

iBEG-mbH · Pfortenteich 5 · 99974 Mühlhausen

Unsere Leistungen:

- Geotechnische Untersuchungen im Labor und in situ
- Erkundung und Beschreibung des Baugrundes
- Prüfleistungen im Erd-, Grund- und Straßenbau, RAP-Zulassung: A1, A3, A4, H1, H3, I3
- Grundbaustatik
- Geotechnisches Messwesen
- Erschütterungsmessungen nach DIN 4150
- Bodendynamische Untersuchungen und Beratung
- Anker- und Verpresspfahlprüfungen
- Geohydrolog. und geothermische Untersuchung

Ihr Zeichen, Ihre Nachricht vom

Unser Zeichen, unsere Nachricht vom
06904/22/igTelefon, Name
Sto / LudDatum
03.11.2022

Geotechnischer Untersuchungsbericht

Status - VORERKUNDUNG -

Auftr.-Nr. 06904/22/ig**Bericht Nr. 01**

Bauvorhaben: Neubau Besucherzentrum
und Umgestaltung Parkflächen
Burganlagen am Kyffhäuser - Nationaldenkmal

Auftraggeber: Kyffhäuser - Stiftung
Am Kyffhäuser 01
99707 Kyffhäuserland

Dieser Bericht umfasst die Seiten 1 bis 19 und die Anlagen A 1 bis A 7.

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. A. Gotschol
Dipl.-Ing. Steffen Stolze
Amtsgericht Jena, HRB 405587

Sparkasse Unstrut-Hainich
Konto: 511025874; BLZ: 82056060
IBAN: DE61 8205 6060 0511 025874
BIC: HELADEF 1 MUE

Commerzbank Mühlhausen
Konto: 559303300; BLZ: 82040000
IBAN: DE36 8204 0000 0559 3033 00
BIC: COBADEFFXXX

Inhaltsverzeichnis

Anlagenverzeichnis.....	3
Unterlagenverzeichnis.....	3
1 Veranlassung.....	4
2 Bauwerksangaben	4
3 Standortangaben	4
3.1 Topographische Einordnung / Geländebeschreibung	4
3.2 Geologie	5
3.3 Hydrologie.....	5
3.4 Schutzzonen	5
4 Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen.....	6
4.1 Felduntersuchungen	6
4.2 Einteilung Homogenbereiche / Schichtgliederung.....	6
4.3 Schichtbeschreibung, Schichteigenschaften.....	7
4.4 Angabe der schichtbezogenen Bodenklassen n. DIN 18300 (VOB 2012)	10
4.5 Erdstatische Kennwerte.....	11
4.6 Grundwasserstände, Grundwassereigenschaften	11
5 Gründungsempfehlung	12
5.1 Besucherzentrum	12
5.2 Baugruben	12
5.3 Wasserhaltung	13
5.4 Bauwerksabdichtungsmaßnahmen	13
5.5 Bauwerkshinterfüllung	14
6 Geotechnische Empfehlungen für die Verkehrsflächen	14
6.1 Allgemeine Baugrundeinschätzung.....	14
6.2 Frostempfindlichkeit der Böden / Hydrologische Verhältnisse	14
6.3 Minstdicke des frostsicheren Oberbaus.....	15
6.4 Planumsentwässerung	16
7 Betonschutzmaßnahmen.....	17
8 Versickerung Niederschlagswasser	17
9 Deklarationsuntersuchung anfallender Ausbaustoffe	18
10 Hinweise für Abnahmen und Prüfungen	19

Anlagenverzeichnis

A 1	Übersichtsplan, Maßstab 1:10.000	1 Blatt
A 2	Lage- und Aufschlussplan, Maßstab 1:1000	1 Blatt
A 3	Schichtenverzeichnisse KRB 1/22 bis KRB 5/22	5 Blatt
A 4.1	Aufschluss- und Sondierprofile KRB 1/22 bis 5/22 und DPH 1/22 bis 2/22	5 Blatt
A 4.2	Dokumentation der Bohrkernentnahme	3 Blatt
A 4.3	Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit im Bohrloch	2 Blatt
A 5	Legende der Erdstoffkurzzeichen	2 Blatt
A 6	Ergebnisse der bodenmechanischen Laboruntersuchungen	
A 6.1	Bestimmung der Wassergehalte n. DIN 18 121	5 Blatt
A 6.2	Bestimmung der Zustandsgrenzen n. DIN 18 122	4 Blatt
A 6.3	Bestimmung der Körnungslinie n. DIN 18 123	8 Blatt
A 7	Ergebnisse der bauchchemischen Laboruntersuchungen	
A 7.1	Prüfbericht Analyse Ausbaustoffe - RuVA	6 Blatt
A 7.2	Prüfbericht Analyse Ausbaustoffe - Boden	8 Blatt

Unterlagenverzeichnis

Für die Erstellung des vorliegenden Berichtes wurden folgende Unterlagen verwendet:

U 1	Kyffhäuser - Stiftung	
	• Neubau Besucherzentrum am Kyffhäuser – Nationaldenkmal, Rahmenkonzept Nutzung und Bebauung; Maßstab 1:1.000 vom 08.02.2022 • Neubau Besucherzentrum am Kyffhäuser – Nationaldenkmal, Vorschlag Abgrenzung Plangebiet und Umfeld; Maßstab 1:1.000 vom 08.02.2022	
U 2	Topographische Karte 4532-SO Tilleda, Maßstab 1:10.000	
U 3	Geologische Karte Blatt Kelbra (Kyffh.), Maßstab 1:25.000	

1 Veranlassung

Die Kyffhäuser - Stiftung beabsichtigt am Standort des Kaiser Wilhelm Denkmals die Umgestaltung der Burganlagen im Bereich der Kernzone. Es ist der Neubau eines Besucherzentrums sowie die Erneuerung der Stellplätze für Bus, PKW und Motorräder vorgesehen. Vom Auftraggeber wurde unser Büro mit der Durchführung der Baugrunderkundung, der Erstellung des Baugrundgutachtens und der orientierenden Untersuchung der Ausbaustoffe für die Baumaßnahme beauftragt.

