



Für die Umwelt. Für die Menschen.

HPC AG
Kappellenstraße 45A
65830 Kriftel
Telefon: +49 (0)6192 9917-0
E-Mail: christoph.olk@hpc.ag

1. Geotechnischer Bericht

Projekt-Nr.	Ausfertigungs-Nr.	Datum
2210226	pdf	04.04.2023

"Mittenwalde"
Freiherr von Loeben Straße, 15749 Mittenwalde, Deutschland

Untersuchung des Standorts

Geotechnischer Untersuchungsbericht zur Einreichung des Bebauungsplanes

Auftraggeber
Pinnacle Consulting Engineers Ltd.
Pinnacle House, 3 Meridian Way
Norwich, Norfolk
NR7 0TA

Inhaltsübersicht

	Seite
1	Veranlassung und Beauftragung 4
1.1	Vorläufige Anmerkungen 4
1.2	Gutachterliche Einschränkungen 4
2	Standort, Bauvorhaben 5
3	Untersuchungsumfang 6
3.1	Vor-Ort Untersuchungen 6
3.2	Geotechnische Laboruntersuchungen 8
4	Ergebnisse der Bodenuntersuchung 9
4.1	Allgemeine geologische Situation 9
4.2	Schichtenfolge auf dem Standort 9
4.3	Grundwasser: Hydrogeologische Aspekte 10
4.4	Grundwasser - hydrochemisch: Betonaggressivität 11
4.5	Pumpversuch 12
4.6	Infiltrationstest 13
4.7	Verdichtungsüberprüfung mit dynamischen Lastplattendruckversuchen 15
4.8	Lagerungsdichten / Konsistenzen der DPH 16
4.9	Lagerungsdichten / Konsistenzen der SPT 17
4.10	Homogenbereiche und charakteristische Bodenkennwerte 18
5	Technische Auswertung der Untersuchungen – Geotechnische Gründungsempfehlung 21
5.1	Verkehrsflächen 21
6	Bautechnische Hinweise 23
6.1	Erdbebengebiet 23
6.2	Bemessungswasserstand und Bauwerksabdichtung 23
6.3	Aushubsohle und Entwässerung 23
6.4	Witterungsempfindlichkeit 24
6.5	Versickerung von Dach- und Oberflächenwasser 24
6.6	Geländeregulierung 25

6.7 Rückverfüllung der Arbeitsräume und Wiederverwendung von Aushubmaterial

27

Liste der Abbildungen

Abbildung 1: Lageplan des Untersuchungsgebietes.	6
---	---

Liste der Tabellen

Tabelle 1: Messungen an den Grundwasserbrunnen am 21.04. und 22.04.2021.	11
Tabelle 2: Analyseergebnisse Betonaggressivität nach DIN 4030-1.	11
Tabelle 3: Ergebnisse der Infiltrationstests.	14
Tabelle 4: Dynamische Lastplattentests.	15
Tabelle 5: Klassifizierung der DPH-Ergebnisse.	16
Tabelle 6: Klassifizierung der SPT-Ergebnisse.	17
Tabelle 7: Homogene Flächen und Bodenklassen nach DIN 18300 (08_2015).	18
Tabelle 8: Kennwertangaben Homogenbereiche.	19
Tabelle 9: Charakteristische Bodenparameter auf der Grundlage der Testergebnisse.	20
Tabelle 10: Mindestdicke des frostsicheren Aufbaus.	21

1 Veranlassung und Beauftragung

1.1 Vorläufige Anmerkungen

Am 21.02.2023 wurde die HPC AG von der Fa. RED Engineering mit einer allgemeinen geotechnischen Bewertung des Untersuchungsgebietes für die Einreichung/Änderung eines Bebauungsplanes des Gewerbegebietes beauftragt. Gründungsempfehlungen für Gebäude, bergbauliche Risiken sowie umwelttechnische Aspekte sind nicht Teil des vorliegenden Berichtes.

1.2 Gutachterliche Einschränkungen

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse der von HPC durchgeführten Baugrunduntersuchung. Die Untersuchungen wurden von HPC sachgerecht und nach den zum Zeitpunkt der Untersuchung allgemein anerkannten ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Methoden durchgeführt und bewertet. Die Feld- und Laboruntersuchungen wurden nach den gültigen deutschen Normen durchgeführt.

Baugrundrisiko

Die folgenden Empfehlungen basieren auf den durchgeführten Untersuchungen. Abweichungen zwischen den Bodenaufschlüssen durch natürliche Schwankungen in der Schichtenfolge oder durch menschliche Eingriffe, Kriegseinwirkungen und archäologische Funde sind außerhalb jeder Gewährleistung der HPC AG. Auf die Definition des grundsätzlichen Baurisikos nach DIN 4020 wird hingewiesen.

Berichteinschränkungen

Diese Zusammenfassung, alle Felddaten und Notizen wurden von HPC in Übereinstimmung mit dem vereinbarten Arbeitsumfang und den allgemein anerkannten ingenieurtechnischen und wissenschaftlichen Praktiken, die zum Zeitpunkt der Untersuchung des Standorts durch HPC in Kraft waren, gesammelt und/oder erstellt.

Es besteht immer eine gewisse Abhängigkeit von mündlichen Informationen, die von Vertretern der Anlage oder des Standorts gegeben werden und die nicht ohne weiteres durch eine visuelle Inspektion überprüft oder durch schriftliche Unterlagen belegt werden können. HPC kann nicht für Bedingungen oder Folgen verantwortlich gemacht werden, die sich aus relevanten Fakten ergeben, die von Vertretern der Einrichtung oder des Standorts zum Zeitpunkt der Durchführung dieser Untersuchung verschwiegen, zurückgehalten oder nicht vollständig offengelegt wurden.

Dieser Bericht und alle zugehörigen Felddaten und Notizen (im Folgenden zusammenfassend als "Informationen" bezeichnet) wurden von HPC für seinen Kunden Pinnacle Consulting Engineers Ltd. erstellt oder gesammelt.

Der Kunde kann die Informationen nach eigenem Ermessen an Dritte weitergeben, die diese Informationen in eigener Verantwortung und als Grundlage für ihre eigenen Entscheidungen nutzen können. HPC übernimmt als Urheber der Informationen die

Verantwortung für deren Richtigkeit zugunsten des Kunden oder Dritter und im Rahmen der gesetzlichen Haftungsbestimmungen.

2 Standort, Bauvorhaben

Standort:

Der Standort befindet sich in 15749 Mittenwalde, südöstlich von Berlin im ländlichen Raum, nördlich der Freiherr von Loebenstraße und östlich der Autobahn A 13.

Das Gebiet erstreckt sich an der westlichen Linie ca. 975 m in Nord-Süd-Richtung und ca. 426 m an der östlichen Linie. Von der westlichen zur östlichen Linie beträgt die Ausdehnung ca. 507 m.

Die Flächengröße kann mit ca. 35.500 qm berechnet werden.

Die Topografie ist geneigt, insbesondere im südwestlichen Bereich. Die Höhenlinien in Anhang 1 zeigen, dass im Südwesten die Geländeoberkante bei ca. 46 m NHN liegt. Ca. 200 m weiter nördlich liegt die Geländeoberkante bei ca. 40 m NHN und weiter nördlich flacht das Gebiet ab. An der Nordlinie liegt die Geländeoberkante bei ca. 35 m NHN.

