

BAUGRUND
GRUNDBAU
UMWELTGEOTECHNIK
SPEZIALTIEFBAU
HYDROGEOLOGIE

GEOTECHNISCHER BERICHT

Projekt-Nr. 1025.15

02.05.2016

- Bauvorhaben:** Neubau Paul-Winter-Realschule
mit Doppelturnhalle und Außenanlagen
Neuburg a. d. Donau, Kreuter Weg
- Auftraggeber:** Landkreis Neuburg-Schrobenhausen
Platz der Deutschen Einheit 1
86633 Neuburg a. d. Donau
- Architekt:** Behnisch Architekten ALN Architekturbüro Leinhäupel + Neuber
Arbeitsgemeinschaft
Blumenstraße 17
80331 München

INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeines.....	4
2	Verwendete Unterlagen.....	4
3	Feld- und Laboruntersuchungen.....	5
4	Ergebnisse der Untersuchungen und Baugrundbeurteilung.....	8
4.1	Allgemeiner geologischer Überblick.....	8
4.2	Schichtenfolge.....	8
4.2.1	Schicht 1: Oberboden und Auffüllungen.....	8
4.2.2	Schicht 2: Löß.....	10
4.2.3	Schicht 3: Tertiäre Schluffe und Tone.....	14
4.2.4	Schicht 4a: Malmkalk (verwittert).....	17
4.2.5	Schicht 4b: Malmkalk (unverwittert).....	18
4.3	Baugrundbeurteilung und Klassifizierung der anstehenden Böden.....	19
4.3.1	Schicht 1: Oberboden/Auffüllungen.....	19
4.3.2	Schicht 2: Löß.....	20
4.3.3	Schicht 3: Tertiäre Schluffe und Tone.....	22
4.3.4	Schicht 4: Malmkalk.....	23
5	Bodenkenngrößen und Erdbebenwirkung.....	25
5.1	Bodenrechenwerte.....	25
5.2	Erdbebenwirkung.....	25
6	Hydrogeologische Verhältnisse.....	26
7	Folgerungen für die Baumaßnahme.....	28
7.1	Gründung Baukörper.....	28
7.2	Gründung Verkehrs- und Freiflächen.....	29
7.3	Baugrube.....	30
7.3.1	Geböschte Baugruben.....	30
7.3.2	Verbaute Baugruben.....	31
7.4	Wasserhaltung.....	33
8	Hinweise zur Planung und Ausführung.....	34
8.1	Allgemeine Hinweise.....	34
8.2	Wiederverwendbarkeit.....	34
8.3	Chemische Analytik des Bodens mit Bewertung.....	35
8.4	Erdbau.....	36
8.5	Versickerung.....	37
8.6	Frostsicherheit.....	37
8.7	Sicherheitsmaßnahmen.....	38
8.8	Wiederverfüllung, Hinterfüllung.....	38
8.9	Beweissicherung, Erschütterungsschutz.....	38
9	Schlussbemerkungen.....	39

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1:	Lagepläne
Anlage 2:	geotechnische Profillängsschnitte (M.d.H. 1:100)
Anlage 3:	Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse
Anlage 4:	Rammdiagramme
Anlage 5:	Bodenmechanische Laborversuche
Anlage 6:	Chemische Laborversuche
Anlage 7:	Kampfmittelfreimessung der Aufschlusspunkte

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1:	Bohrungen	5
Tab. 2:	Kleinrammbohrungen.....	5
Tab. 3:	Schwere Rammsondierungen im Untersuchungsbereich	6
Tab. 4:	Oberböden und Auffüllungen im Untersuchungsbereich	9
Tab. 5:	Ergebnisse chemische Analytik Oberboden/Auffüllungen	10
Tab. 6:	Erkundete Lößablagerungen im Untersuchungsbereich.....	10
Tab. 7:	Ergebnisse der Siebschlämmanalysen des Löß.....	12
Tab. 8:	Im Labor ermittelte Wassergehalte der Lößböden.....	12
Tab. 9:	Durchlässigkeit der Lößböden.....	13
Tab. 10:	Zustandsgrenzen der Lößböden	13
Tab. 11:	Erkundete tertiäre Schluffe und Tone im Untersuchungsbereich	14
Tab. 12:	Kornverteilung der tertiären Tone und Schluffe	15
Tab. 13:	Wassergehalt der tertiären Tone und Schluffe	15
Tab. 14:	Zustandsgrenzen der tertiären Schluffe und Tone.....	16
Tab. 15:	Ergebnisse der Glühverlustversuche an den tertiären Tonen und Schluffen	16
Tab. 16:	Erkundete Verwitterungsschicht des Malmkalks in den Bohrungen.....	17
Tab. 17:	Erkundete Oberkante des Malmkalks.....	18
Tab. 18:	Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 1	20
Tab. 19:	Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 2	21
Tab. 20:	Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 3	22
Tab. 21:	Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 4	24
Tab. 22:	Bodenkennwerte der vorliegenden Bodenschichten.....	25
Tab. 23:	Grundwasserstände in den Bohrungen	26

1 Allgemeines

In Neuburg a. d. Donau ist der Neubau der Paul-Winter-Realschule Am Kreuter Weg geplant.

Das Projektgebiet umfasst ein Areal von ca. 500 m Länge und ca. 100 m Breite. Auf dieser Fläche ist die Errichtung von derzeit 7 Baukörpern, davon 6 Baukörper des Lernbereichs und eine 3-fach Sporthalle geplant. Dazu ist die Anlage von Freiflächen wie z.B. Allwetterplätze, Rasenspielfeld, Parkflächen und Pausenhof geplant.

Bei dem Gelände handelt es sich um ein aus nördlicher Richtung nach Süden hin geneigtes Areal. Die Höhenunterschiede in den geführten Untersuchungsschnitten betragen ca. 2-10,5 m. Für die Gründungstiefen liegen derzeit noch Bereichsangaben vor. Aufgrund der Geländeneigung binden die geplanten Gründungsbereiche unterschiedlich tief in das Gelände ein. Einerseits kann die Einbindetiefe in das Gelände bis ca. 8 m betragen. Andererseits ist in Teilbereichen mit Geländeanschüttungen zu rechnen. Der überwiegende Teil der geplanten Bauteile bindet ca. 3-5 m in den Untergrund ein.

Mit Datum 17.11.2015 wurden wir vom Bauherrn auf Grundlage unseres Angebotes A1461.15 beauftragt, eine Baugrunduntersuchung durchzuführen und in einem geotechnischen Bericht zu den Untergrund- und Grundwasserverhältnissen für die geplante Neubaumaßnahmen Stellung zu nehmen.

2 Verwendete Unterlagen

Für die Erstellung dieses Berichtes standen folgende Unterlagen / Angaben zur Verfügung:

- [U1] Lagepläne, Grundrisse und Schnitte: Neubau Paul Winter Realschule, übermittelt am 09.02.2016, Behnisch Architekten
- [U2] GeoFachdatenAtlas (Bodeninformationssystem Bayern), Bayerisches Landesamt für Umwelt (www.bis.bayern.de)
- [U3] Geologische Karte von Bayern M 1:500.000, herausgegeben vom Bayerischen Geologischen Landesamt, 1996
- [U4] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz und Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft: LfW-Merkblatt Nr. 3.8/1 vom 31.10.2001
- [U5] Anforderungen an die Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen – Eckpunktepapier - vom 21.06.2001

3 Feld- und Laboruntersuchungen

Zur Erkundung des Untergrundes wurden vom 17.02.2016 bis 13.04.2016 die folgenden Untersuchungen durchgeführt.

a) Bohrungen

Art: Aufschlussbohrung nach DIN EN 22475-1, Ø 178 mm

Anzahl: 12 Stück

Tab. 1: Bohrungen

Bohrung	Ausführung	Höhe Gelände [m NN]	Tiefe [m]	Bemerkung
B1	23.03.2016	406,83	3,7	
B2	14.03.2016	413,30	8,2	
B3	14.03.2016	409,48	15,4	
B4	14.03.2016	413,70	11,7	
B5	22.03.2016	416,74	10,4	
B6	22.03.2016	412,18	8,2	
B7	22.03.2016	414,49	7,2	
B8	15.03.2016	416,25	7,6	
B9	22.03.2016	414,52	6,8	
B10	15.03.2016	417,56	9,8	
B11	22.03.2016	415,97	7,8	
B12	14.-15.03.2016	418,27	13,2	

Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse: siehe Anlage 3

Ansatzpunkte: siehe Anlage 1

b) Kleinrammbohrungen

Art: Kleinrammbohrungen nach DIN EN 22475-1, Ø 50-80 mm

Anzahl: 11 Stück

Tab. 2: Kleinrammbohrungen

Bohrung	Ausführung	Höhe Gelände [m NN]	Tiefe [m]	Bemerkung
RKS 1	18.02.2016	406,87	4,0	
RKS 2	18.02.2016	404,32	5,0	
RKS 3	18.02.2016	402,35	5,0	
RKS 4	18.02.2016	406,62	5,0	
RKS 5	17.02.2016	417,17	3,0	

Bohrung	Ausführung	Höhe Gelände [m NN]	Tiefe [m]	Bemerkung
RKS 6	17.02.2016	418,57	5,0	
RKS 7	18.02.2016	418,38	5,0	
RKS 8	17.02.2016	419,40	5,0	
RKS 9	17.02.2016	423,48	5,0	
RKS 10	17.02.2016	420,13	5,0	
RKS 11	17.02.2016	412,47	5,0	

Bohrprofile und Schichtenverzeichnisse: siehe Anlage 3

Ansatzpunkte: siehe Anlage 1

Das mit Hilfe der Aufschlussbohrungen gewonnene Bohrgut wurde im Feld nach DIN EN 14688-1 angesprochen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Bodenansprache wurden aus definierten Teufenabschnitten insgesamt 146 Baugrundproben (34 x 1-L Becher/ 112 x 5-L Eimer) aus den Bohrungen und Kleinrammbohrungen entnommen.

c) Rammsondierungen

Art: schwere Rammsondierung nach DIN EN ISO 22476-2

Anzahl: 13 Stück

Tab. 3: Schwere Rammsondierungen im Untersuchungsbereich

Rammsondierung	Ausführung	Höhe Gelände [m NN]	Tiefe [m]	Bemerkung
DPH 1	19.02.2016	406,91	6,3	
DPH 2	19.02.2016	402,32	8,3	
DPH 3	18.02.2016	406,63	3,3	
DPH 4	18.02.2016	409,54	6,0	
DPH 5	18.02.2016	410,69	9,5	
DPH 6	18.02.2016	414,35	9,7	
DPH 7	17.02.2016	418,27	5,4	
DPH 8	17.02.2016	416,87	5,2	
DPH 9	19.02.2016	413,87	8,7	
DPH 10	17.02.2016	416,90	9,0	
DPH 11	18.02.2016	416,40	6,5	
DPH 12	17.02.2016	419,28	8,8	
DPH 13	17.02.2016	420,68	8,0	

Rammdiagramme: siehe Anlage 4

Ansatzpunkte: siehe Anlage 1

d) Durchgeführte bodenmechanische und chemische Laboruntersuchungen

Es wurden insgesamt 146 Bodenproben entnommen, an denen nachfolgende bodenmechanische und chemische Laboruntersuchungen durchgeführt wurden:

Durchgeführte Versuche	Anzahl
<u>Bodenmechanische Laborversuche</u>	
Bodenansprache DIN EN 14688-1	146
Siebanalyse nach DIN 18123	1
Kombinierte Sieb-Schlämmanalyse nach DIN 18123	23
Bestimmung des Wassergehalts nach DIN 18121	11
Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18122	9
Glühverlustbestimmung nach DIN 18128	9
Bodenmechanische Laborversuchsergebnisse:	siehe Anlage 5
<u>Chemische Laborversuche</u>	
Kohlenwasserstoffe MKW (Feinfraktion, Feststoff)	8
Schwermetalle SM 8 (Feinfraktion, Feststoff)	8
PAK (Gesamt-/Feinfraktion, Feststoff)	8
Chlorid/Nitrat	8
Chemische Laborversuchsergebnisse:	siehe Anlage 6

e) Einmessung

Die Aufschlusspunkte wurden vor Beginn der Feldarbeiten in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt. Nach Durchführung der Feldarbeiten wurden die Aufschlusspunkte nach Höhe (m NN) und Lage (Maßband) eingemessen.

f) Kampfmittelfreimessung

Vor Beginn der Feldarbeiten wurden die Ansatzpunkte auf Kampfmittel untersucht und freigegeben, siehe Anlage 7.

