

**Erweiterung ZKA Rodewitz
in 02681 Schirgiswalde-Kirschau
OT Rodewitz, Landkreis Bautzen**

Baugrunduntersuchung

Hauptuntersuchung für geotechnische Kategorie 2
gemäß DIN EN 1997-1 / DIN 4020 / DIN 1054

IFG-Projekt-Nr.: I-070-04-23

Bauherr / Auftraggeber: Abwasserzweckverband „Obere Spree“
Dorfstraße 18
02681 Schirgiswalde-Kirschau OT Rodewitz
Telefon: 035938 / 584-0
E-Mail: info@azv-obere-spree.de

Planung: PROWA Ingenieure Dresden GmbH
Chemnitzer Str. 42
01187 Dresden
Telefon: 0351 / 4860-0
E-Mail: info@prowa-dresden.de

Verfasser: IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH
Purschwitzer Straße 13
02625 Bautzen
Telefon: 03591 / 6771-30
E-Mail: mail@ifg-direkt.de

Bautzen, 21.11.2023



.....
Dipl.-Ing. (FH) Andreas Werner
Bearbeiter / Projektleiter



.....
Dipl.-Ing. Arnd Böhmer
Geschäftsführer



IFG Ingenieurbüro für Geotechnik GmbH

Sitz: Bautzen Büro Stolpen
02625 Bautzen 01833 Stolpen
Purschwitzer Str. 13 Bischofswerdaer Str. 14a
Tel.: 03591 / 677130 Tel.: 035973 / 29621
Fax: 03591 / 677140 Fax: 035973 / 29626
E-Mail: mail@ifg-direkt.de

Büro Freiberg
09627 Hilbersdorf
Bahnhofstr. 2
Tel.: 03731 / 68542
Fax: 03731 / 68544

Handelsregister Dresden
HRB 10480

Geschäftsführer:
Dipl.-Ing. Arnd Böhmer
Dipl.-Ing. Stefan Thiem

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Veranlassung und Aufgabenstellung	4
2. Unterlagen.....	4
3. Untersuchungen	5
3.1. Standortbeschreibung und geologische Verhältnisse.....	5
3.2. Baugrunderkundung	6
4. Baugrundbeschreibung.....	7
4.1. Baugrundsichtung	7
4.2. Baugrundeigenschaften	9
4.3. Grundwasser	9
5. Laboruntersuchungen.....	10
5.1. Bodenmechanische Laborversuche	10
5.2. Schadstoffuntersuchungen	11
6. Berechnungskennwerte und Bodenklassifikation	13
6.1. Bodenmechanische Kennwerte Flachgründung.....	13
6.2. Homogenbereiche (DIN 18300, 18301 und 18304).....	13
7. Gründungsempfehlungen Bauwerke.....	15
7.1. Allgemeines	15
7.2. Gründungsempfehlungen	16
8. Hinweise zur Bauausführung	17
8.1. Erdbau / Baugrubensicherung / Rückverfüllung	17
8.2. Wasserhaltung.....	18
9. Abschließende Hinweise	18

Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Aufschlussprogramm Baugrundaufschlüsse	6
Tabelle 2: Baugrundsichtung	7
Tabelle 3: Eigenschaften der Baugrundsichten.....	9
Tabelle 4: Ergebnisse der bodenphysikalischen Laborversuche.....	10
Tabelle 5: Zusammenstellung der chemischen Untersuchungen.....	11
Tabelle 6: Chemische Analyse Feststoff und Vergleich mit EBV 2021	11
Tabelle 7: Chemische Analyse Eluat und Vergleich mit EBV 2021	12
Tabelle 8: Bodenmechanische Kennwerte Flachgründung	13
Tabelle 9: Kennwerte für die Festlegung der Homogenbereiche von Lockergesteinen.....	14
Tabelle 10: Festlegung der Homogenbereiche	15
Tabelle 11: Randbedingungen und Ansätze Grundbruch- und Setzungsberechnung	16
Tabelle 12: Ergebnisse beispielhafte Grundbruch- und Setzungsberechnung.....	16