2 Bauwerksangaben

Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen keine detaillierten Planunterlagen vor. Für die weitere Begutachtung wird daher von folgenden Annahmen ausgegangen.

- Neubau Besucherzentrum im Bereich des bestehenden Heizhauses (nach Abbruch)
- Neugestaltung Parkflächen: 120 bis 150 PKW, 40 Biker und 15 bis 20 Fahrradstellplätze

Weitere Angaben zur geplanten Baumaßnahme können dem Übersichtsplan der Anlage A 1 bzw. dem Aufschlussplan der Anlage A 2 entnommen werden.

3 Standortangaben

3.1 Topographische Einordnung / Geländebeschreibung

- Topographische Karte 4532-SO Tilleda
- Koordinaten (GK 4) bezogen auf den ungefähren Standortmittelpunkt

Rechtswert = 44 37 570Hochwert = 56 98 110
- das Gelände liegt westlich des Kyffhäuserdenkmals im Kyffhäusergebirge
- der Standort befindet sich auf einem Plateau im Zuge eines Bergkamms
- das Urelände steigt nach West und Ost leicht an und fällt in Richtung der Tallagen nach Nord und Süd wieder ab
- im Zuge der Errichtung der bestehenden baulichen Anlagen wurden bereits geländeregulierende Maßnahmen vorgenommen
- die Geländehöhen liegen zwischen 391 und 402 m NHN
- der Standort befindet sich in einem Waldgebiet und wird aktuell als Parkfläche bzw. allgemeine Verkehrsfläche genutzt

3.2 Geologie

Der Standort befindet sich geologisch betrachtet im Verbreitungsgebiet des Oberen Carbons. Die anstehenden Sandsteine der Kyffhäuser-Formation können lokal von bindigen Verwitterungslehmen überlagert werden. Abgesehen von einer anthropogenen Auffüllung ist von folgendem generellen Schichtenaufbau auszugehen:

Hanglehm (Pleistozän)

über

Zersatz- und Verwitterungsschichten des Oberen Carbons

3.3 Hydrologie

Die hydrogeologische Situation im Standortbereich wird durch die Hanglage bestimmt. In dieser ist ein oberflächennaher, geschlossener Grundwasserhorizont generell nicht vorhanden. Schwebende Kluft- und Schichtwässer sind niederschlagsbedingt lokal und zeitlich begrenzt in allen Tiefenlagen möglich. Eine tiefere Grundwasserführung ist im Wesentlichen an Kluft- und Auflockerungszonen des Festgesteins gebunden. Morphologisch bedingt erfolgt die Entwässerung hangabwärts in südwestliche Richtung zum Vorfluter.

Das Grundwasser des Oberen Carbons ist erfahrungsgemäß und geogen bedingt als **nicht betonangreifend** einzustufen.

3.4 Schutzzonen

3.4.1 Erdbebenzone

Nach DIN 4149: 2005 liegt der Baustandort in keiner Erdbebenzone, Schutzmaßnahmen sind daher nicht erforderlich.

3.4.2 Schutzzonen

Der Standort befindet sich innerhalb eines Naturschutzgebietes.

4 Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen

4.1 Felduntersuchungen

Folgender Untersuchungsumfang wurde nach DIN 4020 ausgeführt:

- 5 Stück Kleinbohrungen KRB Ø 80 mm im Rammverfahren nach DIN EN ISO 22475-1
- 2 Stück Rammsondierungen DPH nach DIN EN ISO 22476-2
- 2 Stück Versickerungsversuche im Bohrloch

Die Lage der Aufschlusspunkte wurde in dem Lage- und Aufschlussplan der Anlage A 2 dargestellt. Die höhen- und lagemäßige Einmessung der Aufschlusspunkte erfolgte mittels RTK-GNSS (GPS-Vermessung) im UTM Koordinatennetz sowie auf das aktuelle Höhensystem DHHN 2016 (NHN). Die Vermessungsdaten der einzelnen Aufschlusspunkte können der Anlage A 4 entnommen werden.

4.2 Einteilung Homogenbereiche / Schichtgliederung

Für den Standort kann nach Auswertung der Ergebnisse der Baugrunderkundung für das Gewerk Erdbau nach DIN 18 300 von folgendem generellen Baugrundsichtenmodell / Homogenbereichen ausgegangen werden.