4 Ergebnisse der Untersuchungen und Baugrundbeurteilung

4.1 Allgemeiner geologischer Überblick

Nach der Geologischen Karte von Bayern [U3] befindet sich das Untersuchungsgebiet im Bereich quartärer Ablagerungen über tertiären Sedimenten und Kalksteinen aus dem Malm (Jura). Durch die Nähe zur Donau ist auch mit quartären Auenablagerungen, fluviatilen Sedimenten und organogenen Böden zu rechnen.

Der vorgenannte Aufbau wurde mit den durchgeführten Baugrundaufschlüssen im Wesentlichen bestätigt. Nachfolgend werden die bei der Baugrunderkundung angetroffenen Böden in ihren bautechnischen Eigenschaften entsprechend zusammengefasst, beschrieben und beurteilt.

4.2 Schichtenfolge

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen kann der lithologische Aufbau des Untergrundes im Untersuchungsgebiet wie folgt vereinfacht dargestellt werden:

- Schicht (1): Oberboden-Auffüllungen
- Schicht (2): Löß
- Schicht (3): Tertiäre Schluffe und Tone
- Schicht (4a): Malmkalk (verwittert)
- Schicht (4b): Malmkalk (unverwittert)

Allgemeine Schichtober- bzw. Schichtunterkanten lassen sich nicht angeben, da die Schichtgrenzenverläufe unregelmäßig, entsprechend den Ablagerungsprozessen sind. Genauer lassen sich die Schichtgrenzen nur an den einzelnen Bohrprofilen bestimmen.

4.2.1 Schicht 1: Oberboden und Auffüllungen

Mit den durchgeführten Bohrungen wurde im Projektgebiet in Teilbereichen eine Oberboden- und Auffüllungsschicht bis zu ca. 2,0 m unter Ansatzpunkt erkundet. Bei dem festgestellten Oberboden handelt es sich meist um einen sandigen Boden mit organischen Beimengungen (durchwurzelter obere Bodenzone). Vereinzelt wurden im Oberboden kiesige Beimengungen und sandig-schluffige, Ziegelreste enthaltende Auffüllungen festgestellt. Die Lagerungsdichte der ersten Schicht ist als locker zu beurteilen.

Nachfolgender Tabelle (Tab. 4) können die Unterkanten der erbohrten Oberböden in den Aufschlüssen entnommen werden.

Tab. 4: Oberböden und Auffüllungen im Untersuchungsbereich

Bohrung	UK Schicht 1 unter GOK ca. [m]	UK Schicht 1 unter GOK ca. [m NN]	Mächtigkeit Oberboden/Auffüllung ca. [m]
B 1	0,3	406,53	0,3
B 2	0,3	412,80	0,3
B 3	1,2	408,48	1,2
B 4	0,7	413,00	0,7
B 5	0,5	416,24	0,5
B 6	0,3	411,88	0,3
B 7	0,9	413,59	0,9
B 8	0,3	415,75	0,3
B 9	0,3	414,22	0,3
B 10	0,2	417,16	0,2
B 11	0,5	415,37	0,5
B 12	0,5	417,77	0,5
RKS 1	0,2	406,67	0,2
RKS 2	0,5	403,92	0,5
RKS 3	0,4	401,95	0,4
RKS 4	2,0	404,62	2,0
RKS 5	0,5	416,67	0,5
RKS 6	0,4	418,17	0,4
RKS 7	0,6	417,78	0,6
RKS 8	0,5	419,90	0,5
RKS 9	0,5	422,98	0,5
RKS 10	0,5	419,63	0,5
RKS 11	0,5	411,97	0,5

Die sondiertechnische Überprüfung der ersten Schicht (Oberboden/Auffüllungen) mit der schweren Rammsonde ergab überwiegend sehr lockere bis lockere Lagerungsverhältnisse.

Entsprechend der Beauftragung wurden die Oberböden bzw. die Auffüllungen orientierend auf die Parameter Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW), Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Schwermetalle im Feststoff und Chloride sowie Nitrate überprüft und die Ergebnisse nach dem LfW-Merkblatt [U4] und EPP [U5] ausgewertet.

Tab. 5: Ergebnisse chemische Analytik Oberboden/Auffüllungen

Schicht 1: Oberboden/Auffüllungen					
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.					
Probe:	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Maßgeblicher Parameter	Konzentration maßgeblicher Parameter [mg/kg]	Einstufung nach LfW-Merkblatt [U7]	EPP [U9]
B3 KP 1	0,0-1,0	MKW PAK SM8	<50 -- --	alle < HW1	alle Z0
B5 KP 1	0,0-0,5	MKW PAK Pb	200 -- 370	> HW 1 < HW 1 > HW1	Z1.1 Z0 Z2
B11 KP 1	0,0-0,6	MKW PAK SM8	62 0,306 --	alle < HW1	alle Z0
RKS1 BP1	0,0-0,2	MKW PAK SM8	62 0,306 --	alle < HW1	alle Z0
RKS4 BP 1	0,0-0,5	MKW PAK SM8	<50 0,306 --	alle < HW1	alle Z0
RKS6 BP1	0,0-0,4	MKW PAK SM8	<50 -- --	alle < HW1	alle Z0
RKS7 BP1	0,0-0,5	MKW PAK SM8	<50 -- --	alle < HW1	alle Z0
RKS11 BP 2	1,0-2,0	MKW PAK Hg	<50 0,342 0,53	alle < HW1	Z0 Z0 Z1.1

4.2.2 Schicht 2: Löß

Im Liegenden des Oberbodens wurden in allen Aufschlüssen quartäre Lössе angetroffen. Tabelle 6 zeigt eine Übersicht der Mächtigkeiten in den erkundeten Lößablagerungen, die zwischen 1,5 m und 5 m schwanken.

Tab. 6: Erkundete Lößablagerungen im Untersuchungsbereich

Bohrung	UK Schicht 2 unter GOK ca. [m]	UK Schicht 2 unter GOK ca. [m NN]	Mächtigkeit Löß ca. [m]
B 1	2,5	404,33	2,2
B 2	3,2	410,10	2,7
B 3	5,6	403,88	4,4
B 4	5,1	408,60	4,4
B 5	5,5	411,24	5,0

Bohrung	UK Schicht 2 unter GOK ca. [m]	UK Schicht 2 unter GOK ca. [m NN]	Mächtigkeit Löß ca. [m]
B 6	3,8	408,38	3,5
B 7	3,3	411,19	2,4
B 8	4,5	411,75	4,0
B 9	3,0	411,52	2,7
B 10	3,7	413,86	3,3
B 11	3,2	412,77	2,6
B 12	4,7	413,57	4,2
RKS 1	3,2	403,67	3,0
RKS 2	4,0	400,32	3,6
RKS 3	3,5	398,85	3,1
RKS 4	2,0	404,62	1,5
RKS 5	mind. 3,0*	mind. 414,17*	mind. 2,5*
RKS 6	3,0	415,57	2,6
RKS 7	4,2	414,18	3,7
RKS 8	mind. 5,0*	mind. 415,40*	mind. 4,0*
RKS 9	mind. 5,0*	mind. 418,48*	mind. 4,5*
RKS 10	3,5	416,63	3,0
RKS 11	3,7	408,77	2,7

* Unterkante nicht erreicht

Die Lößböden wurden als sandige, stark sandige, bisweilen auch schwach sandige Schluffe oder als schluffige bis stark schluffige Sande, vereinzelt auch als schwach tonige, kiesige schluffige Sande angesprochen. Die Konsistenz der frischen Proben im Feld lag zum Zeitpunkt der Kernaufnahmen überwiegend bei steif aber auch bei weich und weich bis steif.

Die Ergebnisse der labortechnischen Ermittlung der Korngrößen nach DIN 18123 an 15 Proben der Schicht 2 können der nachfolgenden Tabelle (Tab. 7) entnommen werden.

Tab. 7: Ergebnisse der Siebschlämmanalysen des Löß

Schicht 2: Löß					
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.					
Probenbezeichnung	Tiefe m u. GOK	Feinstkornanteil Ø < 0,002 mm [Gew.-%]	Feinkornanteil Ø > 0,002 mm Ø < 0,063 mm [Gew.-%]	Sandkornanteil Ø > 0,063 mm Ø < 2 mm [Gew.-%]	Kieskornanteil Ø > 2 mm Ø < 63 mm [Gew.-%]
B1 KP2	1,0-2,0	3,5	77,6	18,6	0,3
B2 KP2	2,0-3,0	3,6	71,0	25,1	0,3
B4 KP4	4,0-5,0	13,4	22,9	43,9	19,8
B5 KP2	0,5-1,2	14,1	31,1	54,0	0,8
B5 KP4	4,6-5,5	4,2	18,8	54,4	22,6
B8 KP4	3,8-4,5	10,2	14,3	65,3	10,2
B12 KP2	2,0-2,8	2,9	53,6	43,2	0,3
B12 KP3	3,0-4,0	12,0	15,9	66,1	6,0
RKS1 KP2	1,6-3,2	12,1	21,3	50,1	16,5
RKS3 KP1*	0,4-3,5	-	76,6	23,3	0,1
RKS5 KP1	0,5-3,0	3,5	71,1	24,9	0,5
RKS6 KP1	1,0-3,0	3,4	66,1	29,8	0,7
RKS7 KP1	0,7-4,2	3,7	71,0	24,8	0,5
RKS8 KP1	1,0-5,0	3,9	67,2	28,7	0,2
RKS9 KP1	1,0-5,0	2,9	56,5	40,0	0,6

*Feinkornanteil aus Naßsiegung bestimmt

Die Ergebnisse der labortechnischen Ermittlung der Wassergehalte nach DIN 18121 an 7 Proben der Schicht 2 können der nachfolgenden Tabelle (Tab. 8) entnommen werden.

Tab. 8: Im Labor ermittelte Wassergehalte der Lößböden

Schicht 2: Löß		
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.		
Probenbezeichnung	Tiefe m u. GOK	Wassergehalt w [%]
B1 KP2	1,0-2,0	19,1
B2 KP2	2,0-3,0	17,6
B4 KP4	4,0-5,0	23,4
B5 KP4	4,6-5,5	11,1
B8 KP4	3,8-4,5	13,2
B12 KP2	2,0-2,8	13,1
B12 KP3	3,0-4,0	12,6

Die Durchlässigkeit der Lössböden wurde an drei Proben aus der Kornsummenkurve nach dem Verfahren nach BEYER ermittelt und kann der folgenden Tabelle (Tab. 9) entnommen werden.