Anlagenverzeichnis	Blattzahl
Anlage 1 Übersichtskarte, M 1:10.000.....	1
Anlage 2 Lageplan mit Aufschlusspunkten, M 1:500	1
Anlage 3 Schichtenverzeichnisse und Bohrprofile	
Anlage 3.1 Schichtenverzeichnisse	8
Anlage 3.2 Bohrprofile	8
Anlage 4 Baugrundschnitte	1
Anlage 5 Bodenmechanische Laborergebnisse	5
Anlage 6 Chemische Analyseergebnisse Boden	6
Anlage 7 Erdstatische Beispielrechnungen	
Anlage 7.1 Faulbehälter.....	1
Anlage 7.1a Faulbehälter (mit Baugrundverbesserung).....	1
Anlage 7.2 Gasspeicher	1
Anlage 7.3 Gasfackel.....	1

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Zentrale Kläranlage Rodewitz (ZKA) soll erweitert werden. Gemäß vorhandenen Planungsunterlagen /4b/ sollen die folgenden Bauwerke neu errichtet werden:

- Faulbehälter 2 x 475 m³
- Gasspeicher 400 m³
- Gasfackel.

Diese drei Bauwerke sollen auf dem Gelände der bestehenden ZKA angeordnet werden. Das Untersuchungsgebiet ist in der Übersichtskarte in Anlage 1 bzw. etwas detaillierter im Lageplan mit Aufschlusspunkten in Anlage 2 dargestellt.

Das Ingenieurbüro für Geotechnik Bautzen (IFG) wurde am 03.04.2023 durch den Abwasserzweckverband „Obere Spree“ mit der Baugrunduntersuchung sowie der Erstellung des geotechnischen Gutachtens (Hauptuntersuchung gemäß DIN EN 1997-1 / DIN 4020 / DIN 1054) für diese Maßnahme beauftragt /3/.

Es sollen die Baugrundverhältnisse am Standort der neuen Bauwerke erkundet und beschrieben sowie Gründungsempfehlungen gegeben werden. Zudem sind geotechnische Hinweise für die Bauausführung abzuleiten. Präzisierte Planungsunterlagen (Bauwerksschnitte) sowie Fundamentlasten lagen zur Bearbeitung dieses Berichtes noch nicht vor.

2. Unterlagen

Für die Erarbeitung dieses Berichtes wurden, neben den jeweils geltenden Normen, folgende Unterlagen verwendet:

- /1/ Aufforderung zur Angebotsabgabe und Aufgabenstellung für die Baugrunduntersuchung, 23.03.2023, AZV „Obere Spree“, Rodewitz.
- /2/ Angebot Nr. IFG-AN/2023/103-0 vom 30.03.2023, IFG GmbH Bautzen.
- /3/ Beauftragung der Baugrunduntersuchung, 03.04.2023, AZV „Obere Spree“, Rodewitz.
- /4/ Planungsunterlagen, erhalten zur Angebotsaufforderung sowie im Zuge der Projektbearbeitung vom Bauherrn/Auftraggeber:
 - /4a/ Lageplan mit geplanten Bauwerken, Datei „LU-00-211 Variante 2Aneu.pdf“, Stand 07/2022.
 - /4b/ Lageplan mit geplanten Bauwerken, Datei „LA-03-003_Standortvarianten für BG_230908.dwg“, Variante 1 als Favorisierung angegeben, Stand 08.09.2023.
- /5/ Schachtscheine der Medienträger, Stand 04/2023.