Tabelle 1: Benennung der anstehenden Bodenschichten im Baufeld

Homogen- bereich	Schicht- nummer	Schicht- bezeichnung	Kurz- zeichen	Geologische Bezeichnung
A 1	1.1	konstr. Straßenoberbau	StO	-
LG 1	1.2	Auffüllung, umgel. Boden	A	-
	2.1	Hanglehm	L	Pleistozän
FG 1	3.1	Sandstein / Tonstein, zersetzt bis entfestigt	Sst / Tst (VZ - VE)	Oberes Carbon
FG 2 ^{1.)}	3.2	Sandstein angewitter bis Unverwittert	Sst (VA – VU)	
Homogenbereich: Ob ... O berboden; A ... A uffüllung; LG ... L ockergestein; FG ... F estgestein ^{1.)} verfahrensbedingt nicht aufgeschlossen, der Vollständigkeit halber hier aufgeführt				

4.3 Schichtbeschreibung, Schichteigenschaften

Auf der Grundlage der vorliegenden Labor- und Feldprüfergebnisse können die anstehenden erkundeten Schichten wie folgt beschrieben werden.

Homogenbereich: A 1 ... konstruktiver Straßenoberbau

Schichtbeschreibung:	Schichten des konstruktiven Oberbaus, bestehend aus gebrochenem Kalkstein- bzw. Hartsteinschotter bzw. Kies - Sand - Gemisch, bodenmechanisch: toniger bis stark toniger, sandiger, schwach steiniger Fein- bis Grobkies
Schichten / Benennung:	Schicht 1.1 → konstruktiver Straßenoberbau
Steine / Blöcke / große Blöcke:	< 20 % / - / - (gutachterlicher Schätzwert, mit Rammkernbohrverfahren nicht bestimmbar)
Bodengruppe n. DIN 18196:	[GW - GT]
Lagerungsdichte:	locker bis mitteldicht
Schichtunterkante:	vgl. Tabelle
Verbreitung:	gesamter Untersuchungsbereich

Tabelle 2: Angaben zum gebundenen und ungebundenen Oberbau

Aufschluss	Oberbau	Schichtdicke geb. Oberbau	Beschreibung	Schichtdicke ungeb. Tragschicht
KRB 1/22	Asphalt	0,06 m	einlagig, kompakt	0,14 m
KRB 2/22	Asphalt	0,07 m	zweilagig, kompakt	0,23 m
KRB 3/22	Asphalt	0,06 m	einlagig, kompakt	0,14 m
KRB 4/22	kein geb. Oberbau	-	Schotterbefestigung	0,30 m
KRB 5/22	kein geb. Oberbau	-	Schotterbefestigung	0,30 m

Homogenbereich: LG 1 ... Lockergestein 1

Schichtbeschreibung:	Homogenbereich der bindigen pleistozänen Schichtablagerungen sowie der anthropogenen Auffüllungen aus umgelagerten Bodenmaterial, bodenmechanisch: brauner bis graubrauner Ton, schwach kiesig, sandig bis Fein- bis Grobkies, schwach steinig, sandig, tonig
Schichten / Benennung:	Schicht 1.2 → Auffüllung, umgelagerter Boden Schicht 2.1 → Hanglehm
Organischer Anteil:	< 3 %, (gutachterlicher Schätzwert)
Steine / Blöcke / große Blöcke:	< 15 % / <10 % / - (gutachterlicher Schätzwert, mittels Kleinrammbohrung nicht bestimmbar)
Bodengruppe n. DIN 18196:	[GT*, GT, TM], TM, TL
Frostempfindlichkeitsklasse:	F 3
Konsistenz / Lagerungsdichte:	steif / locker bis mitteldicht
Wassergehalt:	vgl. Anlage A 6.1
Plastizitätszahl:	$I_p = 10 - 25$ % oberhalb der A-Linie. vgl. Anlage A 6.2
Kornverteilung T/U/S/G:	siehe Körnungsband, bzw. vgl. Anlage A 6.3
Durchlässigkeit:	schwach durchlässig nach DIN 18130
Schichtunterkante:	ca. 0,6 bis 1,5 m unter GOK
Verbreitung:	lokal, bereichsweise ausgeräumt