Tab. 9: Durchlässigkeit der Lössböden

Schicht 2: Löß Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.		
Probenbezeichnung	Tiefe m u. GOK	Durchlässigkeiten ca. k [m/s]
B4 KP4	4,0-5,0	$1,76 \times 10^{-8}$
B5 KP4	4,6-5,5	$1,76 \times 10^{-6}$
RKS1 KP2	1,6-3,2	$1,35 \times 10^{-8}$

Tabelle 10 können die im Labor nach DIN 18 122 ermittelten Zustandsgrenzen für eine untersuchte Bodenprobe der Schicht 2 entnommen werden.

Tab. 10: Zustandsgrenzen der Lössböden

Schicht 2: Löß Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.						
Bez. Probe	Tiefe [m u. GOK]	W_p [%]	w_L [%]	I_c [-]	Konsistenz DIN 18122	Bodengruppe DIN 18196
B5 KP2	0,5-1,2	10,22	29,87	0,87	steif	TL

Die in den frischen Proben festgestellten Konsistenz bestätigen die allgemeinen Erfahrungen über die Konsistenz innerhalb der Lössböden.

Aufgrund von Erfahrungswerten weisen die Durchlässigkeiten der Lössböden Werte von $k < 1 \cdot 10^{-7}$ m/s auf. Sie sind damit nach DIN 18130 sehr schwach durchlässig.

Die sondiertechnische Überprüfung mit den Rammsondierungen bestätigt die meist angesprochene steife Konsistenz der Lössböden.

4.2.3 Schicht 3: Tertiäre Schluffe und Tone

Unterlagert werden die Lößböden von den tertiären Böden der oberen Süßwassermolasse. Diese wurden in den Aufschlüssen im direkten Anschluss an die quartären Schichten in Form von Tonen und Schluffen erbohrt. Die tertiären Böden wurden in drei Rammkernsondierungen nicht erschlossen. In RKS 1 liegt bereits Schicht 4b (unverwitterter Malmkalkstein) unter dem Löß; RKS 5 und RKS 9 erschlossen beide nicht die Unterkante von Schicht 2.

Tab. 11: Erkundete tertiäre Schluffe und Tone im Untersuchungsbereich

Bohrung	OK Schicht 3 unter Ansatz ca. [m]	OK Schicht 3 unter Ansatz ca. [m NN]	UK Schicht 3 unter Ansatz ca. [m]	UK Schicht 3 unter Ansatz ca. [m NN]	Mächtigkeit ca. [m]
B1	2,5	404,33	3,0	403,83	0,5
B2	3,2	410,10	4,5	408,80	1,3
B3	5,6	403,88	15,3	394,18	9,7
B4	5,1	408,60	11,60	402,10	6,5
B5	5,5	411,24	mind. 10,5*	mind. 406,24*	mind. 5,0*
B6	3,8	408,38	7,2	404,98	3,4
B7	3,3	411,19	4,8	409,69	1,5
B8	4,5	411,75	6,5	409,75	2,0
B9	3,0	411,52	6,8	407,72	3,8
B10	3,7	413,86	9,2	408,36	5,5
B11	3,2	412,77	5,9	410,07	2,7
B12	4,8	413,57	13,1	405,27	8,3
RKS2	4,0	400,32	mind. 5,0*	mind. 399,32*	mind. 1,0*
RKS3	3,5	398,85	mind. 5,0*	mind. 397,35*	mind. 1,5*
RKS4	3,5	404,62	mind. 5,0*	mind. 401,62*	mind. 1,5*
RKS6	3,0	415,57	mind. 5,0*	mind. 413,75*	mind. 2,0*
RKS7	4,2	414,18	mind. 5,0*	mind. 413,38*	mind. 0,8*
RKS10	3,5	416,63	mind. 5,0*	mind. 415,13*	mind. 1,5*
RKS11	3,7	408,77	mind. 5,0*	mind. 407,47*	mind. 1,3*

* Unterkante nicht erreicht

Die tertiären Schluffe und Tone setzen sich aus schwach bis stark schluffigen Tonen mit meist geringen Sandanteilen, sandigen tonigen Schluffen und teilweise auch kiesigen tonigen Schluffen zusammen. Die Tone enthalten teilweise auch organische Bestandteile wie Schill (Muschelreste) und Kohle. Mit der Bohrung B 12 wurde in den Tonen auch ein eingelagerter Kalksteinblock angetroffen. Die Konsistenz der bindigen Böden wurde im Feld meist als steif bis halbfest angesprochen, wobei auch halbfeste und feste Bereiche vorliegen. Nähere Einzelheiten zu den

Tertiärböden können den Bohrprofilen und Schichtenverzeichnissen in Anlage 3 entnommen werden.

Die Ergebnisse der labortechnischen Ermittlung der Korngrößen nach DIN 18123 an 9 Proben der Schicht 2 können der nachfolgenden Tabelle (Tab. 12) entnommen werden.

Tab. 12: Kornverteilung der tertiären Tone und Schluffe

Schicht 3: Tertiäre Tone und Schluffe					
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.					
Probenbezeichnung	Tiefe m u. GOK	Feinstkornanteil Ø < 0,002 mm [Gew.-%]	Feinkornanteil Ø > 0,002 mm Ø < 0,063 mm [Gew.-%]	Sandkornanteil Ø > 0,063 mm Ø < 2 mm [Gew.-%]	Kieskornanteil Ø > 2 mm < 63 mm [Gew.-%]
B3 KP9	10,0-10,3	33,6	39,6	26,4	0,4
B4 KP7	8,0-8,5	33,6	59,3	6,7	0,4
B5 KP6	8,5-9,0	18,4	60,5	18,6	2,5
B6 KP5	5,0-5,4	38,0	27,5	32,4	2,1
B9 KP4	3,7-4,5	18,8	64,0	8,3	8,9
B10 KP5	6,5-7,0	57,4	17,5	24,7	0,4
B10 KP7	8,0-9,0	32,4	12,7	52,2	2,7
RKS4 KP2	3,5-4,7	35,6	56,8	7,6	-
RKS10 BP5	3,5-4,2	3,3	65,7	30,4	0,6

Im Labor wurde an 5 Stichproben der Wassergehalt bestimmt, vgl. Tab. 13.

Tab. 13: Wassergehalt der tertiären Tone und Schluffe

Schicht 3: Tertiäre Tone und Schluffe		
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.		
Probenbezeichnung	Tiefe m u. GOK	Wassergehalt w [%]
B5 KP6	8,5-9,0	21,3
B9 KP4	3,7-4,5	22,3
B9 KP5	4,5-5,2	28,5
B10 KP7	8,0-9,0	16,6

Der Tab. 14 können die im Labor nach DIN 18 122 ermittelten Zustandsgrenzen für 7 untersuchte Bodenproben der Schicht 3 entnommen werden.

Tab. 14: Zustandsgrenzen der tertiären Schluffe und Tone

Schicht 3: tertiäre Schluffe und Tone						
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.						
Bez. Probe	Tiefe [m u. GOK]	W _p [%]	w _L [%]	I _c [-]	Konsistenz DIN 18122	Bodengruppe DIN 18196
B3 KP9	10,0-10,3	16,24	53,20	0,88	steif	TA
B4 KP7	8,0-8,5	19,36	54,09	0,92	steif	TA
B6 KP5	5,0-5,4	18,99	58,97	1,07	halbfest	TA
B9 KP4	3,7-4,5	20,01	48,02	0,90	steif	TM
B9 KP5	4,5-5,2	19,27	58,39	0,66	weich	TA
B10 KP5	6,5-7,0	18,60	77,76	0,92	steif	TA
RKS4 KP2	3,5-4,7	19,8	47,7	0,81	steif	TM

Die in den frischen Proben festgestellten Konsistenzen bestätigen die allgemeinen Erfahrungen über die Konsistenz innerhalb der Schluffe und Tone. Die Schichtober- bzw. -unterfläche der bindigen Böden weist erfahrungsgemäß oftmals stärkere Aufwitterung bzw. geringere Konsistenz auf, die sich zumeist jedoch auf die oberen Dezimeter des Schichthorizontes beschränkt.

Die tertiären Schluffe und Tone stellen im vorliegenden Fall gegenüber den überlagernden quartären Lößböden (Schicht 4) einen Grundwasserhemmer dar. Aufgrund von Erfahrungswerten weisen die Durchlässigkeiten der Schluffe und Tone Werte von $k < 1 \cdot 10^{-7}$ m/s auf. Sie sind damit nach DIN 18130 sehr schwach bis schwach durchlässig.

Der Anteil an organischen Bestandteilen wurde im Bodenlabor durch den Glühverlust bestimmt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tab. 15: Ergebnisse der Glühverlustversuche an den tertiären Tonen und Schluffen

Schicht 3: Tertiäre Tone und Schluffe		
Untersuchungsergebnisse an ausgewählten Stichproben, die jedoch nicht die volle Schwankungsbreite aller anstehenden Böden dieser Bodenschicht erfassen.		
Probenbezeichnung	Tiefe m u. GOK	Glühverlust V _{gl} [%]
B1 KP3	2,5-3,0	5,10
B3 KP9	10,0-10,3	5,03
B3 KP11	12,6-13,0	5,80
B4 KP7	8,0-8,5	8,20
B6 KP5	5,0-5,4	4,60
B7 KP6	4,1-4,8	7,25
B9 KP6	6,0-6,5	5,13
B11 KP6	5,0-5,5	3,84
RKS4 BP4	4,78-5,0	16,4

Die sondiertechnische Überprüfung dieser Böden mit der schweren Rammsonde (DPH) bestätigte die Geländeansprache mit steifer bis halbfester Konsistenz im Wesentlichen.

4.2.4 Schicht 4a: Malmkalk (verwittert)

Liegend zu den tertiären Tonen und Sanden wurde in den Bohrungen, die Schicht 3 vollständig durchtäufte, die Verwitterungsschicht des Malmkalks oder sofort der unverwitterte Kalkstein des Malm angetroffen.

Der nachfolgenden Tabelle (Tab. 16) ist eine Übersicht der Ober- und Unterkanten der in den Bohraufschlüssen erkundeten Verwitterungsschicht des Malmkalks im Untersuchungsbereich zu entnehmen.

Tab. 16: Erkundete Verwitterungsschicht des Malmkalks in den Bohrungen

Bohrung	OK Schicht 4a unter Ansatz ca. [m]	OK Schicht 4a unter Ansatz ca. [m NN]	UK Schicht 4a unter Ansatz ca. [m]	UK Schicht 4a unter Ansatz ca. [m NN]	Mächtigkeit ca. [m]	Bemerkung
B1	3,00	403,83	3,60	403,23	0,6	
B2	4,50	412,80	7,80	405,5	3,3	
B 3	15,30	394,18	mind. 15,40*	mind. 394,08*	mind. 0,1*	
B 6	7,20	404,98	8,2	403,98	1,0	
B 7	4,80	409,60	7,00	407,40	2,2	
B8	6,50	409,75	7,60	408,65	1,1	
B10	9,20	408,36	9,70	407,86	0,5	
B11	5,90	410,07	7,60	408,37	1,7	

* Unterkante nicht erbohrt

Der Kalkstein in der Verwitterungsschicht ist stark zerklüftet, bzw. kleinstückig zerbrochen. Bei den Verwitterungszonen handelt es sich meist um zu Lockergestein verwittertem Festgestein. Nach der Bodenansprache im Feld bestehen die verwitterten Malmkalke aus überwiegend Kiesen mit unterschiedlich hohen Nebenbestandteilen von Sand, Schluff und Ton. Die Klufffüllung bzw. die Matrix besteht aus meist sandigen, teilweise auch kiesigen Schluffen steifer Konsistenz.