- /6/ Ergebnisse der Baugrunderkundung, 02.05. und 18.10.2023, IFG GmbH Bautzen.
- /7/ Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche, Laboreingang 04.05. und 19.10.2023, IFG GmbH Bautzen sowie Prüftechnik Oberlausitz GmbH, Großdubrau.
- /8/ Prüfbericht Nr. AR-23-FR-052673-01 vom 09.11.2023, EUROFINS Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf.
- /9/ Geotechnisches Arbeitsmaterial:
 - Internetpräsenz Freistaat Sachsen, iDA (interdisziplinäre Daten und Auswertungen), Darstellung der Topografie sowie der geologischen Oberflächenkarte des Freistaates Sachsen.
 - Karten- und Archivmaterial, IFG GmbH, Bautzen.

3. Untersuchungen

3.1. Standortbeschreibung und geologische Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet befindet sich außerorts von 02681 Schirgiswalde-Kirschau OT Rodewitz an der Dorfstraße 18 auf dem Gelände der bestehenden Zentralen Kläranlage (siehe Übersichtskarte in Anlage 1 sowie Lageplan mit Aufschlusspunkten in Anlage 2).

Der für die Bebauung vorgesehene Standort diente bisher als Rasenfläche.

Gemäß regionalgeologischen Unterlagen /9/ ist im Untersuchungsgebiet mit folgendem Untergundaufbau zu rechnen (von oben nach unten):

- Auffüllungen (Geländeregulierung)
- weichselkaltzeitlicher Gehängelehm
- pleistozäne Schmelzwassersande und -kiese
- Granodiorit (zuoberst verwittert bis zersetzt, tiefer liegend als Festgestein).

Grundwasser wird nur sporadisch vorkommend als Schichtenwasser erwartet.

3.2. Baugrunderkundung

Zur Erkundung der anstehenden Baugrundverhältnisse wurden am 02.05. und 18.10.2023 folgende Baugrundaufschlüsse durch das IFG hergestellt:

- 8 Kleinrammbohrungen **RKS 1a** bis **RKS 7** gemäß DIN EN ISO 22475-1, Ø 60 ... 36 mm.

In einer 1. Bohrkampagne am 02.05.2023 wurden die Aufschlüsse RKS 1, 1a, 2 und 3 hergestellt. Als Grundlage für die Anordnung dieser Bohrungen lag der Lageplan (Stand 07/2022 - /4a/) vor. Die restlichen Bohrungen hätten auf dem angrenzenden, mit Raps bestellten Feld gelegen. Es sollte mit der weiteren Erkundung bis nach der Ernte gewartet werden. Zwischenzeitlich wurde jedoch die Lage der Bauwerke neu geplant, siehe Lageplan (Stand 08.09.2023 - /4b/). Die Aufschlüsse RKS 4 bis RKS 7 wurden aufgrund der überarbeiteten Bauwerksstandorte neu angeordnet.

Die durchgeführten Baugrundaufschlüsse sind in Tabelle 1 zusammengestellt:

Tabelle 1: Aufschlussprogramm Baugrundaufschlüsse

Aufschluss	Lage gem. /4b/	Rechtswert	Hochwert	Höhe [m NHN]	erreichte Endteufe [m]
		Koordinatenbezug RD 83, Gauß-Krüger		Höhenbezug DHHN 2016	
RKS 1/1a	kein Bauwerk laut aktueller Planung ¹⁾	5 462 120,8	5 662 707,4	254,40	7,0
RKS 2	Faulbehälter	5 462 111,7	5 662 714,9	255,03	7,0
RKS 3	Faulbehälter	5 462 104,4	5 662 713,8	255,33	7,0
RKS 4	Gasspeicher	5 462 098,1	5 662 696,6	255,66	2,65
RKS 5	Gasfackel	5 462 113,0	5 662 699,1	254,75	6,5
RKS 6	Faulbehälter	5 462 110,1	5 662 724,0	255,13	4,85
RKS 7	Faulbehälter	5 462 112,7	5 662 734,8	255,13	7,0

Legende:

¹⁾ in der Planung Stand 07/2022 /4a/ war dort ein Pumpwerk vorgesehen

Der Aufschluss RKS 1 musste aufgrund eines Sondierhindernisses vorzeitig abgebrochen werden. Er wurde als RKS 1a etwas versetzt neu abgeteuft. Die Aufschlüsse RKS 4, 5 und 6 erreichten nicht die geplante Endteufe. Sie wurden aufgrund des fehlenden Sondierfortschritts im Bereich von Geröllvorkommen im Zersatz abgebrochen.

Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig mittels GPS-Roverstab eingemessen. In Bereichen mit schwachem GPS-Signal wurden die Höhen durch Nivellement präzisiert.

Die Ansatzpunkte der Baugrundaufschlüsse sind im Lageplan in Anlage 2 grafisch dargestellt.

4. Baugrundbeschreibung

4.1. Baugrundsichtung

Folgende generelle Baugrundsichtung wurde erkundet:

Tabelle 2: Baugrundsichtung

Schicht Nr.	Genese (Stratigraphie) Bodengruppe Bodenart Konsistenz/Lagerungsdichte Farbe	Bemerkungen
1a	Oberboden enthält Wurzeln feucht dunkelbraun	0,10 ... 0,40 m stark in allen Aufschlüssen erkundet
1b	Auffüllung [SU*], [UL], [UM] Auffüllung: Schluff, stark feinsandig, kiesig ... Schluff, stark sandig, kiesig enthält Ziegelspuren, Granodioritstücke und Kiesnester halbfest bis fest braun	bis 0,65 ... 0,70 m unter Ansatzpunkt in den Aufschlüssen RKS 1 und RKS 6 erkundet Schicht in RKS 1 nicht durchteuft (Sondierhindernis)
2	Gehängelehm UL, UM Schluff, stark feinsandig, schwach tonig ... Schluff, schwach tonig bis tonig, sandig enthält Basalt- und Granodioritstücke sowie Kiesnester steif bis halbfest, lokal halbfest bis fest braun	bis 2,55 ... 5,40 m unter Ansatzpunkt in allen Aufschlüssen außer RKS 1 erkundet Schicht in RKS 4 und 6 nicht durchteuft
3	Sand SE, SU, SU* Sand, schluffig, lokal stark schluffig ... Sand, kiesig, grusig mitteldicht bis dicht hellbraun, braun	bis 4,50 ... 7,00 m unter Ansatzpunkt in den Aufschlüssen RKS 1a, 5 und 7 erkundet Schicht in RKS 7 nicht durchteuft
4	Granodiorit-Zersatz SE, SU, Zv Granodiorit, zersetzt zu: Feinsand, schwach schluffig ... Sand, schwach kiesig ... Sand, kiesig, grusig dicht bis sehr dicht hellbraun, braun	bis 6,50 ... 7,00 m unter Ansatzpunkt in den Aufschlüssen RKS 1a, 2, 3, und 5 erkundet Schicht nicht durchteuft

Die erkundeten Baugrundsichten entsprechen den Erwartungen gemäß geologischer Kartenrecherche /9/ und können als recht homogen und geeignet für die Bauaufgabe bezeichnet werden.

Zuoberst steht Oberboden an (**Schicht 1a**).

Schicht 1b beschreibt die Auffüllung. Es handelt sich um ein aufgefülltes Lockergestein mit einer bindigen Charakteristik. Es sind wenig Fremdbestandteile vorhanden (Ziegelspuren, Granodioritstücke). Die Auffüllung weist eine halb feste bis feste Konsistenz auf.

Bei **Schicht 2** handelt es sich um Gehängelehm. Dieser besitzt eine bindige Charakteristik und steht in steifer bis halbfester, lokal auch halbfester bis fester Konsistenz an. In den Gehängelehm sind Basalt- und Granodioritstücke sowie Kiesnester eingelagert.

Schicht 3 beschreibt den Sand. Er besitzt eine rollige bis lokal schwach bindige Charakteristik und steht in mitteldichter bis dichter Lagerung an.

Granodiorit-Zersatz wurde als **Schicht 4** zusammengefasst. Es handelt sich um zu Lockergestein zersetztes Festgestein. Der Zersatz weist eine rollige Charakteristik auf und steht in dichter bis sehr dichter Lagerung an.