Das Gelände wird landwirtschaftlich genutzt und ist derzeit bewirtschaftet. Ein unbefestigter Feldweg trennt das Gelände in einen nördlichen und einen südlichen Teil. Es ist bekannt, dass in der Nähe des Untersuchungsgebietes bzw. im östlichen Teil des Geländes von der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts bis 1903 Braunkohle abgebaut wurde. Daher wurde eine Archivrecherche durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 8 beschrieben.



Abbildung 1: Lageplan des Untersuchungsgebietes (grüne Umrandung).

Ziel des Berichts / der Standortuntersuchung

In diesem Bericht werden die Bodenverhältnisse mittels einer intrusiver Erkundungsmethoden (Bohrungen, Schürfgruben usw.) beurteilt und aus geologischer und bodenmechanischer Sicht beschrieben. Der Bericht beschreibt die Bodenparameter und -klassen. Darüber hinaus werden allgemeine bautechnische Hinweise auf begleitende Baumaßnahmen im Rahmen der Einreichung eines Bebauungsplanes gegeben.

3 Untersuchungsumfang

3.1 Vor-Ort Untersuchungen

Die Untersuchungen wurden vom 22.03.2021 bis 11.05.2021 durchgeführt.

Zur Untersuchung der tieferen Bodenverhältnisse wurden 37 Drehbohrungen (B 1 - B 37) nach DIN EN ISO 22475 mit einem Bohrdurchmesser von 178 mm bis in eine Tiefe von 24 m bis 30 m unter GOK abgeteuft. Innerhalb der Bohrlöcher wurden 166

Standard Penetration Tests (SPT) nach DIN EN ISO 22476-2 durchgeführt, um die Lagerungsdichte und das Verformungsverhalten des anstehenden Bodens zu beurteilen.

In vier Bohrlöchern wurden permanente Grundwassermessstellen errichtet. Dazu wurden die Bohrungen vergrößert (Bohrdurchmesser 270 mm, Rohrdurchmesser 125 mm). Diese Monitoringbrunnen wurden mit einem Betonring (Durchmesser 1000 mm, Höhe 500 mm) gegen die in dem Gebiet noch betriebenen landwirtschaftlichen Maschinen gesichert. Drei der Überwachungsbrunnen liegen im ersten Grundwasserstockwerk ("flach"), einer im zweiten Grundwasserstockwerk ("tief"):

- B 1/GWM-1 ("flach"), Filtertiefe: 1,0 - 6,0 m bgl.
- B 12/GWM-2 ("flach"), Filtertiefe: 0,5 - 5,5 m bgl.
- B 33/GWM-3 ("flach"), Filtertiefe: 1,0 - 9,0 m bgl.
- B 16/GWM-4 ("tief"), Filtertiefe: 17,0 - 20,0 m bgl.

Um mehr Informationen über das zweite Grundwasserstockwerk zu erhalten, wurden DN 50 Rohre in 6 weiteren Bohrungen installiert, die als temporäre Grundwasserbrunnen betrieben werden:

- B 3, Filtertiefe: 12,0 - 14,0 m bgl.
- B 9, Filtertiefe: 15,0 - 17,0 m bgl.
- B 19, Filtertiefe: 12,0 - 14,0 m bgl.
- B 25, Filtertiefe: 9,0 - 11,0 m bgl.
- B 31, Filtertiefe: 12,0 - 14,0 m bgl.
- B 37, Filtertiefe: 12,0 - 14,0 m bgl.

Diese temporären Messstellen wurden am 24.04.2021 geloggt. Anschließend wurden die Rohre mit Lehm verfüllt und am oberen Meter unter der Erdoberfläche entfernt.

Darüber hinaus wurden zur Untersuchung der oberflächennahen Bodenverhältnisse 33 Kleinrammbohrungen (KRB 1 - KRB 33) nach DIN EN ISO 22475 (50 mm Durchmesser) bis in eine Tiefe von 5,1 m - 7,0 m bgl. für geotechnische und umwelttechnische Zwecke durchgeführt. Weiterhin wurden 23 Baggerschürfe (SCH 1 - SCH 24, ohne SCH-2) hergestellt, innerhalb derer 46 dynamische Lastplattenversuche zur Ermittlung der Verdichtung der oberen Bodenschichten im Hinblick auf den Bau von Straßen und Parkplätzen durchgeführt wurden.

Zur Beurteilung der Verdichtung und des Verformungsverhaltens des anstehenden Bodens wurden 36 DPHs (DPH 1 - DPH 36) nach DIN EN ISO 22476-2 mit einer Tiefe von 4,4 m bis 8,0 m durchgeführt.

Zur Bestimmung der Infiltrationsrate des Bodens wurden 8 Infiltrationstests (Versickerungstests) in 8 Versuchsruben quer über das Gelände durchgeführt.

Die stratigrafischen Schichten wurden in Anlehnung an DIN EN ISO 14688 erfasst, bewertet und dokumentiert. Die grafischen Bodenprofile, die SPT-Darstellung und die Ausbauezeichnungen der Grundwasserbrunnen sind in Anlage 2 dargestellt.

Die Bohrungen und Schürfe wurden über das gesamte Gelände verteilt, um eine größtmögliche georäumliche Abdeckung zu erreichen.

3.2 Geotechnische Laboruntersuchungen

Während der Bodenuntersuchung wurden gestörte Bodenproben entnommen und in unserem akkreditierten geotechnischen Labor einer weitergehenden visuellen Untersuchung unterzogen.

An ausgewählten Bodenproben wurden die folgenden Tests durchgeführt:

- 68 Nasssiebungen/teilweiseauch Schlämmanalysen (DIN EN ISO 17892-4)
- 9 Bestimmungen der Konsistenz (DIN EN ISO 17892-12)
- 67 Bestimmungen des natürlichen Wassergehalts (DIN EN ISO 17892-1)
- 10 Glühverlust (DIN 18128)

Außerdem wurden Bodenverbesserungen vorgenommen:

- 2 Proctordichteprüfungen (DIN 18127)
- 4 einaxiale Druckversuche (DIN EN ISO 17892-7)
- 2 Druckprüfungen (DIN EN ISO 17892-5)

Die Ergebnisse der Laboraufzeichnungen sind in der Expertenbewertung dieses Berichtes eingeflossen.

4 Ergebnisse der Bodenuntersuchung

4.1 Allgemeine geologische Situation

Unter Bezugnahme auf die Machbarkeitsstudie kann die allgemeine geologische Situation wie folgt beschrieben werden:

Nach der geologischen Karte GK 25 Schenkenberg ist das Gebiet durch die weichselglaziale (letzte Eiszeit) und nacheiszeitliche Bildung gekennzeichnet, mit ausgedehnten Geschiebelehm- und Talsandflächen, die überwiegend aus sandigen, lehmigen Böden bestehen. Eine Besonderheit der Region ist das Vorkommen von tertiären Sedimenten (Sande und Braunkohle).