Aufgrund der angedachten Flächengründung in den meist oberflächennahen bindigen Bodenschichten des Löss und der tertiären Schluffe und Tone stellen die Malmkalkschichten demgegenüber einen sehr steifen und geringkompressiblen Baugrund dar. Aus diesem Grund wurden zunächst keine weiteren Versuche zur Klassifikation an diesen Schichten durchgeführt.

Die sondiertechnische Überprüfung mit der schweren Rammsonde DPH ergab für die Verwitterungsschicht des Malmkalks überwiegend dichte bis sehr dichte, stellenweise aber auch mitteldichte Lagerungsverhältnisse.

4.2.5 Schicht 4b: Malmkalk (unverwittert)

Liegend unter der Verwitterungsschicht bzw. unter den tertiären Tonen und Schluffen steht der unverwitterte Malmkalkstein an, dessen Antreffen auch das Ende der Bohrungen darstellt. In der folgenden Tabelle (Tab. 17) ist die jeweils erkundete Oberkante des Malmkalks aufgeführt.

Tab. 17: Erkundete Oberkante des Malmkalks

Bohrung	OK Schicht 4a unter Ansatz ca. [m]	OK Schicht 4a unter Ansatz ca. [m NN]	Bemerkung
B1	3,60	403,23	
B2	7,80	405,5	
B 3	mind. 15,40*	mind. 394,08*	
B 6	8,2	403,98	
B 7	7,00	407,40	
B8	7,60	408,65	
B10	9,70	407,86	
B11	7,60	408,37	

Die meist gebankten Kalksteine weisen häufig Mergelsteineinschaltungen auf. Die Bankung kann erfahrungsgemäß von 0,1 – 1 m Mächtigkeit variieren. Hinweise zu Schichtlagerung und Kluffgefüge wurden mit den Bohrungen nicht erlangt.

Für die Kalksteine werden Druckfestigkeiten aufgrund von Erfahrungen von etwa 10 - 40 MN/m² erwartet wobei auch Festigkeiten bis 100 MN/m² vorkommen können. Klüfte sind häufig lehmgefüllt.

4.3 Baugrundbeurteilung und Klassifizierung der anstehenden Böden

Entsprechend den in Kapitel 4.2 beschriebenen Bodenschichtungen können aufgrund der ausgeführten Untersuchungen und der örtlichen Erfahrungen die einzelnen zu erwartenden Bodenarten und ihre Eigenschaften wie folgt beschrieben, klassifiziert und in tabellarischer Form beurteilt werden. Eine genaue schichtbezogene Abgrenzung der einzelnen Bodengruppen und Bodenklassen ist wegen der nur punktuellen Aufschlüsse, der heterogenen Zusammensetzung der Lockergesteine und des ausgeprägten Reliefs der Schichtgrenzflächen nur bedingt möglich.

Allgemeine Schichtober- bzw. Schichtunterkanten lassen sich nicht angeben, da die Schichtgrenzenverläufe entsprechend den Ablagerungsprozessen unregelmäßig sind. Genauer lassen sich die Schichtgrenzen nur an den einzelnen Bohrprofilen bestimmen.

Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass die ausgeführten Aufschlussbohrungen nur punktförmig über den Baugrund und die Bodenklassen Aufschluss geben können. Der genaue Umfang mit Klassifizierungen ergibt sich erst im Zuge der Bauarbeiten.

Allgemein ist auf die große Wechselhaftigkeit und häufig enge Wechselfolge der unterschiedlich kornabgestuften Böden hinzuweisen. Bautechnisch wesentlich sind dabei vor allem die häufig auf enge Distanz wechselnden unterschiedlichen Tragfähigkeiten der Böden mit z. T. auch möglichen tiefreichenden Locker- und stärker kompressiblen Schwächezonen.

Zur Festlegung von Homogenbereichen wird eine enge Abstimmung zwischen Planung, Bauherr und Geotechnikum nach Vorliegen der Ausführungsdetails im Rahmen der Erstellung einer Ausschreibungsunterlage empfohlen.

4.3.1 Schicht 1: Oberboden/Auffüllungen

Der Oberboden besteht zum größten Teil aus Mutterboden, und nur in geringem Umfang aus Auffüllungen mit Ziegelresten. Oberboden / Mutterboden ist generell nicht zum Abtrag von Lasten geeignet. Die Auffüllungen stellen kein Ramm- oder Bohrhindernis dar.

Tab. 18: Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 1

Schicht1: Oberboden/Auffüllung	Beurteilung
Bodengruppen (DIN 18196)	OH, [OH], A vergleichbar mit SU, SU*, UL, UM ggf. auch TL, TM (Einlagerungen aus Fremdbestandteilen, z.B. Ziegelreste). Generell sind die Auffüllungen stark inhomogen und nach DIN 18196 nur eingeschränkt zuordenbar.
Lagerungsdichte	sehr locker - locker
Bodenklassen (DIN 18300)	1, A vergleichbar mit 2; 3; 4 lokal bei Steinanteilen über 30 % auch 5. Aufgrund des meist heterogenen Charakters von Auffüllungen können Bodenklassen nur bedingt angegeben werden.
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	BO 1, A vergleichbar mit BN1, BN2, BB1, BB2, lokal Klasse BS1. Aufgrund des meist heterogenen Charakters von Auffüllungen können Bodenklassen nur bedingt angegeben werden.
Widerstände bei Ramm- und Rüttelarbeiten	gering, mittel bis groß, lokal in Bereichen mit Grobeinlagerungen auch sehr groß bis nicht mehr rammbaar
Wasserdurchlässigkeit und grob abgeschätzte Durchlässigkeitsbeiwerte k	mittel bis gering, k = $1 \cdot 10^{-5}$ bis $1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	groß bis mittel
Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB 09	F3
Scherfestigkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	gering
kurzzeitige Standfestigkeit, z.B. bei Abgrabungen	gering bis mittel
Zusammendrückbarkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	groß
Wiederverwendbarkeit als Erdbaustoff	nicht geeignet
Verdichtbarkeitsklassen nach ZTVA-StB 97 und Verdichtungsfähigkeit	-
Eignung zur Abtragung von Bauwerkslasten	nicht geeignet

4.3.2 Schicht 2: Löß

Die Lössböden der Schicht 2 sind in der nach den Rammsondierungen festgestellten meist steifen Konsistenz als mittel tragfähig und als mittel kompressibel einzustufen. Durch Wassereinfluss aufgeweichte Zonen sind gering scherfest, stark kompressibel und gering tragfähig.

Die Böden der Schicht 2 sind grundsätzlich zur Lastabtragung geeignet, können jedoch wegen ihrer bereichsweise stärkeren Zusammendrückbarkeit zusätzliche Maßnahmen zur Abtragung von Bauwerkslasten erforderlich machen. Aufgrund der bekannten Eigenschaften von Lößböden muss mit sich schlagartig ändernden Zustandsformen bei geringsten Änderungen des Wassergehalts gerechnet werden. In Schicht 3 ist aufgrund des hohen bindigen Anteils und der damit einhergehenden geringen Durchlässigkeit unter statischer Last mit langanhaltenden Setzungen zu

rechnen. Die gelösten bindigen Böden eignen sich nur unter Anwendung von bodenverbessernden Maßnahmen zum Wiedereinbau und sind in der Regel schwer zu verdichten.

Die Rammbarkeit der Schicht 2 ist als überwiegend leicht bis schwer zu bewerten. In Bereichen mit höheren Konsistenzen können bei Rammarbeiten Zusatzmaßnahmen erforderlich werden. Grobeinlagerungen sind im Zuge unserer Untersuchungen nicht festgestellt worden, mit letzter Sicherheit können sie jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Wegen der meist leichtplastischen Eigenschaften ergibt sich für die feinkörnigen Böden eine hohe Wasser- und Frostempfindlichkeit.

Allgemein ist für die Böden auf die große Wechselhaftigkeit und häufig enge Wechselfolge der unterschiedlich kornabgestuften Böden hinzuweisen. Bautechnisch wesentlich sind dabei vor allem die häufig auf enge Distanz wechselnden unterschiedlichen Tragfähigkeiten der Böden mit z. T. auch möglichen tiefreichenden Locker- und stärker kompressiblen Schwächezonen.

Tab. 19: Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 2

Schicht 2: Löß	Beurteilung
Bodengruppen (DIN 18196)	SU*, ST*, UL, UM, TL, TM,
Lagerungsdichte / Konsistenz	weich, steif
Bodenklassen (DIN 18300)	3,4,5 fließempfindlich, unter Wassereinfluss auch Klasse 2
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	BB1, BB2, BN2
Widerstände bei Ramm- und Rüttelarbeiten	gering bis groß
Wasserdurchlässigkeit und grob abgeschätzte Durchlässigkeitsbeiwerte k	mittel bis sehr gering $k = 1 \cdot 10^{-4}$ bis $< 1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	meist sehr groß
Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB 09	F3
Scherfestigkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	gering bis mäßig
kurzzeitige Standfestigkeit, z.B. bei Abgrabungen	mittel bis gering, unter Wassereinfluss sehr gering
Zusammendrückbarkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	groß bis mittel
Wiederverwendbarkeit als Erdbaustoff	überwiegend nicht geeignet
Verdichtbarkeitsklassen nach ZTVA-StB 97 und Verdichtungsfähigkeit	V2, V3
Eignung zur Abtragung von Bauwerkslasten	bei mind. steifer Konsistenz geeignet

4.3.3 Schicht 3: Tertiäre Schluffe und Tone

Stehen die bindigen tertiären Böden in halbfester Konsistenz an, sind diese Böden als gering kompressibel und scherfest sowie für die Abtragung von Bauwerklasten als geeignet anzusehen. Tertiäre Böden in weicher und weicher bis steifer Konsistenz stellen einen gering bis mittel scherfesten, mäßig bis stark kompressiblen und mäßig bis gering tragfähigen Untergrund dar.

Die Konsistenz nimmt mit zunehmender Tiefe erfahrungsgemäß, bis hin zu teilweise Verfestigungen zu. Rammungen in diesen Schichten bis in größere Tiefen erfordern die Zuhilfenahme von Zusatzmaßnahmen, z.B. Lockerungsbohrungen. In den Schluffen und Tonen können auch Kalkblöcke eingelagert sein die zu Erschwernissen beim Rammen, Bohren, Lösen und Ladern führen können.

Bei Einlagerungen von Steinen und Blöcken insbesondere im Schichtwechselbereich sowie diagenetisch verfestigten Zonen können Rammhindernisse auftreten, so dass rammunterstützende Maßnahmen sowie Austauschbohrungen bzw. das Verschieben von z.B. Spundwandtrassen erforderlich werden können.