Einzelheiten wie Vorkommen, Tiefenlage und Mächtigkeit können den Schichtenverzeichnissen (Anlage 3.1), den Bohrprofilen (Anlage 3.2) sowie den Baugrundschnitten (Anlage 4) entnommen werden.

4.2. Baugrundeigenschaften

Die erkundeten Baugrundsichten können wie folgt charakterisiert werden. Dabei werden die maßgebenden Eigenschaften angegeben.

Tabelle 3: Eigenschaften der Baugrundsichten

Schicht Nr.	Bezeichnung Bodengruppe Konsistenz/Lagerung	Charakter	Wasser- durchlässigkeit DIN 18130-1	Konsis- tenzverän- derlichkeit	Tragfähigkeit / Verformbar- keit	maßgebende Frostempfind- lichkeit ZTV E-StB 17
1b	Auffüllung [SU*], [UL], [UM] halbfest bis fest	aufgefülltes Locker- gestein, bindig, ent- hält wenig Fremdbe- standteile	sehr schwach durchlässig bis schwach durchlässig	stark wasser- empfindlich	mittel bis gut tragfähig, mä- ßig bis gering verformbar	stark frostempfindlich F 3
2	Gehängelehm UL, UM steif bis halbfest, lokal halbfest bis fest	Locker- gestein, bindig	sehr schwach durchlässig bis schwach durchlässig	stark wasser- empfindlich	mittel bis gut tragfähig, mä- ßig verformbar	stark frostempfindlich F 3
3	Sand SE, SU, SU* mitteldicht bis dicht	Locker- gestein, rollig, lokal schwach bindig	durchlässig, lokal schwach durchlässig	gering bis mittel wasser- empfindlich	gut bis sehr gut tragfähig, ge- ring verformbar	gering bis mittel frostempfindlich F 2
4	Granodiorit-Zersatz SE, SU, Zv dicht bis sehr dicht	zu Locker- gestein zer- setztes Festgestein, rollig	durchlässig	gering wasser- empfindlich	sehr gut trag- fähig, gering bis sehr gering ver- formbar	nicht frostemp- findlich F 1

4.3. Grundwasser

Grundwasser wurde im Rahmen der Baugrunduntersuchung bis 7 m Tiefe nicht festgestellt. Im anstehenden Untergrund kann sich praktisch kein geschlossener Grundwasserspiegel ausbilden.

Es kann jedoch nach langanhaltenden und ergiebigen Niederschlägen zur Bildung von Schichtenwasser in sandigeren Bereichen im Untergrund kommen. Für erdstatische Nachweise (Grundbruch- und Setzungsberechnungen) wird der Ansatz eines Bemessungswasserstands bei 252,00 m NHN empfohlen.

5. Laboruntersuchungen

5.1. Bodenmechanische Laborversuche

Zur Präzisierung der Bodenansprache und Bestimmung bodenmechanischer Kennwerte wurden folgende Laboruntersuchungen an ausgewählten Bodenproben durchgeführt.

- 5x Korngrößenverteilung mittels kombinierter Sieb-Schlamm-Analyse (DIN 18123 / DIN EN ISO 17 892-4)
- 5x Bestimmung natürlicher Wassergehalt w_n durch Ofentrocknung (DIN 18121-1 / DIN EN ISO 17 892-1)

Die Ergebnisse der Laborversuche sind in Tabelle 4, die zugehörigen Prüfprotokolle in Anlage 5 zusammengestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse der bodenphysikalischen Laborversuche