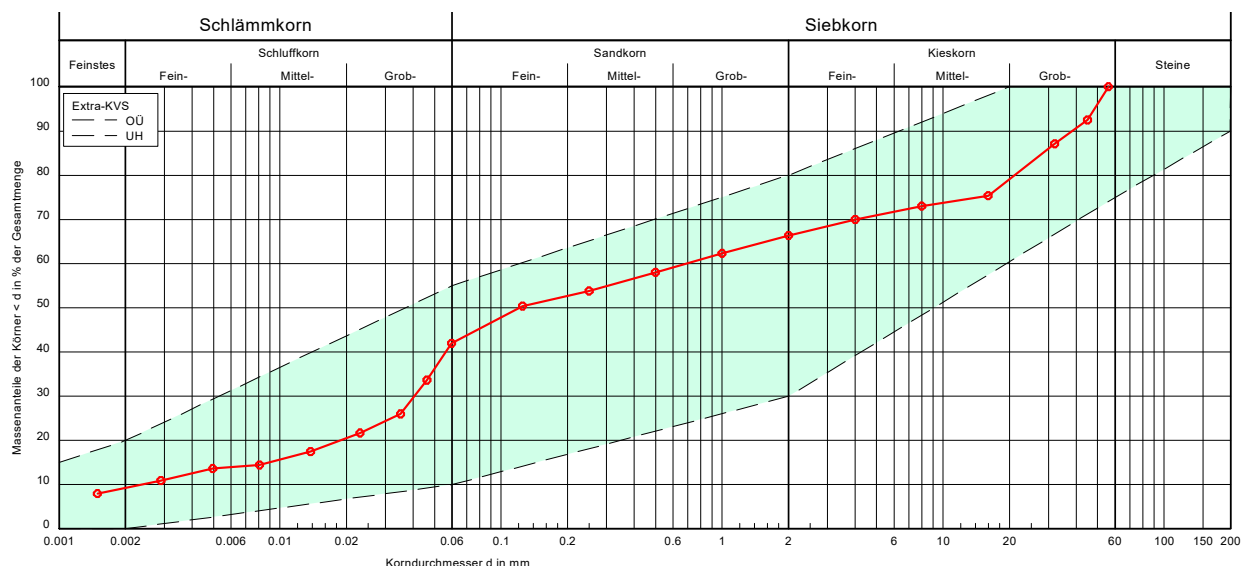


Abbildung 1: Körnungsband Homogenbereich LG 1

Homogenbereich: FG 1 ... Festgestein 1

Schichtbeschreibung:	Homogenbereich der Zersatz- und Verwitterungsschichten des Festgesteins, rotgrauer, verwitterter Sandstein bzw. Tonstein des Oberen Carbons, bodenmechanisch: schwach steiniger, stark sandiger, schwach steiniger Kies bis stark sandiger, stark kiesiger Ton bis toniger stark kiesiger Feinsand
Verwitterungsgrad n. FGSV:	VZ bis VE (zersetzt bis entfestigt)
Schichten / Benennung:	Schicht 3.1 → Sandstein/Tonstein, zersetzt bis entfestigt
Organischer Anteil:	< 1 % (gutachterlicher Schätzwert)
Steine / Blöcke / große Blöcke:	20 % / < 15 % / - (gutachterlicher Schätzwert, mittels Kleinrammbohrungen nicht bestimmbar)
Bodengruppe n. DIN 18196:	GW – SW, GT, ST, TL
Frostempfindlichkeitsklasse:	F 2
Wassergehalt:	vgl. Anlage A 6.1
Plastizitätszahl:	$I_p = 10 - 20$ % oberhalb der A-Linie. vgl. Anlage A 6.2
Kornverteilung T/U/S/G:	siehe Körnungsband, bzw. vgl. Anlage A 6.3
Durchlässigkeit:	schwach durchlässig nach DIN 18130 Kluftbereiche durchlässig bis stark durchlässig
Schichtanschnitt:	ca. 1,0 bis 1,4 m unter GOK
Verbreitung:	gesamter Untersuchungsbereich

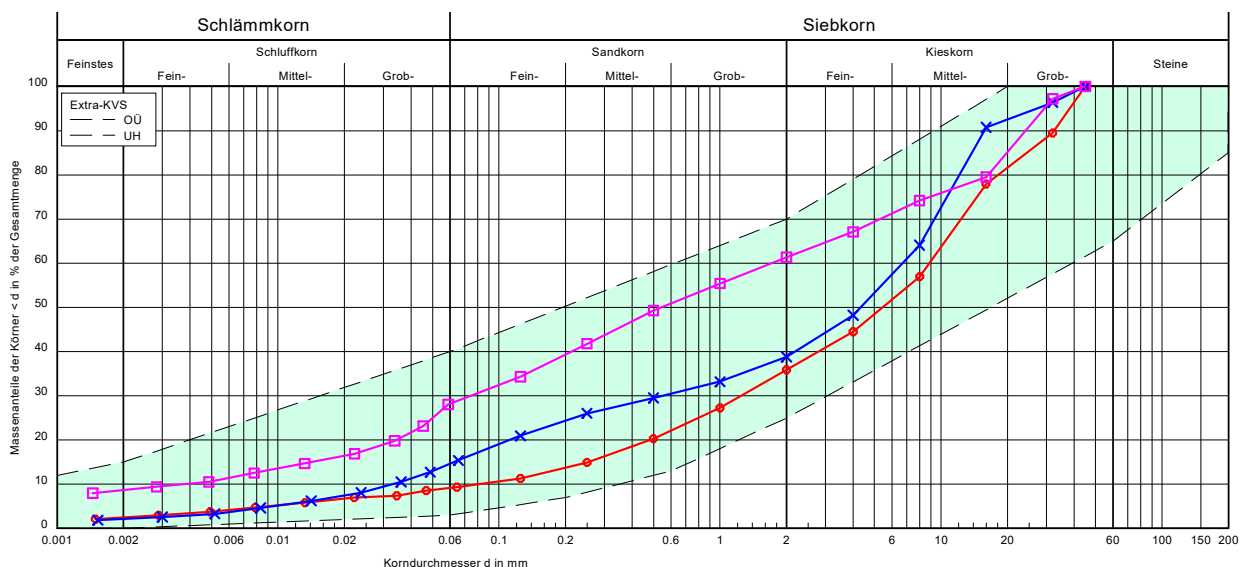


Abbildung 2: Körnungsband Homogenbereich FG 1 (nach dem Lösen aus dem Gebirge)

Homogenbereich: FG 2 ... Festgestein 2

Verfahrensbedingt konnten nicht alle Bohrungen bis auf planmäßige Endtiefe abgeteuft werden. Der Festgesteinshorizont FG 2 konnte daher mittels der Rammkernsondierungen hinsichtlich der Aufschlusstiefe nicht aufgeschlossen werden. Es ist zu vermuten, dass der intakte Festgesteinshorizont bereits oberflächennah ab 1,0 bis 3,0 m unter Gelände ansteht. Eine bodenphysikalische Untersuchung und Beschreibung des Homogenbereiches ist aufgrund der fehlenden Aufschlüsse abschließend nicht möglich. Im Bedarfsfall sind ergänzende Aufschlüsse mittels Rotationskernbohrungen sowie bodenphysikalische Untersuchungen vorzunehmen. Die nachfolgenden Angaben beruhen auf eigenen Erfahrungswerten sowie aus der im Umfeld der Baumaßnahmen oberflächennah anstehenden Festgesteinsbänke.