4.2 Schichtenfolge auf dem Standort

Diese Standortuntersuchung bestätigt im Allgemeinen die Geologie des Standorts. Nach den Ergebnissen der Erkundung lässt sich die Geologie des Untersuchungsgebiets in die folgenden Schichten unterteilen:

- **L1: Oberboden:**
Sand, leicht schluffig bis schluffig, schluffig organisch, OH
Mächtigkeit: 0,1 - 0,7 m, im Mittel 0,3 - 0,4 m
Unterkante: 0,1 - 0,7 m ü. NN, im Mittel 0,3 - 0,4 m ü. NN.
- **L2: obere Schicht aus glazialen Sand/Schluff:**
Fein- bis Mittelsand, schluffig bis stark schluffig, schwach grobsandig, locker dicht bis mitteldicht, teilweise Schluff, stark fein- bis mittelsandig, schwach grobsandig, steif (bis halbfest)
Mächtigkeit: 2 - 5 m, im Mittel 2 - 3 m
Unterkante: 2 - 5 m ü. NN, im Mittel 2 - 3 m ü. NN
- **L3: untere Schicht aus glazialen Sand/Schluff:**
Fein- bis Mittelsand, schluffig bis stark schluffig, schwach grobsandig, dicht bis stark dicht, teilweise Schluff, stark fein- bis mittelsandig, schwach grobsandig, halbfest bis fest
Mächtigkeit: 5 - 18 m, im Mittel 10 m
Unterkante: 9 m (B27) - 21 m (B33) bgl., im Mittel 13-14 m bgl.
- **L4.1: Tertiärer Sand:**
Fein-Mittel-(Grob-)Sand, schwach schluffig bis selten schluffig, (dicht bis) hoch verdichtet, z.T. kleine Zwischenlagen (bis ca. 1 m Mächtigkeit)
schwach bis stark organisch
(Mächtigkeit: > 10 m)
Unterkante: > 30 m bgl.

- **L4.2 tertiäre Schluff-/Tonschichten (Zwischenschichten innerhalb L4.1)**
Schluff, teils tonig, stark sandig, teils organische Anteile, (steif) halbfest bis fest
Mächtigkeit: 0,3 - 12 m, im Mittel 3 m
Unterkante: 14,5 - 30 m ü. NN, im Mittel 23 m ü. NN
- **L4.3 Tertiäre Braunkohlenschichten (Zwischenschichten innerhalb von L4.1)**
Braunkohle, fest (B34-B37, B20)
Mächtigkeit: 1,4 m bis > 3,0 m
Unterkante: 19,6 m bis > 30,0 m bgl.

4.3 Grundwasser: Hydrogeologische Aspekte

Erste Grundwasserschicht:

Es gibt eine erste Grundwasserschicht, bei der es sich um einen sedimentären Porengrundwasserleiter handelt.

Bei den Versuchsgruben konnte man beobachten, dass mit zunehmender Tiefe der Sandboden wassergesättigt ist.

Der Wasserstand schwankt zwischen den Untersuchungspunkten hauptsächlich zwischen 1 und 3 m ü. NN (siehe Anhang 7). Im südwestlichen Bereich des Geländes ist der Wasserspiegel mehrere Meter tiefer. Dies ist der Bereich, in dem das Bodenniveau ansteigt.

Es scheint, dass das Regenwasser je nach Schluffgehalt des Sandbodens auf dem Gelände unterschiedlich schnell versickert. Aus diesem Grund gibt es auf dem Gelände unterschiedliche Wasserstände, sodass eine Fließrichtung anhand der verschiedenen Wasserstände nicht bestimmt werden konnte. Es scheint, dass die Fließrichtung des Wassers dem Bodenniveau ähnlich ist und im Allgemeinen nach Norden fließt.

Je nach Jahreszeit und Intensität der Regenfälle kann der Wasserstand im Vergleich zu dem bei der Felduntersuchung (22.03. bis 11.05.2021) ermittelten Wasserstand steigen oder fallen.

Es wird daher empfohlen, in den drei Messbrunnen Datenlogger zu installieren, die den Wasserstand über einen längeren Zeitraum konstant aufzeichnen. Daraus lassen sich mögliche Wasserstände ableiten, die für die weitere Planung relevant sind.

An drei Messstellen in der ersten Grundwasserschicht wurde der Grundwasserstand am 21.04. und 22.04.2021 mit folgenden Ergebnissen gemessen (Tabelle 2):

Tabelle 1: Messungen an den Grundwasserbrunnen am 21.04. und 22.04.2021.

	GWSP 21.04.2021 (HPC)		GWSP 22.04.2021 (HPC)	
	m bgl	mNHN	m bgl	mNHN
B01GWM1	1,15	34,60	1,22	34,53
B12GWM2	1,42	35,57	1,41	35,58
B33GWM3	no water / dry to bottom at 36,0 mNHN			

zweite Grundwasserschicht

Innerhalb der tertiären Sande befindet sich eine zweite Grundwasserschicht (Schicht "L3", siehe Kapitel 4.2).

Das Grundwasser ist gespannt. Das Wasser steigt mehrere Meter hoch. Dies ist grafisch in den Schnittlinien in App. 7 des Originalgutachtens dargestellt.

Der Grundwasserspiegel der zweiten Schicht wurde anhand einer permanenten Grundwassermessstelle untersucht. Zusätzlich wurden an 6 Bohrungen, verteilt über das Gelände, temporäre Messstellen errichtet (siehe Kapitel 3.1). Am 24.04.2021 wurden die Wasserstände in allen 7 Monitoringbrunnen gemessen. Mit dieser Messung wurde der gespannte Grundwasserstand grafisch ermittelt und ist in der Lagekarte im Anhang dargestellt. 1.2.5. Im Ergebnis dieser Messung kann festgestellt werden: Der Wasserstand lag am 24.04.2021 im südwestlichen Standortbereich bei ca. 35 mNHN, mit Fließrichtung Nord-Ost. Der Wasserstand im nordöstlichen Baustellenbereich liegt bei etwa 34 m NHN. Der gespannte Grundwasserspiegel liegt somit im südwestlichen Bereich bei ca. 10 m unter Geländeoberkante (u. GOK) und im nordöstlichen Bereich nur bei ca. 1,5 m u. GOK

Hochwasser-Situation

Nach der Hochwasserkarte des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz (MLUK) des Landes Brandenburg befindet sich der Standort nicht in einem Überschwemmungsgebiet. Aufgrund der Untersuchungsergebnisse des geringen Abstandes zum Grundwasserspiegel wird jedoch empfohlen, bei der weiteren Planung zu überprüfen, ob bei Starkregenereignissen ein Risiko für Sturzfluten (Oberflächenabfluss) besteht. Solche Sturzfluten sind in den letzten Jahren in einigen Regionen Deutschlands aufgetreten und haben teilweise große Schäden verursacht.

4.4 Grundwasser - hydrochemisch: Betonaggressivität

Zur Beurteilung der Betonaggressivität der ersten und zweiten Grundwasserschicht wurden Wasserproben aus den ausgebauten Grundwassermessstellen GWM-2 und GWM-4 entnommen und dem Labor SGS Institut Fresenius GmbH, Taunusstein, zur Untersuchung auf Betonaggressivität nach DIN 4030 überstellt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengefasst:

Tabelle 2: Analyseergebnisse Betonaggressivität nach DIN 4030-1.