Bohrung Probe	RKS 1a P 1	RKS 2 P 2	RKS 3 P 1	RKS 6 P 2	RKS 7 P 3
Entnahmetiefe [m]	0,2-1,0	1,0-3,0	0,3-1,0	1,0-3,0	3,0-5,0
Schicht Schicht Nr.	Gehängelehm 2	Gehängelehm 2	Gehängelehm 2	Gehängelehm 2	Gehängelehm 2
nat. Wassergehalt w_n [%]	13,9	16,5	18,2	13,8	16,0
Tonanteil $\leq 0,002$ mm [%]	13	16	15	14	15
Schluffanteil $> 0,002 \dots \leq 0,063$ mm [%]	69	62	73	61	67
Sandanteil $> 0,063 \dots \leq 2$ mm [%]	16	19	11	21	18
Kiesanteil $> 2 \dots \leq 63$ mm [%]	2	3	1	4	0
k_r -Wert [m/s] Formel nach Bewertung nach DIN 18130-1	$5,3 \cdot 10^{-8}$ Mallet/Paquant schwach durch- lässig	$1,8 \cdot 10^{-8}$ Mallet/Paquant sehr schwach durchlässig ... schwach durch- lässig	$3,2 \cdot 10^{-8}$ Mallet/Paquant schwach durch- lässig	$1,9 \cdot 10^{-8}$ Mallet/Paquant sehr schwach durchlässig ... schwach durch- lässig	$1,2 \cdot 10^{-8}$ Mallet/Paquant sehr schwach durchlässig ... schwach durch- lässig
Bodenart nach DIN 4022	U,s,t'-t Schluff, sandig, schwach tonig bis tonig	U,t,s Schluff, tonig san- dig	U,t'-t,s' Schluff, schwach tonig bis tonig, schwach sandig	U,t'-t,s Schluff, schwach tonig bis tonig, sandig	U,t,s Schluff, tonig san- dig
Bodengruppe nach DIN 18196	UL Schluff, leicht plastisch	UL Schluff, leicht plastisch	UL Schluff, leicht plastisch	UL/UM Schluff, leicht bis mittel plastisch	UL/UM Schluff, leicht bis mittel plastisch
Anlage Prüfprotokoll	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5

Für die untersuchten Böden wurde die Feldansprache im Ergebnis der Laboruntersuchungen überarbeitet.

5.2. Schadstoffuntersuchungen

Folgende Schadstoffuntersuchungen wurden durchgeführt.

Tabelle 5: Zusammenstellung der chemischen Untersuchungen

Probebezeichnung	Herkunft	Untersuchung	Ergebnis
MP Boden RKS 4/P 1, 0,50-1,00 m RKS 5/P 2, 1,00-2,50 m RKS 6/P 1, 0,20-1,00 m RKS 6/P 2, 1,00-3,00 m RKS 7/P 1, 0,20-1,00 m	Gehängelehm, Schicht 2	Ersatzbaustoffverordnung EBV, Stand 09.07.2021 Untersuchung Bodenmaterial und Baggergut (Anlage 1, Tabelle 3)	Tabelle 6 (Feststoff), Tabelle 7 (Eluat)

Legende:

MP Mischprobe

Die Schadstoffuntersuchungen führten zu den nachfolgend aufgelisteten Ergebnissen:

Tabelle 6: Chemische Analyse Feststoff und Vergleich mit EBV 2021

Parameter	Einheit	Analyseergebnis	Zuordnungswerte nach EBV 2021 Anlage 1, Tabelle 3					
			MP Boden	BM-0 BG-0 (Schluff)	BM-0* BG-0*	BM-F0* BG-F0*	BM-F1 BG-F1	BM-F2 BG-F2
mineralische Fremdbestandteile	Vol.-%	≤10	≤10	≤10	≤50	≤50	≤50	≤50
Σ PAK ₁₆	mg/kg	0,025	3	6	6	6	9	30
Benzo(a)pyren	mg/kg	n.n. ¹⁾	0,3	-	-	-	-	-
EOX	mg/kg	<1,0	1	1	-	-	-	-
MKW C ₁₀ -C ₂₂ MKW (C ₁₀ -C ₄₀) ⁸⁾	mg/kg	<40 170	-	300 (600)	300 (600)	300 (600)	300 (600)	1.000 (2.000)
TOC	M.-%	0,2	1	1	5	5	5	5
Σ PCB ₆	mg/kg	0,010	0,05	0,1	-	-	-	-
Arsen	mg/kg	6,1	20	20	40	40	40	150
Blei	mg/kg	10	70	140	140	140	140	700
Cadmium	mg/kg	<0,2	1	1 ⁶⁾	2	2	2	10
Chrom, gesamt	mg/kg	29	60	120	120	120	120	600
Kupfer	mg/kg	12	40	80	80	80	80	320
Nickel	mg/kg	22	50	100	100	100	100	350
Quecksilber	mg/kg	<0,07	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	5
Thallium	mg/kg	<0,2	1,0	1,0	2	2	2	7
Zink	mg/kg	42	150	300	300	300	300	1.200
Bewertung Feststoff:		BM-0 BG-0						