Schichtbeschreibung:	Wechsellagerung angewitterten bis unverwitterten dünnbankigen bis massigen, festen Sandsteinen , söhlige bis geneigte Lagerung
Verwitterungsgrad n. FGSV:	VA bis VU (angewittert bis unverwittert)
Schichten / Benennung:	Schicht 3.2→ Sandstein
Einaxiale Druckfestigkeit:	50 – 200 MN/m ² (im ungestörten Gebirgsverband)
Schichtanschnitt:	ab ca. 1,0 bis 3,0 m (gutachterlicher Schätzwert, nach Ergebnissen der schweren Rammsondierungen)
Verbreitung:	gesamter Standort, bis zur maximalen Aufschlusstiefe nicht nachgewiesen

4.4 Angabe der schichtbezogenen Bodenklassen n. DIN 18300 (VOB 2012)

Nach Auswertung der Labor- und Feldversuche sowie unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten lassen sich für die erkundeten Schichten folgende Eigenschaften (Klassifikationen) zuordnen.

Tabelle 3: Klassifikation der anstehenden Bodenschichten im Baufeld - Bodenklassen

Schicht-Nr.:	Kurzzeichen	Bodengruppe DIN 18 196	Konsistenz / Lagerungsdichte	Bodenklasse DIN 18 300
1.2	A	[GT, GT*, TM]	steif / locker	3, 4
2.1	L	TM, TL	steif	4
3.1	Sst/Tst (VZ – VE)	GW – SW, GT, ST, TL,	-	3, 4 lokal 6
3.2	Sst/Tst (VA – VU)	-	-	7

4.5 Erdstatische Kennwerte

Für bodenmechanische Berechnungen ist auf der Basis der festgestellten und eingeschätzten Schichteigenschaften von folgenden korrelativ ermittelten charakteristischen Rechenwerten auszugehen. Die angegebenen charakteristischen Kennwerte gelten für ungestörte Bodenverhältnisse.

Tabelle 4: Angabe der charakteristischen Bodenkenngrößen

Schicht- nummer	Kurz- zeichen	natürliche Wichte		Reibungs- winkel ϕ'_k [°]	drän. Kohäsion c'_k [kN/m ²]	undrän. Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steife- modul $E_{s,k}$ [MN/m ²]
		γ_k	γ'_k				
		[kN/m ³]	[kN/m ³]				
1.2 / 2.1	A / L	19,0	9,0	25,0	5,0	30 – 60	3,0 – 5,0
3.1	Sst/Tst (VZ -VE)	22,0	12,0	32,5	5,0	-	10,0 – 15,0
3.2	Sst/Tst (VA – VU)	23,0	13,0	40,0	20,0	-	100

4.6 Grundwasserstände, Grundwassereigenschaften

Bohraktuell (Mai 2020) wurden in keinem der Aufschlüsse Grundwasser festgestellt. Am Standort sind Schicht- und Sickerwasserstauungen im Festgesteinskomplex in allen Tiefenlagen möglich. Morphologisch bedingt erfolgt die Entwässerung ausgehend von dem Top des Bergkamms in Richtung Nord oder Süd.

Eine Beurteilung der Betonaggressivität des Grundwassers nach DIN 4030 konnte nicht ausgeführt werden. Erfahrungsgemäß und bei Berücksichtigung der geogenen Rahmenbedingungen ist von keiner erhöhten Expositionsklasse auszugehen.

5 Gründungsempfehlung

5.1 Besucherzentrum

Für den Neubau des Besucherzentrums wird eine frostfreie Flachgründung innerhalb der gut tragfähigen Schichten des Festgesteins (Homogenbereich FG 1 / FG 2) empfohlen. Im Zuge der weiteren Planung bzw. nach Festlegung der genauen Bauwerksgeometrie und Bauwerkslasten sind zur Abschließenden Festlegung des Gründungshorizontes und Beschreibung des Baugrundes weitere Aufschlüsse als Maschinenbohrungen sowie die Untersuchung des anstehenden Festgesteins vorzusehen. Auffüllung sowie überlagernde Lehmschichten sind vollständig auszusetzen.

Die erforderliche Mindesteinbindetiefe innerhalb des Festgesteinsschichten (FG 1) sollte 0,2 m nicht unterschreiten. Die Frostfreie Einbindetiefe beträgt 1,2 m. Vorgelöste und stark verwitterte Bereiche sind vollständig auszusetzen und mit Magerbeton zu verfüllen. Fundamentabtreppungen sind im Winkel von $\leq 30^\circ$ vorzusehen.

Eine geotechnische Abnahme der Gründungssohle ist erforderlich.

5.2 Baugruben

Für die Herstellung von temporären Baugruben bis 5,0 m Tiefe, unbelastete Böschungsschulter, mit lastfreien Streifen 1,0 bis 2,0 m sind ohne rechnerischen Nachweis folgende Böschungsneigungen einzuhalten.