	B12/GWM-2	B16/GWM-4	Grenzwerte zur Beurteilung nach DIN 4030-1		
Parameter	Testergebnis		XA1 Schwach an- greifend	XA2 Starke Angriffe	XA3 Sehr stark an- greifend
pH-Wert	7,0	7,1	6,5 - 5,5	<5,5 - 4,5	<4,5
KMnO ₄ - Ver- brauch	7,1 mg/l	7,6 mg/l	-	-	-
Nicht-Kar- bonathärte	187,14 mg/l	139,92 mg/l	-	-	-
Magnesium (Mg) ²⁺	11,8 mg/l	13,4 mg/l	300 - 1000 mg/l	>1000 - 3000 mg/l	>3000 mg/l
Ammonium (NH) ₄ ⁺	<0,04 mg/l	<0,04 mg/l	15 - 30 mg/l	>30 - 60 mg/l	>60 mg/l
Sulfat (SO) ₄ ²⁻	172 mg/l	225 mg/l	200 - 600 mg/l	>600 - 3000 mg/l	<3000 mg/l
Chlorid (Cl) ⁻	21,3 mg/l	66,1 mg/l	-	-	-
Co ₂ (kalklö- send)	10,5 mg/l	13,4 mg/l	15 - 40 mg/l	>40 - 100 mg/l	>100 mg/l

Nach den Analyseergebnissen sind die beiden Proben B12/GWM-2 (erste Grundwasserschicht) und B16/GWM-4 (zweite Grundwasserschicht) in die Expositions-kategorie XA1 nach DIN 4030 eingestuft.

Die detaillierten Ergebnisse finden sich im Analysebericht in Anhang 12.

4.5 Pumpversuch

Erste Grundwasserschicht (sedimentäre Wasserschicht, siehe Kapitel 4.3)

Am 10.05.21 wurde ein Pumpversuch in B12/GWM-2 durchgeführt, um den kf-Wert der ersten Grundwasserschicht in erster Näherung zu bestimmen.

Mit einer sehr geringen Pumprate von 0,007 l/s wurde der Messbrunnen leergepumpt. Anschließend wurde der Anstieg des Wasserspiegels gemessen.

Der Durchlässigkeitskoeffizient kf wurde durch Analyse des aufsteigenden Wasserspiegels bestimmt.

Der kf-Wert wurde mit $k_f = 2,4 \cdot 10^{-7}$ m/s ermittelt.

Im weiteren Planungsprozess muss der kf-Wert je nach Planungsgrundlage eventuell verifiziert werden.

Zweite Grundwasserschicht (gespannt, tiefere tertiäre Sande, siehe Kapitel 4.3)

Am 11.05.21 wurde ein Pumpversuch in B16/GWM-4 durchgeführt, um den kf-Wert der zweiten Grundwasserschicht in erster Näherung zu bestimmen.

Bei einer Pumprate von 0,28 l/s sank der Wasserspiegel um ca. 1,0 m. Nach dem Stoppen des Pumpens wurde der Anstieg gemessen.

Der Durchlässigkeitskoeffizient k_f wurde durch Analyse des aufsteigenden Wasserspiegels bestimmt.

Der k_f -Wert wurde mit $k_f = 8,7 \cdot 10^{-6}$ m/s ermittelt.

Hinweis: Im weiteren Planungsprozess muss der k_f -Wert je nach Planungsgrundlage ggf. überprüft werden.

4.6 Infiltrationstest

Generell: Eine Infiltration ist von der Seiten der Behörde erwünscht. Herr Albert von der Unteren Wasserbehörde (Kontakt s.u.) teilte bei einem unangemeldeten Ortstermin zur Besichtigung der Bohrungen am 21.04.2021 mit, dass eine Versickerung von der Behörde grundsätzlich gewünscht wird. Aber, wie unten beschrieben, sind die Durchlässigkeit des Bodens und die weiteren Randbedingungen für eine Versickerung nicht sehr gut. Daraus folgt, dass bei der Planung von Versickerungsanlagen mehrere Punkte zu beachten sind, die im Folgenden aufgeführt werden.

Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten k_f :

Zur Bestimmung des Durchlässigkeitskoeffizienten k_f wurden Versickerungstests in 9 über das Gelände verteilten Schürfen durchgeführt.

Die Tests wurden in einer Tiefe von 0,5-0,6 m unter der Geländeoberkante durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen einen Bereich des Durchlässigkeitskoeffizienten k_f von $4,4 \cdot 10^{-6}$ m/s bis $2,8 \cdot 10^{-7}$ m/s. Eine Übersicht ist in der nachstehenden Tabelle 3 enthalten:

Tabelle 3: Ergebnisse der Infiltrationstests.

	kf
	[m/s]
SCH-1	1,1E-06
SCH-3	1,2E-06
SCH-7	1,8E-06
SCH-9	4,4E-06
SCH-13	3,2E-07
SCH-15	1,8E-06
SCH-18	5,7E-07
SCH-19	2,8E-07
SCH-21	7,5E-07
MAX	4,4E-06
MEAN VALUE	1,4E-06
MIN	2,8E-07

Für erste Berechnungen wird empfohlen, $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$ m/s zu nehmen.

Bei der weiteren Planung sollten jedoch zusätzliche Versickerungstests in den Bereichen durchgeführt werden, in denen eine Versickerung geplant ist.

Weitere Hinweise: Bei Versickerungsanlagen ist zu beachten, dass die ungesättigte Bodenzone gering ist. Der erste "Grundwasserspiegel", bei dem es sich um einen sedimentären Porengrundwasserleiter (mehr oder weniger versickertes Regenwasser) handelt, wurde überwiegend in einer Tiefe von etwa 1 bis 2 Metern unter der Geländeoberfläche ermittelt (teilweise tiefer, vor allem dort, wo der Boden höher liegt). Je nach Jahreszeit / Niederschlag kann sich der erste Grundwasserspiegel verändern und sogar ansteigen. Das bedeutet, dass die Versickerungsmenge begrenzt ist. Wir empfehlen daher unbedingt einen Notüberlauf, der eine Überlaufebene hat, damit umliegende Gebäude nicht negativ beeinflusst werden. Des Weiteren sind Rückhaltesysteme zu empfehlen.

Ab ca. 3 bis 5 Meter unter Geländeoberkante sind die Bodenschichten sehr dicht bis hoch verdichtet, so dass fast kein (sehr wenig) Wasser versickern kann (quasi Aquiclude) und der Boden ein hohes Risiko der Vernässung birgt. Daher wird empfohlen, Bohrungen mit einer Tiefe von etwa 5 bis 7 Metern vorzunehmen, um die Bodenstruktur aufzulockern und das Eindringen von Wasser zu ermöglichen. Dies ist mit der Unteren Wasserbehörde des Landkreises Dahme-Spreewald abzustimmen (Ansprechpartner ist Herr Albert, Umweltamt@dahme-spreewald.de, Tel. 03546 202336).

Außerdem: Versickerungsanlagen müssen filterstabil an den Boden angepasst werden (fein-mittlerer Sand, schluffig bis sehr schluffig).

Für die Planung und Berechnung von Versickerungsanlagen verweisen wir auf die technischen Regelwerke "Arbeitsblatt DWA-A 138" und "Merkblatt DWA-M 153". Wenn Sie Unterstützung bei der Planung von Versickerungsanlagen benötigen, können Sie sich an HPC wenden.

4.7 Verdichtungsüberprüfung mit dynamischen Lastplattendruckversuchen

In 23 Schürfen wurden dynamische Lastplattendruckversuche in einer Tiefe zwischen 0,5 und 1,2 m bgl durchgeführt. Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse der Tests mit einem Farbcode zur Bewertung der Ergebnisse.

Tabelle 4: Dynamische Lastplattendrucks.

