nr. 2 Schichtenprofile gemäß DIN 4023 und Rammdiagramme gemäß DIN EN ISO 22476-2, 1 : 50 (Anlagen 2.1 bis 2.14 und 2.12a)
- Nr. 3 Ergebnisse der bodenphysikalischen Laborversuche (Anlagen 3.1 bis 3.6)
- Nr. 4 Tabellarische Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse (Anlage 4.1, 2 Seiten), Prüfbericht-Nrn.: 2021P236099 / 1 und 2021P236100 / 1 (Anlage 4.2, 6 Seiten) sowie Probenahme-Protokolle (Anlagen 4.3 und 4.4)
- Nr. 5 Prüfbericht-Nr.: 2021P236098 / 1 (2 Seiten)
- Nr. 6 Ergebnisse der Setzungsberechnungen (Anlagen 6.1 bis 6.6)

Verteiler:

Stadt Versmold, Herrn Yavali, Münsterstraße 16, 33775 Versmold (1-fach)

SM Ingenieurplan GmbH, Herrn Lutz Gördes, Werner-Bock-Straße 38, 33602 Bielefeld (1-fach)