Tabelle 7: Chemische Analyse Eluat und Vergleich mit EBV 2021

Parameter	Einheit	Analyseergebnis	Zuordnungswerte nach EBV 2021 Anlage 1, Tabelle 3					
			MP Boden	BM-0 BG-0 (Schluff)	BM-0* BG-0* ³⁾	BM-F0* BG-F0*	BM-F1 BG-F1	BM-F2 BG-F2
pH-Wert ⁴⁾	-	6,9	-	-	6,5-9,5	6,5-9,5	6,5-9,5	5,5-12,0
elektr. Leitfähigkeit ⁴⁾	µS/cm	56	-	350	350	500	500	2.000
Σ PAK ₁₅ ⁹⁾	µg/l	0,020	-	0,2	0,3	1,5	3,8	20
Naphthalin und Methyl-naphthaline	µg/l	n.b. ²⁾	-	2	-	-	-	-
Σ PCB ₆	µg/l	n.b. ²⁾	-	0,01	-	-	-	-
Sulfat	mg/l	15	250 ⁵⁾	250 ⁵⁾	250 ⁵⁾	450	450	1.000
Arsen	µg/l	<1	-	8 (13)	12	20	85	100
Blei	µg/l	<1	-	23 (43)	35	90	250	470
Cadmium	µg/l	<0,3	-	2 (4)	3,0	3,0	10	15
Chrom, gesamt	µg/l	<1	-	10 (19)	15	150	290	530
Kupfer	µg/l	<1	-	20 (41)	30	110	170	320
Nickel	µg/l	<1	-	20 (31)	30	30	150	280
Quecksilber ¹²⁾	µg/l	<0,1	-	0,1	-	-	-	-
Thallium ¹²⁾	µg/l	<0,2	-	0,2 (0,3)	-	-	-	-
Zink	µg/l	<10	-	100 (210)	150	160	840	1.600
Bewertung Eluat:		BM-0 BG-0						
Bewertung gesamt:		BM-0 BG-0						

Legende zu Tabellen 6 und 7:

- 1) n.n. - nicht nachweisbar
- 2) n.b. - nicht berechenbar, da zur Summenbildung nur Einzelwerte größer als die Bestimmungsgrenze verwendet werden können und hier alle Einzelwerte kleiner als die Bestimmungsgrenze sind
- 3) Eluatwerte nur maßgeblich, wenn Feststoffwert überschritten wird. Klammerwerte gelten bei TOC-Gehalt $\geq 0,5$ M.-%.
- 4) stoffspezifischer Orientierungswert, bei Abweichungen ist die Ursache zu prüfen
- 5) Wert gilt für Bodenmaterial Sand
- 6) Klammerwerte gelten für Kohlenwasserstoffverbindungen mit einer Kettenlänge von C₁₀ bis C₄₀
- 9) PAK₁₅ = PAK₁₆ ohne Naphthalin und Methyl-naphthaline
- 12) für die Klassifizierung ist der angegebene Gesamtgehalt maßgeblich. Der Eluatwert der Materialklasse BM-0* / BG-0* ist einzuhalten

Die Bewertung der untersuchten Mischprobe kann den Tabellen 6 und 7 entnommen werden. Sie hält alle Grenzwerte an die Materialklasse BM-F0/BG-F0 für die Bodenart Lehm/Schluff ein.