Ver- suchsgru- be Nr.	Bodenart	Tiefe m	Evd MN/m ²	Ver- suchsgru- be Nr.	Bodenart	Tiefe m	Evd MN/m ²
Sch 1	Sand	0.5	22.1	Sch 13	Sand	1.1	26.3
Sch 1	Sand	1.1	7.4	Sch 14	Sand	0.5	25.5
Sch 3	Sand	0.5	16.3	Sch 14	Sand	1.0	29.5
Sch 3	Sand	1.0	20.0	Sch 15	Sand	0.5	30.4
Sch 4	Sand	0.55	27.7	Sch 15	Schlick	1.0	21.2
Sch 4	Sand	1.0	14.9	Sch 16	Sand	0.5	22.5
Sch 5	Sand	0.5	26.7	Sch 16	Sand	1.0	25.3
Sch 5	Sand	1.0	20.7	Sch 17	Sand	0.6	27.7
Sch 6	Sand	0.65	24.2	Sch 17	Sand	1.1	32.8
Sch 6	Sand	1.1	9.0	Sch 18	Sand	0.5	24.4
Sch 7	Sand	0.5	32.3	Sch 18	Sand	1.0	30.7
Sch 7	Sand	1.0	42.5	Sch 19	Sand	0.5	14.9
Sch 8	Sand	0.5	19.8	Sch 19	Sand	1.1	14.6
Sch 8	Sand	1.0	52.7	Sch 20	Sand	0.5	27.5
Sch 9	Sand	0.5	40.8	Sch 20	Sand	1.1	28.0
Sch 9	Sand	1.0	24.1	Sch 21	Sand	0.5	30.2
Sch 10	Sand	0.5	30.2	Sch 21	Sand	1.15	21.6
Sch 10	Sand	1.0	21.6	Sch 22	Sand	0.5	23.8
Sch 11	Sand	0.5	26.5	Sch 22	Sand	1.0	27.1
Sch 11	Sand	1.0	23.0	Sch 23	Sand	0.5	13.2
Sch 12	Sand	0.5	26.8	Sch 23	Sand	1.1	13.1
Sch 12	Sand	1.0	34.2	Sch 24	Sand	0.5	20.5
Sch 13	Sand	0.5	25.4	Sch 24	Sand	1.1	25.4

< 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	> 40
------	---------	---------	---------	------

Die Werte der Tests liegen zwischen E_{vd} 7,4 MN/m² (SCH 1) und E_{vd} 52,7 MN/m² (SCH 8). Mehr als die Hälfte der Prüfergebnisse zeigen Werte zwischen 20 - 30 MN/m².

Anhand von Erfahrungswerten können die E_{v2} -Werte folgendermaßen geschätzt werden: $E_{v2} / E_{vd} = 1,8$ für sandige Böden. Damit können E_{v2} -Werte zwischen 13,3 MN/m² und 94,9 MN/m² berechnet werden.

Anmerkung: Obwohl in mehr als der Hälfte der Versuche E_{v2} -Werte über $E_{v2} \geq 45$ MN/m² ermittelt wurden, die normalerweise für die Planung von Straßen erforderlich sind, muss das Verhalten des Bodens bei Regen berücksichtigt werden. In diesem Fall nimmt die Tragfähigkeit stark ab (siehe auch ausführliche Hinweise in Kapitel 6 und 7).

Die Testergebnisse sind in die folgende Expertenbewertung eingeflossen.

4.8 Lagerungsdichten / Konsistenzen der DPH

Zur Ermittlung der Tragfähigkeit und des Verformungsverhaltens des anstehenden Bodens im oberflächennahen Bereich wurden 36 schwere Rammsondierungen (DPH 1 - 36) nach DIN EN ISO 22476-2 in Tiefen zwischen 4,4 m und 8,0 m ü. NN durchgeführt.

In dieser Tiefe besteht der Boden hauptsächlich aus feinem Mittelsand, schluffig bis stark schluffig, teilweise Schluff mit einem hohen Anteil an feinem Mittelsand.

Für diese Böden kann die folgende Bewertung vorgenommen werden (Tabelle 5).

Tabelle 5: Klassifizierung der DPH-Ergebnisse.

N_{10}	Lagerungsdichte feiner bis mittlerer Sand, schluffig bis sehr schluffig	N_{10}	Konsistenz Schluff, sehr fein-mittelsandig
1 - 2	locker	1 - 3	steif
3 - 5	mitteldicht	4 - 8	halbfest
6 - 12	dicht	> 8	fest
> 12	sehr dicht		

Entsprechend den ermittelten Eindringwiderständen:

- locker bis mitteldicht / steif bis in eine Tiefe von überwiegend 2 m bis 3 m ü. NN, teilweise tiefer bis ca. 4 m bis 5 m ü. NN (Schicht "L2", siehe Kapitel 4.2)
- Darunter steigen die Eindringwiderstände überwiegend mit der Tiefe an (Ausnahme: DPH 26, an der südwestlichen Grenze des Untersuchungsgebietes,

siehe App. 1.2.1) und die Bodenschichten können als dicht bis hochverdichtet / halbfest bis fest (Schicht "L3", siehe Kapitel 4.2) bestimmt werden.

Die Testergebnisse sind in die folgende Expertenbewertung eingeflossen.

4.9 Lagerungsdichten / Konsistenzen der SPT

Zur Ermittlung der Verdichtung und des Verformungsverhaltens des anstehenden Bodens wurden insgesamt 166 Bohrlochsondierungen (SPT) nach DIN EN ISO 4094-2 durchgeführt. Der überwiegende Teil der Versuche wurde unterhalb der Rammsondierungstiefe durchgeführt (siehe Kapitel oben).

Beschreibung des SPT-Tests: Eine Vollspitze mit einem Durchmesser von 50 mm wird mit einem definierten Fallgewicht von der Bohrlochsohle aus in den Boden gerammt und 45 cm in den Boden vorgetrieben. Entsprechend werden die Werte pro 15 cm Eindringtiefe dokumentiert. Entscheidend ist die Bewertung N_{30} , die die Bewertungen im Tiefenbereich von 15 cm bis 45 cm betrachtet.

Auf der Grundlage von Erfahrungen und Literaturhinweisen zeigt die folgende Tabelle 6 eine grobe Klassifizierung der gemessenen Werte N_{30} und der entsprechenden Dichten oder Konsistenzen des in-situ Bodens.

Tabelle 6: Klassifizierung der SPT-Ergebnisse.

N_{30}	Lagerungsdichte Sand	N_{30}	Konsistenz, Schluff, sandig UL/TL
2 - 5	locker	4 - 8	steif
6 - 9	mitteldicht	9 - 15	halbfest
10 - 20	dicht	> 15	fest
> 20	sehr dicht		

Entsprechend den ermittelten Eindringwiderständen (siehe Schnittlinien App. 7):

- Schicht "L3": dicht bis sehr dicht (1 Test mitteldicht, B29, 9,0 m bgl.)
- Schicht "L4.1" tertiärer Sand: (dicht bis) sehr dicht
- Schicht "L4.2" tertiärer Schluff/Ton (Zwischenschichten): fest (z. B. B03, 21 m Bgl.)
- Schicht "L4.3" tertiäre Braunkohle (Zwischenschichten, Standortbereich primär im östlichen Bereich, B34 - B37 und B20): fest

Die Testergebnisse sind in die folgende Expertenbewertung eingeflossen.

4.10 Homogenbereiche und charakteristische Bodenkennwerte

Nach DIN 18300 in der Fassung 08_2015 sind die im Zuge von Erdarbeiten zu bearbeitenden Böden in homogenen Bereichen zu erfassen. Für die homogenen Flächen sind nach DIN 18300 Eigenschaften und Kennwerte und deren ermittelte Bandbreite anzugeben.