- weich- bis steifplastische Böden: max. $\beta = 45^\circ$
- nichtbindige Böden und Auffüllung: max. $\beta = 45^\circ$
- Festgesteinsschichten: max. β in Abhängigkeit des Trennflächengefüges nach ingenieurgeologischer Aufnahme gesondert festzustellen,
planungsseitig kann vorerst von max $\beta = 80^\circ$ ausgegangen werden.
- Randbedingungen DIN 4124, insbesondere Abs. 4.2.6 sind zu beachten

Zur Herstellung von Baugruben innerhalb der Festgesteinsschichten sind schwere Meißel- und Stemmarbeiten vorzusehen. Tiefere Baugruben als 5,0 m sind rechnerisch nachzuweisen bzw. zu verbauen. Bauzeitige Böschungen sind mit Folien oder Geotextilien als Erosionsschutz zu sichern.

Für eine abschließende Einschätzung der Baugrubenböschung im Festgestein wird eine ingenieurgeologische Aufnahme des Trennflächengefüges im Zuge der Bauausführung empfohlen.

5.3 Wasserhaltung

Während der Gründungsarbeiten beschränken sich die Wasserhaltungsmaßnahmen auf den Schutz des Gründungsplanums vor zulaufendem Oberflächen- und Sickerwasser. Entsprechende Schutzmaßnahmen nach DIN 18 300 sind vorzuhalten. Das Erdplanum ist vor starken Niederschlägen zu schützen.

5.4 Bauwerksabdichtungsmaßnahmen

Am Standort ist aufgrund der Lage am Hang mit zeitweilig aufstauenden Sicker- bzw. Schichtwasser zu rechnen. Als Bemessungsgrundwasserstand (HGW nach DIN 18533) ist die Geländeoberkante anzunehmen. Die Wassereinwirkungsklasse kann gemäß Tabelle 1 der DIN 18533 mit

W2.1 – E Mäßige Einwirkung von drückendem Wasser ≤ 3 m Eintauchtiefe

angegeben werden.

Alternativ kann die Einwirkungsklasse durch eine auf Dauer funktionierende Drainierung nach DIN 4095 reduziert werden. Dabei ist eine dauerhafte und rückstausichere Ableitung der Drainagewässer sicherzustellen. Die Wassereinwirkungsklasse kann unter Berücksichtigung der Zusatzmaßnahmen gemäß Tabelle 1 der DIN 18533 mit

W1.2 – E Bodenfeuchte und nichtdrückendes Wasser bei Bodenplatten und erdberührten Wänden mit Dränung

angegeben werden.

Bei der Planung der Abdichtungsmaßnahmen sind die Planungsgrundsätze der DIN 18533 zu beachten.

5.5 Bauwerkshinterfüllung

Die Wiederverwendung des Aushubmaterials (LG 1 / FG 1) ist bei fachgerechter Lagerung, Vorlage einer Eignungsprüfung und einer Größtkornbegrenzung für gebrochenes FG-Material für die konstruktive Bauwerkshinterfüllung möglich. Alternativ dazu kommt beispielsweise gebrochenes Schottermaterial nach vorheriger Eignungsprüfung, Feinkornanteil $< 12\%$ in Frage.

Verdichtungsanforderungen:	GW:	$D_{pr} > 98 \%$
	GT, GT*, TL, TM, TA:	$D_{pr} > 97 \%$

Eignungsprüfung vor Bauausführung erforderlich. Die Hinterfüllung des Bauwerkes ist gleichmäßig in Lagen von 0,3 m einzubauen und zu verdichten.

6 Geotechnische Empfehlungen für die Verkehrsflächen

6.1 Allgemeine Baugrundeinschätzung

Im Ergebnis der Baugrunderkundung ist für den Verkehrsflächenbau von übersichtlichen Baugrundverhältnissen auszugehen. Das Planum bindet über die gesamte Fläche innerhalb der Homogenbereiche LG 1 und LG 2 ein.

6.2 Frostempfindlichkeit der Böden / Hydrologische Verhältnisse

Das Planum kommt gleichermaßen innerhalb der Homogenbereiche LG 1 und LG 2 zum Liegen. Die Beurteilung der Frostempfindlichkeit der anstehenden Planumsböden sowie die Beurteilung der hydrologischen Bedingungen erfolgt nach ZTVE und kann der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 5: Angabe der Frostempfindlichkeit für die potentiellen Planumböden

Homogen-Bereich	Schicht-benennung	Verbreitung	Bodengruppe n. DIN 18196	Frostempfindlichkeit nach ZTVE	hydrologische Verhältnisse
LG 1	A, L	gesamter Standort, lokal ausgeräumt	[GT*, GT, TM], TM, TL	F 3	günstig
FG 1	Sst / Tst	gesamter Standort	GW – SW, GT, ST, TL	F 2	günstig

6.3 Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus

Auf Grundlage der vorliegenden bautechnischen Parameter wurde die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus nach RStO 12 ermittelt.

- Belastungsklasse 1,8 (Annahme, planungsseitig zu prüfen)
- Frosteinwirkungszone III, auf Grundlage der Karte der Frosteinwirkungszone, nach RStO 12, Bild 6

Gemäß ZTVE werden unter anderem an frostempfindliche Planumböden Anforderungen an die Tragfähigkeit $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ und an den Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 97 \%$ bei einem zulässigen Porenanteil $n_a \leq 12 \%$ ($n_a \leq 8 \%$ bei Einbau von wasserempfindlichen gemischt- und feinkörnigen Böden) gestellt. Es ist dabei entscheidend, dass die genannten Anforderungen dauerhaft erfüllt werden.