Tab. 20: Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 3

Schicht 3: Tertiäre Schluffe und Tone	Beurteilung
Bodengruppen (DIN 18196)	TM, TA (erfahrungsgemäß auch UM, TL/UL)
Lagerungsdichte / Konsistenz	halbfest, lokal weich bis steif, stellenweise auch fest, Kalksteinblöcke
Bodenklassen (DIN 18300)	4, 5 bei fester Konsistenz 6, Kalksteinblöcke 6-7
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	BB2, BB3, BS 1, BS 2, BS 3, BS 4, bei Verfestigungen ggf. FV1, FD1
Widerstände bei Ramm- und Rüttelarbeiten	groß bis sehr groß, Rammhindernisse
Wasserdurchlässigkeit und grob abgeschätzte Durchlässigkeitsbeiwerte k	gering $k < 1 \cdot 10^{-7}$
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	mittel bis groß
Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB 09	F2 - F3
Scherfestigkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	sehr gering bis mittel
kurzzeitige Standfestigkeit, z.B. bei Abgrabungen	groß
Zusammendrückbarkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	sehr groß bis mittel
Wiederverwendbarkeit als Erdbaustoff	eingeschränkt bis nicht geeignet
Verdichtbarkeitsklassen nach ZTVA-StB 97 und Verdichtungsfähigkeit	V3
Eignung zur Abtragung von Bauwerklasten	bei mind. halbfester Konsistenz geeignet

4.3.4 Schicht 4: Malmkalk

Die Oberfläche der Verwitterten Malmkalke weist nach den bisherigen Erkenntnissen ausgeprägtes Relief auf. Der Übergang der quartären und tertiären Lockergesteine zur Festgesteinsoberfläche wird in der Übergangszone durch eine Zunahme von Steinen mit kiesigen und stark untergeordnet sandigen Nebengemengeanteilen in bindiger Matrix angezeigt.

Baupraktisch und hinsichtlich des mechanischen Verhaltens lässt sich die Übergangszone unterteilen in eine Verwitterungszone, die bereits im wesentlichen Lockergesteinseigenschaften hat, und in eine Zone mit stark zerlegtem, aufgewittertem Fels.

Der Verwitterungsbereich ist ein in der Regel mitteldicht bis dicht gelagertes heterogenes Gemenge aus tonig/schluffig/sandigen Kiesen und Steinen, wobei der Steinanteil nach unten zunimmt. Im direkten Übergang zu den unverwitterten Malmkalcken ist bereits von Kalkstein auszugehen, wobei insbesondere der Felsverband noch erkennbar ist, bzw. der massige oder gebankte Kalkstein zu einem Gemenge mit mehr als 30 Gewichts-% Steinen von über 0,01m³ bis 0,1m³ zerlegt und aufgewittert ist.

Die Grenze zwischen Verwitterungszone und festerem Fels ist fließend und kann auf geringe Entfernung stark verspringen. Unmittelbar neben Lockergestein kann fester Fels anstehen. Ebenso können in der Übergangszone größere Felsblöcke auftreten, von denen beim Baugrubenaushub nicht ohne weiteres erkennbar ist, ob sie noch in Lockergestein eingebettet sind oder bereits Teil des festen Felsuntergrundes sind.

In welcher Tiefe zwischen den Aufschlüssen die jeweiligen Schichtgrenzen liegen, kann gemäß den vorstehenden Erläuterungen stark von den Verhältnissen im Aufschluss abweichen. Die Angaben zu den Tiefen stellen demnach eine Prognose dar, die mit erheblicher Unsicherheit behaftet ist.

Der Bereich der Verwitterungszone des Malmkalks zwischen den tertiären Tonen und Kalken und dem Übergang zum unverwitterten Kalkstein wird wie ein Lockergestein eingeschätzt. Die darunter anstehenden unverwitterten Malmkalke werden als Festgestein angesehen.

Tab. 21: Tabellarische Zusammenfassung weiterer Eigenschaften Schicht 4

Schicht 4: Malmkalk	Beurteilung
Bodengruppen (DIN 18196)	GU* (Verwitterter bis zersetzter Malmkalk, Schicht 4a), Fels
Lagerungsdichte / Konsistenz	mitteldicht bis dicht, dicht bzw. steif bis halbfest, fest
Bodenklassen (DIN 18300)	4, 5, 6, 7
Klassen für Bohrarbeiten (DIN 18301)	BN 1, BN 2, BB2, BS 1, BS 3, FV 1, FV 2, FV 3, FV 4, FV 5, FV 6, FD2, FD 3
Widerstände bei Ramm- und Rüttelarbeiten	groß bis sehr groß, nicht mehr rammbaar
Wasserdurchlässigkeit und grob abgeschätzte Durchlässigkeitsbeiwerte k	schwach durchlässig bis durchlässig $k = 1 \cdot 10^{-4}$ bis $< 1 \cdot 10^{-7}$ m/s
Witterungs- und Erosionsempfindlichkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	mittel
Frostempfindlichkeitsklasse nach ZTVE-StB 09	F2, Klüfte F3
Scherfestigkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	mittel bis groß
kurzzeitige Standfestigkeit, z.B. bei Abgrabungen	mittel bis groß
Zusammendrückbarkeit (Angabe gemäß DIN 18196)	gering
Wiederverwendbarkeit als Erdbaustoff	in Abhängigkeit des Feinkorngehalts und der Korngröße
Verdichtbarkeitsklassen nach ZTVA-StB 97 und Verdichtungsfähigkeit	V1, V2, V3
Eignung zur Abtragung von Bauwerkslasten	im natürlichen Lagerungszustand geeignet

5 Bodenkenngrößen und Erdbebenwirkung

5.1 Bodenrechenwerte

Auf der Grundlage der Erkundungsergebnisse, den Ergebnissen der Laborversuche, nach DIN 1055 und Erfahrungen mit vergleichbaren Böden, können nachfolgend die in Tab. 22 zusammengefassten charakteristischen Bodenkenngrößen für die beschriebenen Hauptbodenarten angesetzt werden. Die Werte gelten für ungestörte Lagerungsverhältnisse ohne baubedingte Auflockerungen oder Vernässungen. Im Regelfall kann mit Mittelwerten gerechnet werden. Um einen Überblick über die Schwankungsbreite der wahrscheinlichen Setzungen und über mögliche Setzungsunterschiede zu erlangen, sollten Setzungsberechnungen grundsätzlich mit beiden Grenzwerten der angegebenen Bodenkenngrößen durchgeführt werden. In kritischen Fällen sollten die jeweils ungünstigsten Werte für Berechnungen herangezogen werden.

Tab. 22: Bodenkennwerte der vorliegenden Bodenschichten

Schicht	Wichte		Reibung cal φ' [°]	Kohäsion		Steifemodul E_s [MN/m ²]
	cal γ [kN/m ³]	cal γ' [kN/m ³]		cal.c' [kN/m ²]	c_u	
Löß (2) steif	15-20 i.M. 17	5-10 i.M. 7	22-30 i.M. 25	2-8 i.M. 3	20-60 **	3-15 **
tertiäre Schluffe und Tone (3) steif-halbfest	18-20 i.M. 19	8-10 i.M. 9	17-25 i.M. 20	0 - 20 i.M. 10	20 - 60 i.M. 30	3-15 i.M. 8
Malmkalk verwittert (4a) mitteldicht -dicht	20-22 i.M. 21	10-12 i.M. 11	27-37 i.M. 32	0-20 i.M. 5	-	10 - 60 i.M. 30
Malmkalk unverwittert (4b)	22-24 i.M. 23	12-14 i.M. 13	35-45 i.M. 38	150-800 i.M. 150	-	150-500 i.M. 250

**je nach örtlicher Ausbildung und Konsistenz

5.2 Erdbebenwirkung

Nach DIN 4149 liegt der Untersuchungsbereich in keiner Erdbebenzone. Da die Gefährdung durch Erdbeben in diesem Bereich gering ist, kann dort nach DIN 4149 auf den Ansatz einer Beschleunigung verzichtet werden.

6 Hydrogeologische Verhältnisse

In den Bohrungen wurde lediglich in den Kleinbohrungen RKS 4 und RKS 7 Grundwasser angetroffen. Die übrigen Bohrungen zeigten höchstens anhand weicher Konsistenz der Böden höhere Wassergehalte in den Böden an oder waren trocken. Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den ausgeführten Kleinrammbohrungen um unverrohrte Bohrungen handelt, so dass eingespiegelte Grundwasserstände nicht sicher gemessen werden können.

Die Abflussverhältnisse im Untersuchungsgebiet dürften entsprechend den Geländeverhältnissen in südliche Richtung gerichtet sein.

Tab. 23: Grundwasserstände in den Bohrungen

Aufschluss- Bez.:	ca. Grundwasser angebohrt		ca. Grundwasser eingespiegelt		Datum
	[m u. GOK]	[mNN]	[m u. GOK]	[mNN]	
RKS 4	2,7	403,9	2,3	404,3	18.02.2016
RKS 7	4,2	414,2	-	-	18.02.2016

Die ausgeführten Bohrungen zeigen, dass es sich bei dem gemessenen Grundwasserstand vermutlich um keinen zusammenhängenden, hangparallelen Grundwasserleiter handelt. Wir erwarten, dass es sich um ein zumindest zeitweilig bzw. regelmäßig auftretendes Schichtwasser handelt. Die stärker bindigen Schichten fungieren dabei als grundwasserhemmende Schicht, auf der sich Schichtenwässer in allen Teilen des Untersuchungsbereichs stauen können. In Schichtwechselbereichen von gering durchlässigen zu durchlässigeren Schichten können aufgrund der Hanglage im geplanten Baufeld gespannte Grundwasserverhältnisse nicht ausgeschlossen werden (siehe Grundwasseranstieg bei RKS 4). Aufgrund der topographischen Verhältnisse kann nicht ausgeschlossen werden, dass der Grundwasserdruckspiegel insbesondere in den tiefer liegenden Bereichen bis nahe an die Geländeoberkante ansteigt. Genauere Angaben zu den Grundwasserständen und zu den Grundwasserschwankungen im Untersuchungsgebiet lassen sich nur über einen längeren Beobachtungszeitraum festlegen und liegen uns derzeit nicht vor.

Aus [U2] kann ein Grundwasserstand von ca. 385 mNN für den Untersuchungsbereich entnommen werden. Damit würde ein zusammenhängender Grundwasserspiegel erst ab Tiefen von > 20 m unter der derzeitigen Geländeoberkante anstehen. Somit dürfte ein zusammenhängender Grundwasserleiter für das Bauvorhaben von untergeordneter Bedeutung sein.

Da es sich bei den Aufschlüssen um punktuelle und zeitweilige Informationen über den Untergrundaufbau und die Grundwasserverhältnisse handelt, können aufgrund der wechselnden Untergrundverhältnisse keine Angaben über z.B. sich einstellende Wasserstände oder Ergiebigkeiten von evtl. Grundwasser- oder Schichtwasserleitern gegeben werden.

Längerfristige Grund- und Oberflächenwasserbeobachtungen für das Untersuchungsgebiet liegen derzeit nicht vor, sodass zunächst keine mittleren und höchsten Grundwasserstände abgeleitet werden können. Aufgrund der fehlenden Grundwasserdaten für den Baubereich wird empfohlen, aus Sicherheitsgründen von einem Anstieg des Grund und Schichtwassers bei Niederschlag bis an die Geländeoberkante auszugehen. Ob sich durch die Hanglage auch noch höhere Grundwasserstände oder Grundwasserdruckniveaus einstellen, kann auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungen nicht abgeschätzt werden. Um gesicherte Daten von sich einstellenden Grundwasserständen zu erhalten wäre die Einrichtung von Grundwassermessstellen erforderlich.

Grundsätzlich unterliegen die Grundwasserstände nicht nur den jahreszeitlichen und niederschlagsbedingten Schwankungen, sondern auch großräumigen, natürlichen Veränderungen. Außerdem treten anthropogen verursachte Einflüsse auf, so dass in Abhängigkeit davon, je nach Jahreszeit und Niederschlag, längerfristig auch höhere, andererseits aber auch niedrigere Grundwasserstände zu erwarten sind. Zu berücksichtigen ist bei der Festlegung der Bemessungswasserstände weiter, dass es im Zusammenhang mit den jüngsten Hochwasserereignissen auch zu Überschreitungen der bisher bekannten Höchstgrundwasserstände gekommen ist. Generell lassen sich genauere Angaben zu den Grundwasserständen und zu den Grundwasserschwankungen im Baugrund nur über langfristige Grundwasserbeobachtungen gewinnen.