Die Einstufung erfolgt aufgrund von Laboruntersuchungen. Entsprechende Laborversuche in voller Übereinstimmung mit DIN 18300 wurden nicht durchgeführt und waren nicht Gegenstand der Beauftragung. Die Einstufung basiert daher auf den durchgeführten Laborversuchen und auf Erfahrungswerten.

Die durch die Rammkernsondierungen beprobten Bodenschichten lassen sich nach DIN 18300 den folgenden Homogenbereichen zuordnen (Tabelle 7). Die bis 2015 gültigen Bodenklassen sind nur zur Information aufgeführt.

Tabelle 7: Homogene Flächen und Bodenklassen nach DIN 18300 (08_2015).

Bodenart	Homogene Flächen DIN 18300	Bodenklasse (DIN 18300 alt)
Mutterboden: Sand, leicht schluffig bis schluffig, leicht organisch, OH, SE, SU*	-	Bodenklasse 1
Glazialer Sand/Schluff (Schicht 2 und 3): Feiner bis mittlerer Sand , schluffig bis stark schluffig, leicht grobsandig, locker dicht bis sehr dicht, teilweise Schluff , sehr fein- bis mittelsandig, etwas grobsandig, steif bis fest SU, SU*, ST*, TL	B1	Mittelschwer lösbarer Böden Bodenklasse 4
Tertiärer Sand (Schicht 4): Fein-mittel-(grober) Sand , schwach schluffig bis selten schluffig, (dicht bis) hoch verdichtet, z.T. kleine Zwischenlagen (bis ca. 1 m Mächtigkeit) schwach bis stark organisch SE, SU, SU*/ST*	B2	Mittelschwer lösbarer Böden Bodenklasse 4
Tertiäre Schluff-/Tonschichten (Zwischenschichten innerhalb von L4.1) Schluff, teils tonig, stark sandig, teils organische Anteile, (steif) halbfest bis fest UL/TL, UM/TM	B3	mittelschwer - schwer lösbarer Böden Bodenklasse 4-5
Tertiäre Braunkohlenschichten (Zwischenschichten innerhalb von L4.1) Braunkohle, fest (B34-B37, B20)	B4	Fels Bodenklasse 6-7

Für die homogenen Bereiche des gewachsenen Unterbodens können folgende Kennwertbereiche angegeben werden (Tabelle 8).

Tabelle 8: Kennwertangaben Homogenbereiche

	B1	B2	B3	B4
Lokale Bezeichnung	Gletscher-sand/Schluff	Tertiärer Sand	Tertiäre Schluff-/Tonschichten	Tertiäre Braunkohleschichten
Partikelgrößenverteilung [Gew.-%]	T/U: 5 - 80 S: 10 - 60 G: 0 - 15	T/U: 5 - 40 S: 60 - 80 G: 0 - 15	T/U: 40 - 80 S: 15 - 40 G: 0 - 15	-
Massenanteil der Steine, Blöcke und großen Blöcke [%]	< 5	< 5	-	-
Gewichte [kN/m ³]	19 - 22	20 - 22	20 - 21	10 - 15
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	100 - 300	-	200 - 500	-
Wassergehalt [%]	3 - 25	-	3 - 20	-
Plastizitätszahl I_p Konsistenzzahl I_c	7 - 20 0,7 - 1,2	-	7 - 20 1,2 - 1,4	-
Lagerungsdichte	Mitteldicht – sehr dicht	dicht - sehr dicht	-	Sehr dicht/fest
Organischer Anteil [%]	< 5	< 20	< 5	100
Bodengruppen	SU, SU*, ST*, TL	SE, SU, SU*/ST*	UL/TL, UM/TM	-

Auf der Grundlage der durchgeführten Feld- und Laboruntersuchungen sowie der Erfahrungen mit vergleichbaren Böden können für die identifizierten Böden folgende charakteristische Bodenkennwerte im Zusammenhang mit erdstatistischen Berechnungen verwendet werden (Tabelle 9):

Tabelle 9: Charakteristische Bodenparameter auf der Grundlage der Testergebnisse.

Art des Bodens	γ [kN/m ³]	σ'_v [kN/m ³]	σ'_h [□]	c' [kN/m ²]	Es [MN/m ²]	kf [m/s]
Schluff , teilweise tonig, stark sandig, teilweise organische Anteile UL-UM, TL-TM						
weich	19,0	9,0	25,0	0 - 4	3 - 5	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹
steif	19,5	9,5	25,0	4 - 8	5 - 8	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹
halbfest	20,5	10,5	25,	8 - 13	8 - 15	10 ⁻⁷ - 10 ⁻⁹
fest	21,0	11,0	0	13 - 20	15 - 25	10 ⁻⁹ - 10 ⁻¹⁰
			2 7,5			
Sand , leicht schluffig bis schluffig, leicht kiesig bis kiesig SE, SW, SU						
locker						
mittel-dicht	18,5	9,5	27,5	0	10-20	10 -10 ⁻⁴⁻⁶
dicht	19,0	10,0	30,0	0	20-30	10 -10 ⁻⁴⁻⁶
hochverdichtet	19,5	10,5	32,5	0	30-50	10 -10 ⁻⁴⁻⁶
	20,0	11,0	35,0	0	50-70	10 -10 ⁻⁵⁻⁷
Sand , stark schluffig, leicht kiesig SU*, ST*						
locker						
mittel-dicht	19,0	10,0	27,5	0	8-15	10 -10 ⁻⁵⁻⁶
dicht	19,5	10,5	30,0	0	15-25	10 -10 ⁻⁵⁻⁶
hochverdichtet	20,0	11,0	32,5	0	25-40	10 -10 ⁻⁵⁻⁷
	20,5	11,5	35,0	0	50-60	10 -10 ⁻⁵⁻⁷

Bei den natürlichen Böden ist eine Varianz der Bodeneigenschaften aufgrund der natürlichen Randbedingungen immer gegeben. Wenn dies der Fall ist, müssen Begrenzungsüberlegungen mit alternierenden Parametern im Bereich von + 10 % angestellt werden.

Die o.g. Bodenkennwerte sind je nach Berechnungsmethode unter Berücksichtigung der jeweiligen Teilsicherheit nach den grundlegenden deutschen geotechnischen Normen zu berechnen: DIN 1054:2005-1 "Baugrund - Nachweis der Sicherheit von Erdbauwerken und Gründungen". Schwankungen im Baugrund müssen berücksichtigt werden. Die Systemgrenzen sind zu ermitteln. Dabei darf die Eignung des Systems unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Lastfälle nicht gefährdet werden.

5 Technische Auswertung der Untersuchungen – Geotechnische Gründungsempfehlung

5.1 Verkehrsflächen

Für die Verkehrsflächen (z.B. Zufahrt, Parkplätze) empfehlen wir, ein Profil in Anlehnung an die Richtlinien der RStO 12 zu gestalten.

Aufgrund der Nutzung wird davon ausgegangen, dass für die Zufahrten und Parkflächen (bei geringem PKW-Verkehr) die Belastungsklasse Bk 0,3 anzusetzen ist. Die Belastungsklassen sind vom Planer endgültig festzulegen.

Das Baugebiet befindet sich in der Frostzone II. Die vorhandenen Böden sind der Frostempfindlichkeitsklasse F2/F3 zugeordnet. Wenn der Boden unterschiedliche Frostempfindlichkeitsklassen aufweist, empfehlen die Normen, die niedrigere Klasse zu bewerten.