Erfahrungsgemäß sind bei den bereichsweise im Planum anstehenden bindigen Lockergesteinsmaterialien (Homogenbereich LG 1) selbst bei Einhaltung des Verdichtungsgrades und des zulässigen Porenanteils sowie des optimalen Wassergehaltes die nach ZTVE und RStO geforderte Tragfähigkeiten nicht zu erreichen. Den anstehenden Böden können je nach Konsistenzbereich Frühjahrstragfähigkeitswerte von $E_H = 15$ bis 25 MN/m^2 zugeordnet werden. Zum Nachweis der geforderten Planumtragfähigkeit sind daher in betreffenden Bereichen Sondermaßnahmen zur dauerhaften Erhöhung der Tragfähigkeit erforderlich. Als Sondermaßnahme zur Verbesserung und dauerhaften Erhöhung der Tragfähigkeit wird ein Bodenaustausch empfohlen. Für die weitere Planung kann von folgenden Anforderungen ausgegangen werden:

- Materialempfehlung, grobkörniger Boden der Bodengruppe GW nach DIN 18 196, oder alternativ Bodengruppe GW - GT mit Begrenzung Feinkornanteil $d_{0,063} \leq 15 \%$ und Ungleichförmigkeitszahl $C_u \leq 6,0$
- Nachweis Verformungsmodul auf dem Planum von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$
- vorab geschätzte Austauschmächtigkeit $d = 0,2 - 0,4 \text{ m}$
- lokal vorhandene heterogene Auffüllungsmaterialien sind vollständig auszusetzen
- intensive Nachverdichtung des anstehenden Untergrundes, $D_{pr} \geq 97 \%$
- zwischen anstehendem Baugrund und Bodenaustausch ist ein Geovlies der Robustheitsklasse GRK 3 faltenfrei und straff auszulegen

Im Ergebnis der Sondermaßnahmen kann bei einer Mindesteinbaudicke des Bodenaustauschs von $d \geq 0,30 \text{ m}$ das ertüchtigte Planum der Frostempfindlichkeitsklasse F 2 zugeordnet werden. Die Mindestdicke des frostsicheren Aufbaus kann um 10 cm reduziert werden. Hierfür ergibt sich folgende Dicke des frostsicheren Aufbaus.

Tabelle 6: Minstdicke des frostsicheren Straßenaufbaus für Bk 1,8 und F 2 Untergrund

Faktor	Charakteristik	geschlossene Ortslage
-	Ausgangswert nach RStO 12, Tab. 6 ^{1.)}	50 cm
A	Frosteinwirkungszone, Zone III	+ 15 cm
B	kleinräumige Klimaunterschiede	+ 5 cm
C	Wasserverhältnisse im Untergrund	± 0 cm
D	Lage der Gradiente	± 0 cm
E	Entwässerung der Fahrbahn/ Ausführung der Randbereiche	- 5 cm
	Minstdicke	65 cm

^{1.)} Planum wird durch empfohlene Sondermaßnahmen (Bodenaustausch) dauerhaft verbessert

6.4 Planumsentwässerung

Nach den Ergebnissen der Baugrunderkundung ist gemäß den Anforderungen der RAS-Ew (Richtlinie für die Anlage von Straßen Teil: Entwässerung) das anfallende Wasser aus dem Oberbau durch wirksame Sickeranlagen zu fassen und abzuleiten. Dementsprechend werden der Bau von Sickersträngen mit Sickerrohrleitung sowie der Bau des Planums mit Gefälleausbildung zu den Sickersträngen empfohlen. Die Querneigung des Planums soll bei unverbesserten Planum mindestens 4 % und bei mit Bindemitteln verbesserten Planum 2,5 % betragen.

Zur dauerhaften Sicherstellung der Funktionalität der Entwässerungslage werden Sickerstränge mit Sickerrohrleitungen empfohlen. Der Minstdurchmesser der Sickerrohre beträgt DN 100. Die Sickerstränge sind mit abgestuften Mineralstoffgemischen filterstabil zum anstehenden Baugrund auszubilden. Bei Anwendung von geotextilen Filtern (Vliesstoffen etc.) ist deren Funktionsfähigkeit nachzuweisen. Die bautechnischen Angaben der RAS-Ew zur Ausbildung von Sickersträngen sind zu berücksichtigen.

Die Tiefenlage der Sickerrohrleitung richtet sich je nach Lage des zu entwässernden Erdplanums. Der Rohrscheitel ist mindestens 0,20 m unter dem Erdplanum bzw. erforderlichen Bodenaustausch / Untergrundplanum anzuordnen. Das Sohlgefälle soll aus Gründen der Selbstreinigung den Wert von $I = 0,3 \%$ nicht unterschreiten. Der Schachtabstand sollte 80 m nicht überschreiten.

7 Betonschutzmaßnahmen

Aus geogener Sicht ist nach DIN 4030 aufgrund des anstehenden Oberen Carbons keine erhöhte Expositionsklasse zu berücksichtigen. Planungsseitig ist zu prüfen inwieweit andere nicht baugrundbedingte Expositionsklassen erforderlich werden.