7 Folgerungen für die Baumaßnahme

7.1 Gründung Baukörper

Nähere Angaben zu den geplanten Gründungselementen liegen derzeit noch nicht vor. In [U1] wurden für die Baukörper Bereiche übermittelt in denen derzeit die Gründungselemente angedacht sind. In Anpassung an die Hanglage liegen die Gründungskoten der Baukörper im Bereich von ca. 406-414 mNN. Die Gründungselemente in diesen Tiefen liegen somit meist innerhalb der bindigen Schichten 2 (Löß) und 3 (Tertiäre schluffe und Tone). Mit den Baugrunduntersuchungen wurde innerhalb dieser bindigen Böden teilweise auch geringe Konsistenz festgestellt, was auf hohe Kompressionseigenschaften dieser Böden hindeutet. Bei geringen Restmächtigkeiten dieser bindigen Böden unterhalb der geplanten Gründungskoten empfiehlt es sich zur Vergleichmäßigung der Auflagerbedingungen sowie zur Reduzierung von Verformungen, diesen Bereich abzutragen und gegen geeignetes Material (z.B. GI, GW) auszutauschen, sodass der Lastabtrag in den mindestens steifen bindigen Böden erfolgt. In mindestens steifen bindigen Böden kann die Lastabtragung über Streifen- und Einzelfundamente und über lastabtragende Sohlplatten erfolgen. Voraussetzung hierfür ist eine geringstmögliche Störung bzw. Auflockerung der Gründungsböden, wie dies durch eine nur kurzfristige abschnittsweise Freilegung der Baugrubensohle und einen schonenden Aushub (z.B. rückschreitender Aushub) sowie durch Nachverdichtung der Baugrubensohle, erreicht werden kann. Vorhandene, gering tragfähige Böden müssen entweder verbessert oder gegen gut verdichtetes, sandiges Kiesmaterial ausgetauscht werden. Aufgrund der örtlichen Verhältnisse, mit teils in der Tiefe liegenden aufgeweichten Schichten und Linsen empfehlen wir, die Gründung über lastverteilende, steife Sohlplatten vorzunehmen.

Dort wo noch Auffüllungen oder weiche Böden in der Gründungssohle anstehen, sollte die Gründung bis in die mindestens steifen Böden der Schichten 2 und 3 vertieft bzw. ein qualifizierter Bodenaustausch vorgenommen werden. Dort wo Gründungskoten oberhalb des Bestandsgeländes vorliegen, können Geländeanhebungen, nach Abtrag der gering tragfähigen Böden, mittels Bodenaustausch auf den steifen Böden der Schicht 2 und 3 bzw. bei Inkaufnahme eines höheren Risikos an Verformungen auf den weichen bis steifen Böden von Schicht 2 gegründet werden.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt liegen uns noch keine Lastangaben vor. Wir schätzen auf der Basis von Erfahrungen bei vergleichbaren Baukörpern mit vergleichbaren Untergrundverhältnissen grob Verformungsmaße je nach Untergrundprofil und Belastung in einer Größenordnung von ca. 2-4 cm, ggf. und je nach Belastung auch darüber ab. Bei Störungen des Gefüges (z.B. durch Wasserzutritte) können sich die Setzungen auch erheblich vergrößern. Aufgrund des überwiegend bindigen Charakters der Böden dürften die Setzungen über einen längeren Zeitraum anhalten. Aufgrund des inhomogenen Baugrundes mit einem Lastabtrag in den bindigen Schichten empfehlen wir die Gründungsdimensionierung auf Grundlage von Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsberechnungen durchzuführen. Grundlage für diese Berechnungen sollten dabei möglichst exakte Lastermittlungen sein, damit die auftretenden Verformungen möglichst realitätsnah bestimmt werden können. Auch kann mit diesen Berechnungen die Gründung

dahingehend optimiert werden, die Setzungsdifferenzen zwischen einzelnen Fundamenten bzw. zwischen den Bauteilen möglichst gering zu halten. Über die empfohlenen Berechnungen lässt sich zudem der für die Dimensionierung von ggf. geplanten Bodenplatten erforderliche Bettungsmodul ableiten. Die Dimensionierung von Streifen- und Einzelfundamenten über Tabellenwerte nach DIN 1054 wird nicht empfohlen, da aufgrund der unterschiedlichen Böden von größeren Differenzsetzungen von ca. 1 – 3 cm auszugehen wäre. Die bei der Berechnung zugrunde zu legenden Bodenrechenwerte können der Zusammenstellung in Tabelle 22 entnommen werden.

Für die Dimensionierung von lastabtragenden Sohlplatten werden meist das Bettungsmodulverfahren oder das Steifemodulverfahren angewandt. Für Vorbemessungen kann für eine Bodenplatte nach grobem Überschlag und für eine angenommene Belastung von 80 kN/m² eine Bettungsziffer von ca. 5-10 MN/m³ verwendet werden. Genauere Werte - insbesondere bei unregelmäßigen Lastbildern, und den unterschiedlichen Bodensteifigkeiten - werden nach Kenntnis der Lasten, Lasteinleitungsbilder und der Geometrie der Gründungsplatten über eine Setzungsberechnung ermittelt. Es wird vorausgesetzt, dass lehmige und aufgeweichte und locker gelagerte Zonen unter den Gründungskörpern entfernt und durch Magerbeton oder verdichteten Kiessand ersetzt werden.

Zur Vermeidung von Rissen infolge unterschiedlicher Baugrundverformungen sind Bewegungsfugen mit ausreichender Fugenbreite zwischen unterschiedlich hoch belasteten sowie unterschiedlich tief gegründeten Baukörpern vorzusehen.

Im Bereich benachbarter baulicher Anlagen sind die Forderungen der DIN 4123 einzuhalten. Insbesondere bei Ausschachtungsarbeiten im Bereich der Bestandsbebauung ist beim Aushub auf eine ausreichende Grundbruchsicherheit der Bestandsfundamente zu achten.

Wo wegen unterschiedlicher Gründungstiefen benachbarte Fundamente in unterschiedlichen Tiefen gegründet werden müssen, ist darauf zu achten, dass die Abtreppung nicht steiler als 35° gegen die Horizontale erfolgt.

7.2 Gründung Verkehrs- und Freiflächen

Bei der Festlegung des frostsicheren Oberbaus kann auf die Standardbauweisen nach RStO 12 zurückgegriffen werden. Die endgültige Gesamtdicke des Oberbaus kann in Anlehnung an die RStO, Fassung 2012 durch die Mehr- oder Minderdicken des frostsicheren Oberbaus infolge örtlicher Verhältnisse bestimmt werden. Nach RStO / ZTVE liegt das geplante Bauvorhaben in der Frosteinwirkungszone 2.

Bei einer Gründung nahe der Geländeoberfläche wird die Gründung überwiegend in den festgestellten Oberböden-Auffüllungen und Lößböden zu erfolgen haben. Oberböden sind zu entfernen. Gemäß ZTVE-StB ist bei frostempfindlichem Untergrund bzw. Unterbau auf dem Planum

ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ erforderlich. Es ist davon auszugehen, dass auf der Oberfläche der Lößböden (Schicht 2) dieser Mindestverformungsmodul nicht ohne zusätzliche Maßnahmen erreicht werden kann. Hier sind zusätzliche Maßnahmen wie z.B. Gründung über Kiespolster erforderlich.

Als technisch geeignetes Verfahren wird im Bereich der Lößböden vorliegend die Gründung auf einem Bodenaustauschpolster empfohlen. Allgemein sollten die Bodenaustauschdicken planungsgemäß ca. 0,5 m nicht unterschreiten und eine seitliche Verbreiterung von 45° aufweisen. Die endgültige Mächtigkeit kann bauseits mit Aufnahme der Erdarbeiten anhand von Einbauversuchen (Lastplattendruckversuche) zweckmäßig unter Einschaltung eines Baugrundsachverständigen optimiert werden. Darüber hinaus sollte das Planum durch einen Sachverständigen für Geotechnik abgenommen werden um ggf. über einen tiefer reichenden Bodenaustausch zu entscheiden.

7.3 Baugrube

7.3.1 Geböschte Baugruben

Oberhalb des Grundwassers können Abschnitte der Baugrube bei ausreichenden Platzverhältnissen frei geböscht ausgeführt werden.

In mindestens weichen, bindigen und feinkörnigen Böden und oberhalb des Grundwassers können bei weniger als 5 m hohen Böschungen diese gemäß DIN 4124 unter einem Winkel von maximal 45° zur Horizontalen ausgebildet werden. Bei den angetroffenen, sehr fließempfindlichen Böden oder bei Auftreten von besonderen Einflüsse, wie z.B. Erschütterungen oder Wasserzutritten die die Böschungsstandsicherheit gefährden können, sind diese Böschungen weiter abzufachen oder zu sichern bzw. zu verbauen. Die Böschungen sind in jedem Fall gegen Oberflächenerosion und eindringendes Niederschlagswasser zu schützen.

Sind auf bzw. neben der Böschung Lasten zu berücksichtigen (z.B. Baustofflager, Baustelleneinrichtung, Kran, sonstige Verkehrslasten) oder liegen Böschungen im Einflussbereich von Bauwerkslasten oder Grundwasser, so sind hierfür unter Berücksichtigung der Verkehrs- bzw. ständigen Lasten bzw. von Grundwassereinfluss Standsicherheitsberechnungen nach DIN 4084 erforderlich.

Sollten während der Erdarbeiten fließende bzw. nicht standfeste Bodenschichten angetroffen werden, so sind dort die Böschungen den geostatischen Erfordernissen entsprechend anzupassen und/oder anderweitig zu sichern. Im Zweifelsfall ist der Verfasser des geotechnischen Berichts rechtzeitig einzuschalten. Alle Böschungen sollen vor Erosion geschützt werden (Folien, Spritzbeton). Die Arbeiten zur Herstellung von Böschungen sind sorgfältig auszuführen, um aufgrund fließempfindlicher Böden schädliche Auswirkungen auf die Böschungsstandsicherheit zu vermeiden und um ggf. rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

7.3.2 Verbaute Baugruben

In Bereichen, wo kein ausreichender Platz für eine Böschung zur Verfügung steht, kann bei geringeren Anforderungen an die Verformungen über Grundwasser z.B. eine auf den aktiven Erddruck bemessene Trägerbohlwand zur Ausführung kommen.