Für die Lastklassen Bk 0,3 und die Frostempfindlichkeitsklasse F3 beträgt die Mindestdicke des frostsicheren Aufbaus nach RSTO-12 50 cm (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Mindestdicke des frostsicheren Aufbaus.

	Bk 0,3
Ursprünglicher Wert	50 cm
Frostzone II	± 5 cm
Keine besonderen Klimaeinflüsse	± 0 cm
Grund- oder Schichtwasser bis zu einer Tiefe von 1,5 m unter dem Bodenniveau	± 5 cm
Höhe des Geländes bis zum Damm ≤ 2 m	± 0 cm
Entwässerung der Fahrbahn über Mulden, Gräben oder Böschungen*	± 0 cm
Mindestdicke des frostsicheren Aufbaus	60 cm*
*) von den Planern zu überprüfen und ggf. anzupassen	

Für die ermittelte Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus wird eine ausreichende Tragfähigkeit in der Ebene des Unterbaus vorausgesetzt, d.h. ein E_{v2} Wert ≥ 45 MN/m² muss durch einen Plattendruckversuch nachgewiesen werden. Dazu muss der Oberboden in jedem Fall vollständig abgetragen werden. Die untersuchten Oberbodenstärken lagen zwischen 0,1 m und 0,7 m unter der vorhandenen Geländeoberkante.

Nach den Ergebnissen der Baugrunduntersuchung werden diese Anforderungen von den vorhandenen schluffigen bis stark schluffigen Sandböden voraussichtlich nicht erfüllt bzw. können durch Nachverdichtung erfüllt werden. Es wird daher laut Labor (Proctor- und Ödometerversuche) empfohlen, ein Mischbindemittel mit einem Anteil von 3-4 % 50/50 Kalk/Zement bis zu einer Tiefe von 40 cm einzufräsen. Wenn die

Arbeiten im Sommer durchgeführt werden und der Boden trocken ist, wird empfohlen, den Boden vor dem Einfräsen des Mischbindemittels zu wässern.

Alternativ kann auch ein Bodenersatz aus 30 cm Kies oder Schotter mit einer Körnung von 0/56, 0/80 oder 0/100 und einem Feinanteil von maximal 10 % vorgenommen werden. Wenn das bindige Material eine feste Konsistenz hat, muss die Dicke auf 40 cm erhöht werden.

Für die Abwicklung des Baustellenverkehrs ist eine mindestens 50 cm dicke Baustraße aus Schotter/Brechsand mit einem Geotextil (GRK 3) an der Basis vorzusehen. Die schluffigen bis hochschluffigen Sande sind hierfür nicht geeignet. Wenn die erste Schicht der Frostschutzschicht (FPL) bereits aufgebracht ist, kann diese als Baustraße dienen.

Allerdings ist dann zu beachten, dass der obere "schmutzige" Fahrbereich entfernt wird, bevor die oberste Schicht der FPL aufgetragen wird, da sonst der Feinanteil der FPL zu hoch ist.

Die Verdichtung der Trag- und Frostschutzschicht ist entsprechend den Anforderungen der ZTVE-StB 17 nachzuweisen. Dies wird in der Regel durch Plattendruckversuche nach DIN 18134 oder dynamische Plattendruckversuche nach TP BF-StB Teil B 8.3 überprüft.

Bei der Planung und Ausführung von Entwässerungsanlagen sind die Vorgaben der RAS-EW bzw. die Vorgaben der einschlägigen DIN-Normen zu berücksichtigen.

6 Bautechnische Hinweise

6.1 Erdbebengebiet

Nach der Erdbebengefährdungskarte der DIN EN 1998-1/NA Version 2011-01 befindet sich der Standort in keiner Erdbebenzone.

6.2 Bemessungswasserstand und Bauwerksabdichtung

Hinsichtlich der Grundwasserverhältnisse wird auf Kapitel 4.3 verwiesen. Der Bemessungswasserstand wird auf der Grundlage des höchstmöglichen Wasserstandes über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren ermittelt. Der Bemessungswasserstand kann aus dem Oberflächenwasser HHW (=höchster Hochwasserstand) oder dem Grundwasser HGW (=höchster Grundwasserstand) ermittelt werden. Je nach Datengrundlage sind Zuschläge zu ermitteln und Zuschläge zu erheben.

Der höchste Grundwasserstand ist zu ermitteln. Zum Zeitpunkt der Grundwassermessungen herrschten etwa durchschnittliche Grundwasserverhältnisse, sodass der HGW (=höchster Grundwasserstand) auf einer Geländehöhe zwischen 36,00 m NHN - 38,00 m NHN angenommen werden kann. Es wird daher ein Bemessungswasserstand von 38,5 m NHN empfohlen.

Je nach Gründungstiefe empfehlen wir, die Gebäude gegen vorübergehend drückendes Wasser abzudichten und die Wassereinwirkungsklasse W2.1-E nach DIN 18533-1 zu bewerten. Alternativ können die Gebäude auch nach den WU-Richtlinien abgedichtet werden. Hiervon raten wir jedoch ab, da die Gebäude erst im Hochwasserfall mit Wasser in Berührung kommen und somit die Selbstheilungsfunktion des WU-Betons versagt.

6.3 Aushubsole und Entwässerung

Da uns keine weiteren Informationen über die Unterkellerung der geplanten Gebäude vorliegen, gehen wir davon aus, dass keine unterirdischen Bauten geplant sind. Sollte sich der Grundriss ändern und/oder konkrete Bauwerke geplant sind, muss dieser Abschnitt angepasst werden.

Daher ist mit Baugruben nur bis zu einer Tiefe von ca. 1 m - 2 m durch Abtrag und Aufschüttung zu rechnen. Baugruben über dem Grundwasser können nach DIN 4124 bis zu einer Tiefe von maximal 5,0 m frei geböscht werden. Somit können die sandigen Böden oberhalb des Grundwassers frei mit max. 45° und die bindigen Böden mit max. 60°. Ein Eindringen von Grundwasser ist nicht zu erwarten. Aufgrund der sehr schluffigen Sandschichten in der Baugrubensohle ist eine Tagesentwässerung mit Pumpensämpfen vorzusehen.

Es muss auch berücksichtigt werden, dass das Grundwasser saisonal ansteigen kann und es daher vorkommen kann, dass Grundwasser in die Baugruben fließt. Es wird daher empfohlen, die Erdarbeiten in Trockenperioden mit normalen bis niedrigen Grundwasserverhältnissen durchzuführen.

Gehen die Baugruben deutlich tiefer, muss das Grundwasser durch Schachtbrunnen abgesenkt werden oder es ist eine wasserdichte Baugrubensicherung (z.B. Stahlspundwand) erforderlich. Für Planung und statische Berechnungen stehen die unterzeichnenden Experten zur Verfügung.

Bei der Wahl von Trägerbohlwänden müssen die Balken aufgrund der dichten Packung des Sandes in vorgebohrte Löcher gesetzt werden.

Bei Rohrleitungs- und Kanalbauarbeiten ist auch innerhalb der sandigen Böden ein maximaler Böschungswinkel von 45° zu beachten. Die Vorgaben der DIN 4124 bezüglich lastfreier Streifen sind zu beachten. Vertikaler Aushub ist für Gruben und Gräben bis zu einer maximalen Tiefe von 1,25 m über dem Grundwasser möglich.

6.4 Witterungsempfindlichkeit

Die schluffigen Sande und bindigen Böden sind sehr witterungsanfällig.