8 Versickerung Niederschlagswasser

Voraussetzung für eine funktionstüchtige Versickerungsanlage ist das Vorhandensein einer wasseraufnehmenden Schicht mit genügender Mächtigkeit und ausreichendem Wasserschluckvermögen. Darüber hinaus muss ein Grundwasserflurabstand von mindestens einem Meter vorhanden sein.

Für Versickerungsanlagen kommen Gesteinsschichten infrage, deren Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $k = 5 \times 10^{-3}$ bis 1×10^{-6} m/s liegen. Außerdem soll die Mächtigkeit des Sickerraumes mindestens 1,0 m, bezogen auf den „Mittleren höchsten Grundwasserstand“, betragen.

Zur Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens wurden im Standortbereich zwei Kleinrammbohrung abgeteuft und als temporäre Grundwassermessstelle ausgebaut. Die Einstautiefe der Bohrung erfolgt bis 1,0 m über Bohrlochsohle. Das Ergebnis der Versickerungsversuche kann der Anlage A4.3 entnommen werden. Der Durchlässigkeitsbeiwert k wurde im offenen Bohrloch mit konstanter Wassersäule mit

$$k = 3,4 \times 10^{-6} \text{ m/s bis } 5,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

ermittelt.

Eine Versickerung des anfallenden Oberflächenwassers ist oberflächennah aufgrund der Durchlässigkeit des anstehenden Baugrundes gemäß DWA Arbeitsblatt DWA-A 138 möglich.

9 Deklarationsuntersuchung anfallender Ausbaustoffe

Zur orientierenden Deklaration der Ausbaustoffe wurden gemäß Regelwerk exemplarisch chemische Untersuchungen an den potentiellen Aushubmaterialien durchgeführt. Die Ergebnisse der Untersuchungen sowie die Zuordnung der Abfallschlüssel und Einstufung der Ausbaustoffe sind den Protokollen der Anlage A 7 zu entnehmen.

Der vorhandene Asphalt wurde exemplarisch anhand einer Einzel- und zwei Mischproben untersucht. Die Ergebnisse der Analyse können der Tabelle 7 bzw. der vollständige Prüfbericht der Anlage A 7.1 entnommen werden.

Tabelle 7: Deklarationsergebnisse Ausbaustoffe nach RuVA

Labornummer	Entnahmestelle	Art	Einstufung
10574	KRB 1/22 (0,00 – 0,06 m)	EP Asphalt	A ASN 17 03 02
10575	KRB 2/22 (0,00 – 0,07 m) KRB 3/22 (0,00 – 0,06 m)	MP Asphalt	A ASN 17 03 02

Die Auffüllung aus umgelagertem Boden sowie der anstehende Boden wurden exemplarisch anhand zweier Mischproben untersucht. Die Ergebnisse der Analysen können der Tabelle 8 bzw. die vollständigen Prüfberichte der Anlage A 8.3 entnommen werden.

Tabelle 8: Deklarationsergebnisse Ausbaustoffe nach LAGA Boden

Labornummer	Entnahmestelle	Art	Einstufung
10576	KRB 2/22 (0,30 – 1,50 m) KRB 4/22 (0,30 – 1,10 m) KRB 5/22 (0,30 – 0,80 m)	MP Auffüllung / umgelagerter Boden	Z 1.2 (Sulfat) ASN 17 05 04
10577	KRB 1/22 (0,60 – 1,70 m) KRB 2/22 (1,50 – 2,50 m) KRB 3/22 (0,20 – 2,50 m) KRB 4/22 (1,10 – 2,50 m) KRB 5/22 (0,80 – 1,30 m)	MP Boden / Sandstein / Tonstein	Z 0 ASN 17 05 04

Es wird empfohlen, den Auftragnehmern die vorliegenden Analyseergebnisse im Rahmen der Angebotskalkulation zur Klärung des Entsorgungsweges und zur Ermittlung der Entsorgungskosten zur Verfügung zu stellen. Es wird darauf hingewiesen, dass die chemischen Untersuchungen nur punktuell durchgeführt worden sind und somit keine repräsentative Aussage für den gesamten Untersuchungsbereich darstellen. Im Zuge der Bauausführung sind gegebenenfalls bei vorhandenem Anfangsverdacht ergänzende Untersuchungen zur Einstufung der Erdstoffe durchzuführen.

10 Hinweise für Abnahmen und Prüfungen

Aus geotechnischer Sicht werden folgende Abnahmen und Prüfungen empfohlen:

- Ergänzende Maschinenbohrung im Bereich des geplanten Besucherzentrums
- Ingenieurgeologische Aufnahme des Trennflächengefüges des Festgesteins
- Aufstellen einer Prüfkonzepktion für die Eigen- und Kontrollprüfungen gemäß ZTVE / ZTVA
- Verdichtungs- und Tragfähigkeitskontrollprüfungen
- Durchführung ergänzender Haufwerksbeprobungen
- Baubegleitende Beratung für geotechnische Fragen

Mühlhausen, den 03.11.2022

**Ing.-Ges. f. Bodenmechanik,
Erd- und Grundbau mbH**
Pfortenteich 5

99974 Mühlhausen/Thür.
Tel.: 036 01/48 17 20, Fax: 036 01/48 17 21

Dipl.-Ing. S. Stolze
Bearbeiter

M. Ludwig, B. Eng.
Bearbeiter