In Bereichen, in denen hohe Anforderungen hinsichtlich der Verformungen und Steifigkeiten an den Verbau gestellt werden, z.B. im Bereich angrenzender Bestandsbebauung, eignen sich z.B. überschnittene Bohrpfahlwände (DIN 1054, DIN EN 1536) bzw. Schlitzwände (DIN 4126, DIN 4127, DIN EN 1538) als Baugrubenumschließungen. Spundwände, bei denen mit größeren Verformungen als bei Bohrpfahl- und Schlitzwänden zu rechnen ist, verfügen meist über wirtschaftliche Vorteile gegenüber Bohrpfahlwand- und Schlitzwandverfahren bis zu Tiefen von ca. 15 bis 20 m. Bei den größeren Tiefen und insbesondere in den halbfesten tertiären bindigen Böden werden Zusatzmaßnahmen wie z.B. Spülunterstützung (Sande), Auflockerungs- und/oder Austauschbohrungen (Schluffe/Tone) erforderlich. Bei Erreichen der Malmkalke können vibrierende oder schlagende Einbringverfahren nicht mehr ausgeführt werden. Zur Verminderung von Erschütterungsemissionen sollte in der Nähe von Bauwerken nur hochfrequente Rüttler eingesetzt werden. Die Schwinggeschwindigkeiten an den benachbarten baulichen Anlagen dürfen die Anhaltswerte nach DIN 4150 nicht überschreiten. In diesem Zusammenhang werden Erschüttungsmessungen empfohlen um ggf. Zusatzmaßnahmen ergreifen zu können. (z.B. Frequenzsteuerung, Regelung der Unwuchtmassen, Austauschbohrungen). Technische Einrichtungen in der Nachbarschaft wären ggf. besonders auf ihre Erschütterungsempfindlichkeit hin zu untersuchen.

Im Bauzustand werden auf die Baugrubenumschließung wirkende Erd- und Wasserdruckkräfte vom Erdauflager vor dem Wandfuß und erfahrungsgemäß ab ca. 3 m Baugrubentiefe durch zusätzliche horizontale Stützungen aufgenommen (z.B. Verpressanker oder Aussteifungen). Verpressanker sollen eine Verpresskörperlänge von mindestens 6 m aufweisen und über Nachverpressmöglichkeiten verfügen. Der vertikale Abstand von Ankerverpresskörpern zur Geländeoberfläche darf aus Gründen der Ankertragfähigkeit 4,0 m nicht unterschreiten und sollte wegen möglicher Baugrundverformungen im Lasteintragungsbereich und hieraus resultierender eventueller Schäden zu Sparten oder Gebäudefundamenten den Abstand von 3,0 m nicht unterschreiten. Der gegenseitige Abstand zwischen Verpresskörpern soll 1,5 m nicht unterschreiten.

Die Verpresskörper müssen auf ganzer Länge in einer einheitlichen Bodenart zu liegen kommen (z.B. in den tertiären Schluffe und Tone). Der Standsicherheitsnachweis in der tiefen Gleitfuge und Geländebruchnachweise nach DIN 4084 müssen geführt werden. Zur Reduzierung von Wandverformungen empfiehlt es sich, die Anker zu spreizen und die Ankerlängen über das statisch erforderliche Maß hinaus zu staffeln.

Für die Planung, Herstellung und Prüfung von Verpressankern ist DIN 1054 und DIN EN 1537 zu beachten. Danach sind zur Festlegung zulässiger Ankerlasten Eignungsprüfungen auszuführen oder entsprechende Prüfergebnisse in gleichartigen Böden vorzulegen. Da die erreichbaren Ankerkräfte von Herstellungsverfahren, Bohrdurchmesser, Verpresskörperlänge und Nachverpresstechnik ebenso abhängig sind wie von den Böden, in denen sie ihre Last abtragen, können keine verbindlichen gutachtlichen Angaben zu Ankerkräften gemacht werden. Unter den vorgenannten Voraussetzungen und sofern zu Beginn der Baumaßnahme entsprechende Eignungsprüfungen durchgeführt werden, halten wir bei mehrfach nachverpressbaren Ankersystemen und einwandfreier Ankerherstellung nach DIN EN 1537 mit ca. 6 m Verpresskörperlänge die folgenden Grenzlaster entsprechend unserer Erfahrungen für erreichbar und damit im Rahmen von Vorbemessungen noch für angemessen (Verpresskörper $D = 0,15$ m):

- halbfeste / feste Schluffe und Tone: ca. 500 kN

Außer Nachbarbebauung muss auch die Setzungsempfindlichkeit von nahegelegenen Ver- und Entsorgungsleitungen überprüft und in Abstimmung mit dem Betreiber ggf. in ähnlicher Form berücksichtigt werden.

Bei der Ermittlung des Erdruhedruckanteils ist keine Wandreibung anzusetzen. Bei der Ermittlung des Anteils des aktiven Erddrucks sowie des passiven Erddrucks kann der Wandreibungswinkel mit maximal $\delta_a = 2/3 \varphi'$ angenommen werden. Die angesetzten Wandreibungswinkel sind durch die Kontrolle des vertikalen Wandgleichgewichts zu überprüfen. Der Erddruck kann entsprechend den Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben EAB berücksichtigt werden. Es sind gemäß EAB je nach Abstand der Nachbarbebauung und Verformbarkeit der Verbauwand Erddruckansätze als Summe von Anteilen des Erdruhedrucks sowie des aktiven Erddrucks anzusetzen.

In Bereichen, wo ein großer Abstand der Baugrube von der Bebauung im Sinne der EAB vorliegt, kann bei geringeren Anforderungen an die Verformungen z.B. eine auf den aktiven Erddruck bemessene Verbauwand zur Ausführung gelangen.

In Bereichen, in denen ein kleiner Abstand von der Bebauung im Sinne der EAB vorliegt, wird empfohlen, die Berechnungen der Baugrubenumschließung mit dem erhöhten aktiven Erddruck durchzuführen.

Im Normalfall wird der Erddruckansatz

0,5 x Erdruhedruck + 0,5 x aktiver Erddruck

zu wählen sein. Bei höheren Anforderungen im Bereich von Bestandsbebauung an die Umschließungswände wird allerdings empfohlen, den Erddruckansatz zu

0,75 x Erdruhedruck + 0,25 x aktiver Erddruck

zu wählen.

Für die Bemessung der Wand kann die horizontale Stützung des Wandfußes näherungsweise mit einem horizontalen Bettungsmodul ermittelt werden, der ausgehend von $k_s = 0 \text{ MN/m}^3$ (Baugrubensohle) mit der Tiefe parabolisch auf $k_s = 30 \text{ MN/m}^3$ in 3 m Tiefe zunimmt und darunter konstant verläuft. Es ist zu kontrollieren, dass die damit errechneten Erddruckspannungen die Spannungen des passiven Erddrucks nicht überschreiten. Die gesamte über den Bettungsmodul errechnete Widerstandskraft darf nicht größer sein als der maximal mobilisierbare Erdwiderstand dividiert durch einen Sicherheitsbeiwert. Andernfalls ist die Wandtiefe zu vergrößern. Nachdem der Bettungsmodul keine Bodengröße sondern eine Reaktion des Bodens auf Belastungen darstellt, sind bei höheren Ausnutzungsgraden die Bettungsmoduln entsprechend anzupassen. Unabhängig davon ist zu prüfen, dass die aktivierten Bettungsspannungen nicht größer werden als die Widerstände. Auf die EAB wird verwiesen.

Bei der Planung der erforderlichen Verbautiefe sollten neben der statisch erforderlichen Tiefe und damit der wirtschaftlichsten Variante auch Überlegungen zum Umgang mit z.B. ungünstigen Bodenverhältnissen angestellt werden. Es wird empfohlen, je nach Untergrundprofil größere Aushubtiefen zu berücksichtigen.

Im Bereich benachbarter baulicher Anlagen sind die Forderungen der DIN 4123 einzuhalten. Insbesondere bei Ausschachtungsarbeiten im Bereich der Bestandsbebauung ist beim Aushub auf eine ausreichende Grundbruchsicherheit der Bestandsfundamente zu achten.

7.4 Wasserhaltung

Derzeit liegen keine Hinweise über Baugruben, die bis in das Grundwasser reichen, vor.

Anfallende Oberflächen- und Schichtenwässer können z.B. mittels filterstabiler Dräns gefasst und abgeleitet werden. Der genaue Umfang dieser Maßnahmen lässt sich im Vorfeld nur ungenau abschätzen, da derzeit keine Anhaltswerte über den Anfall und die Ergiebigkeit der schichtwasserführenden Bereiche vorliegen. Grundsätzlich sind die weit verbreitet angewendeten offenen Grundwasserabsenkungen mittels Dräns und Pumpensämpfen möglich. Für die Ermittlung der abzuleitenden Grundwassermengen sollte ein Durchlässigkeitsbeiwert von:

$$k = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s für sandige Bereiche (Schicht 2)}$$

nicht unterschritten werden. In stärker bindigen Sanden und in den tertiären Schluffen Tonen ist bei der Wasserhaltung Vakuumunterstützung erforderlich.

Wasserhaltungsmaßnahmen sowie die erforderliche Wiederversickerung oder Einleitung der Pumpwässer in einen Vorfluter stellen grundsätzlich einen Eingriff in den Grundwasserhaushalt dar. Eine möglichst frühzeitige Abstimmung der Wasserhaltungs- und Versickerungs- bzw. Einleitungsmaßnahmen mit dem zuständigen Wasserwirtschaftsamt im Zuge der wasserrechtlichen Genehmigung ist daher zu empfehlen.

Des Weiteren ist sowohl für den Bau- als auch für den Endzustand die Auftriebsicherheit der Baugrubensohle zu gewährleisten.

8 Hinweise zur Planung und Ausführung

8.1 Allgemeine Hinweise

Grundsätzlich sind z. B. folgende DIN-Vorschriften und Richtlinien für die geplante Baumaßnahme zu beachten:

- DIN 1054/EC7 Baugrund-Sicherheitsnachweise im Erd- Grundbau
- DIN 4017 Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen
- DIN 4123 Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude
- DIN 4124 Baugruben, Gräben
- DIN 4150 Erschütterungen im Bauwesen
- DIN 4095 Dränung zum Schutz baulicher Anlagen
- DIN 18195 Bauwerksabdichtungen
- DIN EN 12036 Spundwandkonstruktionen
- Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB)
- FGSV, Merkblätter für die Hinterfüllung von Bauwerken und Bodenverdichtung im Straßenbau

8.2 Wiederverwendbarkeit

Bindiges und feinkörniges Aushubmaterial ist nur eingeschränkt und nach vorheriger Prüfung zum Wiedereinbau geeignet. Bei höheren Feinkornanteilen ist hier mit größeren Aufwendungen beim Wiedereinbau und der Verdichtung bzw. mit größeren Setzungen bei nicht sachgerechtem Einbau zu rechnen.

Böden mit hohem Feinkorngehalt dürften wegen ihrer hohen Anforderungen hinsichtlich der Aufbereitung zum Wiedereinbau (z.B. opt. Wassergehalt) für die Wiederverwendung nicht bzw. nur eingeschränkt geeignet sein. Lediglich in untergeordneten Bauteilen und bei Akzeptanz größerer Setzungen und Sackungen können sie nach entsprechenden Prüfungen z.B. in Abkommens- und Lärmschutzwälle eingebaut werden.

Bei den Aushubarbeiten ist besonders darauf zu achten, dass keine Vermischung mit ungeeignetem (u.a. Auffüllmassen mit Fremdeinlagerungen) Material erfolgt. Beim Antreffen von Verunreinigungen in Form von anthropogenen Resten (Bauschutt, Holz, Metall u.a.) innerhalb der Auffüllungen, sind diese Aushubmassen getrennt zu lagern und nicht für den Wiedereinbau vorzusehen. Der zum Wiedereinbau gelangende Baustoff ist gleichmäßig in Lagen $< 0,3$ m einzubauen und sorgfältig zu verdichten. Bei Verdichtungsarbeiten ist die ZTVE-StB 09 zu beachten. Bei Zwischenlagerung ist das Aushubmaterial gegen Witterungseinflüsse zu schützen.