Die mechanischen Eigenschaften des Bodens, insbesondere die Tragfähigkeit, verschlechtern sich bei Durchfeuchtung rasch. Daher dürfen Aushubarbeiten nur bei trockenem Wetter durchgeführt werden, oder diese Böden müssen durch sofortigen Einbau der Tragschicht oder durch Stabilisierung des Bodens mit einem Bindemittelgemisch vor Niederschlägen geschützt werden.

Die schluffigen bis sehr schluffigen Sande reagieren zudem beim Befahren mit Radfahrzeugen mit einem Auflockerungseffekt. Der Aushub ist daher im On-face-Verfahren auszuführen. Um Auflockerungen zu vermeiden, sollte der Aushub mit einem Fräslöffel durchgeführt werden. Um Staunässe im Untergrund zu vermeiden, wird empfohlen, den Aushub mit leichtem Gefälle vorzunehmen.

6.5 Versickerung von Dach- und Oberflächenwasser

Wie in Kapitel 4.6 beschrieben, ist die ungesättigte Bodenzone geringmächtig. Der erste "Grundwasserspiegel", bei dem es sich um einen sedimentären Porengrundwasserleiter (mehr oder weniger infiltriertes Regenwasser) handelt, wurde hauptsächlich in einer Tiefe von etwa 1 bis 2 Metern unter der Bodenoberfläche ermittelt (teilweise tiefer, insbesondere dort, wo der Boden höher liegt). Je nach Jahreszeit / Niederschlag kann sich der erste Grundwasserspiegel verändern und sogar ansteigen. Das bedeutet, dass die Versickerungsmenge begrenzt ist. Wir empfehlen daher unbedingt einen Notüberlauf, der eine Überlaufebene hat, damit umliegende Gebäude nicht negativ beeinflusst werden. Darüber hinaus werden Retentionssysteme empfohlen.

Des Weiteren: Versickerungsanlagen sind bodennah filterstabil auszuführen. Das Versickerungsbauwerk ist grundsätzlich filterstabil (fein-mittelsandig, schluffig bis stark schluffig) zum geplanten Standort hin auszuführen, im Versickerungsbauwerk sind entsprechende Sedimentations-/Retentionssysteme vorzusehen, damit die vorhandenen Sande nicht mit Feinanteilen verklumpen / verschlammen.

Für die Planung und Berechnung von Versickerungsanlagen verweisen wir auf die technischen Regelwerke "Arbeitsblatt DWA-A 138" und "Merkblatt DWA-M 153". Falls Unterstützung bei der Planung von Versickerungsanlagen benötigt wird, kann HPC kontaktiert werden.

6.6 Geländeregulierung

Je nach der endgültigen Lage der Gebäude und Straßen sind mehr oder weniger umfangreiche Bodenausgleiche erforderlich. Wie in Kapitel 2 beschrieben, nimmt das Gelände nach Süden hin zu, wobei im südlichen Teil des Geländes das Gefälle steiler ist als im übrigen Teil des Geländes.

Für eine allgemeine Betrachtung wird von einer geplanten Zone der Bebauung mit 36,00 m NHN - 39,00 m NHN Höhe ausgegangen. Ein Baunull ist von den Planern noch nicht festgelegt worden. Wir gehen daher von einem Baunull in der Höhe von ca. 37,50 m NHN aus. Ein Bodenausgleich mit einer Aufschüttung von ca. 1 m - 2 m ist wahrscheinlich. In jedem Fall muss der Oberboden vorher abgetragen werden.

Aufgrund der in Kapitel 7.4 beschriebenen Witterungseffekte der schluffigen Böden empfehlen wir, den Aushub bei trockener Witterung im Aufbruchverfahren vorzunehmen. Für die Durchführung des Aushubs und der Aufschüttung empfehlen wir die folgenden Schritte:

- Abtragen und Aufhalten des Mutterbodens mit einer Mächtigkeit von 0,1 m - 0,7 m. Mutterboden ist wertvolles Material und darf nicht entsorgt werden, sondern muss den Landwirten zur Wiederverwendung auf landwirtschaftlichen Flächen zur Verfügung gestellt werden.
- In den Auffüllungsabschnitten Durchfräsen der Tragschicht und Einfräsen des gemischten Bindemittels mit einem Anteil von 3-4 % 50/50 Kalk/Zement bis zu einer Tiefe von 40 cm. Bewässerung, wenn der Boden trocken ist.
- Anschließend Einarbeitung des Abtragsmaterials in das Bindemittelgemisch in Schichten von max. 40 cm Dicke bis zur Unterkante der Fundamente. Sind mindestens 2 Schichten (ca. 80 cm) stabilisierter Böden vorhanden, kann der stabilisierte Boden befahren werden.
- Im Abtragsbereichen empfehlen wir auch, die Tragschicht durchzufräsen und das gemischte Bindemittel einzufräsen. Für die Befahrung empfehlen wir eine mindestens 50 cm dicke Schicht aus Schotter/Splitt und ein Geotextil (GRK 3) an der Basis. Wird bereits die erste Schicht der Frostschutzschicht aufgebracht, so ist darauf zu achten, dass die obere "schmutzige" Befahrungsfläche vor dem Aufbringen der obersten Schicht der FPL entfernt wird, da sonst die Feinanteile der FPL zu hoch sind.

Aufgrund der schluffigen Böden weisen wir ausdrücklich auf die direkt in der Baugrube zu verlegende Tagesentwässerung hin, damit das Niederschlagswasser direkt und effektiv abgeleitet werden kann.

Angehäuftes Material ist auf Halden zu sammeln und für die Entsorgung/Wiederverwendung gemäß PN 98 zu beproben.

Die sandigen Böden sind prinzipiell zur Verfüllung geeignet. Für den Einbau ist die Zugabe eines Bindemittels erforderlich. Unter Bezugnahme auf die spezifischen Bodeneigenschaften des vorhandenen Sandes ist ein Mischbindemittel mit einem Anteil von 3-4 % 50/50 Kalk/Zement zu verwenden.

Alternativ oder im Falle eines Massendefizits sind Fremdmaterialien zur Verfüllung zu verwenden. Hier empfiehlt sich die Verwendung von gemischten oder grobkörnigen, güteüberwachten Schüttgütern wie sandigem Kies, Schotter oder vergleichbaren RC-Baustoffen.

Der Einbau muss lagenweise mit optimaler Verdichtung nach den Vorgaben der ZTVE-StB 17 erfolgen.

6.7 Rückverfüllung der Arbeitsräume und Wiederverwendung von Aushubmaterial

Zur Verfüllung von Arbeitsbereichen oder Rohrgräben sollte ein verdichtungsfähiges Mineralgemisch (z. B. sandiger Kies, kiesiger Sand) verwendet werden.

Dazu kann auch jedes sandige, nicht kontaminierte Aushubmaterial verwendet werden. Bei Feinkorngehalten > 15 % wird die Zugabe eines Mischbindemittels mit einem Anteil von 3-4 % 50/50 Kalk/Zement empfohlen, um die Anforderungen an die erreichbare Verdichtung zu erfüllen.

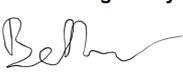
Die Verfüllung ist lagenweise mit optimaler Verdichtung auszuführen. Die Verdichtung ist nach den Anforderungen der ZTV E-StB 17 auszuführen und nachzuweisen.

HPC AG

DocuSigned by:

0A5C66EA1ABE446...

i.V. Dipl.-Geol. Holger Hillen, M.Sc.

DocuSigned by:

7DB674BC7FDB416...

i. A. Björn Bethge, M.Sc.