8.3 Chemische Analytik des Bodens mit Bewertung

Zur orientierenden Untersuchung auf mögliche Bodenverunreinigungen wurden an Proben der Schicht 1 chemische Analysen ausgeführt. Nach den bisherigen Umweltuntersuchungen ist für die Oberböden-Auffüllungen (Schicht 1) mit kontaminiertem Aushub zu rechnen. Für die ordnungsgemäße Verwertung / Entsorgung von Aushubmaterial sind insbesondere die Z-Werte der LAGA-Liste / EPP maßgeblich. Nach den Ergebnissen der chemischen Analytik sind folgende Materialklassen zu erwarten:

Material 1 (Schicht 1):	Schadstoffgehalte Z 0 (uneingeschränkter Einbau)
Material 2 (Schicht 1):	Schadstoffgehalte Z 1.1
Material 3 (Schicht 1):	Schadstoffgehalte Z 2

Grundsätzlich ist anzumerken, dass sich die vorgenommene Einstufung des Bodenaushubs (Oberboden-Auffüllung) bei einer abschließenden Deklarationsanalytik (vollständige Parameterliste, Feststoff und Eluat) des angefallenen Bodenaushubs (charakterisierende Beprobung des Haufwerkes) nach oben bzw. nach unten verschieben kann.

Abschließend möchten wir darauf hinweisen, dass diese Feststellungen auf der Grundlage einer stichprobenartigen, orientierenden Untersuchungsmaßnahme getroffen wurden. Eine abschließende Bewertung des gesamten Untersuchungsgeländes auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungsergebnisse ist nicht möglich.

Bei der Überschreitung des Hilfwertes 1 werden in der Regel weitere Untersuchungen erforderlich, um den Gefahrenverdacht einer möglichen Grundwasserverunreinigung auszuräumen oder zu bestätigen. Hierzu können z.B. die Eingrenzung der Schadstoffbelastungen, Ermittlung der Eindringtiefe der Kontaminationen, Elutionsverhalten der Schadstoffe mit abschließender Sickerwasserprognose erforderlich werden.

Wenn die aufgefüllten Bereiche im Zuge der Baumaßnahme vollständig entfernt und entsorgt wurden, ist nach Durchführung der Baumaßnahme eine Gefährdung des Grundwassers durch die festgestellten Auffüllungen vermutlich nicht mehr gegeben. Ein Nachweis lässt sich z.B. über eine

Beprobung der Baugrubensohle erlangen. Wir empfehlen aufgrund der vorliegenden chemischen Analysen dieses Vorgehen auch mit den zuständigen Behörden (z.B. Umweltamt) abzustimmen.

8.4 Erdbau

Es ist zu beachten, dass die erkundeten Böden stark wasser- und frostempfindlich sind. Bei Arbeiten in der kalten Jahreszeit sind Vorkehrungen zu treffen, dass Niederschlagswasser und Frost nicht in den Baugrund eindringen können, da sonst Aufweichungen bzw. Frosthebungen in der Baugrubensohle möglich sind, die zu Auflockerungen und einer Verminderung der Tragfähigkeit führen können. Es ist dafür zu sorgen, dass bindige Böden nicht ungeschützt liegen bleiben, da sich bei der Einwirkung von Luft und Wasser ihre bodenmechanischen Eigenschaften weiter verschlechtern. Es muss deshalb darauf geachtet werden, dass nur so große Flächen freigelegt werden, die umgehend überbaut werden können.

Freigelegte Gründungssohlen und Erdplanien sind nach erfolgtem Bodenaushub generell intensiv nachzuverdichten. Hierbei ist das Verdichtungsgerät auf die Untergrundverhältnisse abzustimmen. Ungeeignete, vernässte und aufgeweichte Böden, wie z. B. Auffüllungen, bindige und nicht bindige Böden in den Gründungssohlen sind durch geeignetes, gut verdichtetes Ersatzmaterial wie z. B. kornabgestufter Kiessand (Bodengruppe GW der DIN 18196) auszutauschen. Das Bodenaustauschmaterial ist in Lagen von nicht über 30 cm Dicke einzubauen und lagenweise auf mindestens ≥ 100 % der einfachen Proctordichte zu verdichten. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Lastausbreitung sollte eine Verbreiterung des Austauschmaterials mit zunehmender Tiefe unter einem Winkel von 45° gegen die Horizontale vorgenommen werden. Beim Austausch mit Magerbeton kann die Verbreiterung entfallen. Der Einbau und das Verdichten von Bodenaustauschmaterial sollte in der trockenen Baugrube erfolgen. Unmittelbar nach Durchführung und Überprüfung der Verdichtung empfiehlt sich das Aufbringen einer mindestens 5 cm dicken Magerbetonschutzschicht zur Sicherung gegen eine evtl. Störung und Auflockerung der Gründungssohle.

Bei den Aushubarbeiten empfiehlt sich ein rückschreitender Aushub mit dem Glattlöffel und mit Schüttung von Bodenaustausch vor Kopf, um Störungen der Sohlen zu minimieren.

Weiter wird auf eine ausreichende Kornfilterstabilität zwischen allen Schichtlagen verwiesen. Ferner empfehlen wir, Baugrubensohlen fachtechnisch abnehmen zu lassen. Wir halten dies insbesondere deshalb für notwendig, da die gesamte Fläche nur mit stichprobenartig angesetzten Bohrungen und Sondierungen untersucht werden konnte und zwischen den Untersuchungspunkten befindliche punkt- und linienförmige Störungen nur zufällig gefunden werden können. Allgemein wird eine baubegleitende geotechnische Beurteilung der Aushubsohlen empfohlen.

Aufgrund der nahe an der Oberfläche anstehenden, teils weichen Böden ist beim Befahren des Grundstücks mit Baumaschinen mit Erschwernissen zu rechnen. Für die Herstellung geeigneter

Arbeitsplattformen und Baustraßen ist mit der Lieferung von ausreichend standfesten und verdichtbaren Material zu rechnen.

Geländeanhebungen, in denen Gründungen zu erfolgen haben, sollten ebenfalls mit gut standfestem und verdichtbarem Liefermaterial ausgeführt werden. Baupraktisch günstig könnte im vorliegenden Fall das Einarbeiten aus grobstückigem Material (Schrotten, Siebschutt) sein. Die intensive Kontrolle der Verdichtung während des Einbaus wird dringend empfohlen.

Aufgrund der hohen Wasserempfindlichkeit der Lößboden ist dafür Sorge zu tragen, dass auch im Endzustand kein Wasser (z.B. Oberflächenwasser) bis in den Fundamentbereich eindringen kann, da sonst mit erheblichen Aufweichungen und großen Verformungen zu rechnen ist.

Gemäß den oben angegebenen Bodenklassen sind die im Bereich der Baugrube oberflächennah anstehenden Lockergesteine mechanisch mittels Bagger lösbar. Das mit zunehmender Tiefe angewitterte / unverwitterte Kalksteingebirge muss mit dem Felsmeißel oder bereichsweise durch Sprengungen gelöst bzw. gebirgsschonend profiliert werden.

8.5 Versickerung

Eine Versickerung ist im Untersuchungsgebiet wegen der meist bindigen Böden stark eingeschränkt bzw. unmöglich. Es wird empfohlen, sämtliches anfallendes Wasser zunächst an den Bauwerken geschlossen zu sammeln und dann von den Bauwerken abzuleiten.

Die Bereiche, in denen eine Versickerung stattfinden soll, sind im Zuge der weiteren Planungen gezielt auf deren Eignung hin zu überprüfen. Dies kann bedeuten, dass Bereiche mit ungünstigen Versickerungseigenschaften bis zur Erreichung von Bereichen mit günstigen Versickerungseigenschaften überbrückt werden müssen. Die Bemessung der Versickerung sollte nur auf der Grundlage von weiteren Erkundungen an den Versickerungsstellen (z.B. Gradiententiefpunkte, Neigungswechsel, gesonderte Versickerungsbereiche) durchgeführt werden. Nur so können die Anlagen zur Versickerung realistisch dimensioniert werden.

8.6 Frostsicherheit

Als Mindestgründungstiefe für alle Bauteile soll aus Frostsicherheitsgründen 1,0 m unter späterer GOK eingehalten werden. Beim Bauen in kalter Jahreszeit sind Maßnahmen gegen das Eindringen des Frostes in mögliche frostgefährdete Gründungsbereiche zu treffen. Sofern die Einbindung der Bauteile 1,0 m unterschreitet, sind Bodenaustauschmaßnahmen mit F1-Material (z.B. GW nach DIN 18196) im Frosteindringbereich vorzusehen.

8.7 Sicherheitsmaßnahmen

Bei allen Erd- und Gründungsarbeiten sind die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften zu beachten, vor allem die Sicherheitsvorschriften der Tiefbauberufsgenossenschaft und die Ausführung der DIN 4124, gegebenenfalls auch der DIN 4123. Generell gilt, dass im Bereich benachbarter baulicher Anlagen die Vorschriften der DIN 4123 zu beachten sind. Insbesondere bei Ausschachtungsarbeiten im Bereich von Bestandsbebauung ist beim Aushub auf eine ausreichende Grundbruchsicherheit der Bestandsfundamente zu achten.

8.8 Wiederverfüllung, Hinterfüllung

Zur Hinterfüllung und Verdichtung von Bodenmaterial hinter Bauwerksteilen sind die einschlägigen und erprobten Vorschriften z. B. der Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Merkblatt für die Hinterfüllung von Bauwerken, Köln, 1994, heranzuziehen. Auf eine ordnungsgemäße lagenweise Verfüllung und Verdichtung des hinterfüllten Bodenmaterials einschl. der durchzuführenden Verdichtungskontrolle ist zu achten.

8.9 Beweissicherung, Erschütterungsschutz

Wir empfehlen, in Bereichen angrenzender Bebauungen, Nachbargrundstücke sowie Bestandsleitungen eine Beweissicherung durchzuführen, um eventuell später auftretende unberechtigte Schadenersatzansprüche abwenden zu können. In jedem Fall sind unzulässige Erschütterungen für die angrenzenden Gründungs-, Boden- und Baukörper wie auch Erschütterungen der benachbarten Gründungsböden zu vermeiden.

9 Schlussbemerkungen

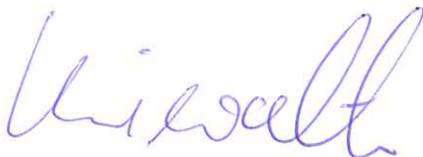
In dem vorliegenden Bericht werden die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse für die geplante Baumaßnahme anhand der ausgeführten Untersuchungen beschrieben. Es wurden die geologischen und bodenmechanischen sowie bautechnischen Klassifizierungen vorgenommen und für erdstatische Berechnungen erforderliche Bodenrechenwerte angegeben.

Sämtliche Empfehlungen dieses Berichts basieren auf den lokalen Aufschlüssen der durchgeführten Bohrung und Rammsondierung. Zur Festlegung eventuell notwendiger Anpassungsmaßnahmen wie auch in allen Zweifelsfällen bezüglich Baugrund und Gründung sollte unser Büro rechtzeitig eingeschaltet werden. Unser Büro ist auch von etwaigen wesentlichen Planungsänderungen gegenüber dem Stand bei Erstellung des vorliegenden Berichts, soweit Gründung und Gründungsarbeiten sowie hydrogeologische Aspekte betroffen sind, zu verständigen.

Dieser Bericht umfasst 39 Seiten und 7 Anlagen

Augsburg, den 02.05.2016

Geotechnikum
Ingenieurgesellschaft mbH



Dipl.-Ing. J. Kiesevalter



i.A. K. Schallhammer M.Sc.