Im Falle einer Entsorgung gilt die Abfallschlüsselnummer 17 05 04 (Boden und Steine). Es handelt sich um einen nicht gefährlichen Abfall im Sinne §48 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes.

Einzelheiten können dem Prüfprotokoll in Anlage 6 entnommen werden.

Die hier durchgeführten Analysen sind schadstoffcharakterisierend und nach EBV als orientierende Voruntersuchung, beispielsweise zur Erstellung von Ausschreibungsunterlagen, zu werten.

Soll im Zuge der geplanten Bauarbeiten Bodenaushub an einem anderen Standort verwertet oder auf einer Deponie entsorgt werden, so ist eine Deklarationsanalyse nach §14 EBV oder §6 DepV durchzuführen.

6. Berechnungskennwerte und Bodenklassifikation

6.1. Bodenmechanische Kennwerte Flachgründung

Zur Durchführung von erdstatischen Berechnungen für Flachgründungen werden folgende bodenmechanische Kennwerte angegeben, welche in Auswertung der ingenieurgeologischen Feldansprache, der durchgeführten Laboruntersuchungen sowie mit Hilfe tabellierter und regionaler Erfahrungswerte nach EAU und DIN 1055 festgelegt wurden.

Tabelle 8: Bodenmechanische Kennwerte Flachgründung

Schicht Nr.	Bezeichnung Konsistenz/Lagerung	Boden- gruppe Verwite- rungs- grad	cal. g	cal. g'	cal. F'	cal. c'	cal. Es	k _r (ca.)
1b	Auffüllung halbfest bis fest	[SU*], [UL], [UM]	19	9	28	0	10 ... 20 (14)	≈ 10 ⁻⁹ ... 10 ⁻⁸
2	Gehängelehm steif bis halbfest, lokal halbfest bis fest	UL, UM	19	9	28	5	8 ... 20 (12)	≈ 10 ⁻⁹ ... 10 ⁻⁸
3	Sand mitteldicht bis dicht	SE, SU, SU*	19	10	32	0	30	≈ 10 ⁻⁷ ... 10 ⁻⁴
4	Granodiorit-Zersatz dicht bis sehr dicht	SE, SU, Zv	19	10	33	0	50	≈ 10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁵

Legende:

cal.g cal. Bodendichte, erdfeucht [kN/m³]
cal.g' cal. Bodendichte unter Auftrieb [kN/m³]
cal. Es cal. Steifemodul [MN/m²]

cal. f' cal. Reibungswinkel [°]
cal. c' cal. Kohäsion [kN/m²]
k_r Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

Zur Durchführung geotechnischer Berechnungen sind die angegebenen Kennwerte dem jeweiligen Baugrundprofil am konkreten Standort zuzuordnen (siehe Tabelle 11).

6.2. Homogenbereiche (DIN 18300, 18301 und 18304)

Gemäß der aktuell geltenden VOB/C-Norm DIN 18300 (Erdarbeiten), DIN 18301 (Bohrarbeiten) sowie DIN 18304 (Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten) sind zur Ausschreibung von Tiefbauleistungen dem Baugrund am Untersuchungsstandort folgende Homogenbereiche zuzuordnen. Die geotechnische Kategorie 2 ist dabei maßgebend.

Tabelle 9: Kennwerte für die Festlegung der Homogenbereiche von Lockergesteinen

Schichten	Schicht 1b	Schicht 2	Schicht 3	Schicht 4	
ortsübliche Bezeichnung	Auffüllung	Gehängelehm	Sand	Granodiorit-Zersatz	
Bodengruppe DIN 18196	[SU*], [UL], [UM]	UL, UM	SE, SU, SU*	SE, SU, Zv	
Charakter	aufgefülltes Lockergestein, bindig enthält wenig Fremdbestandteile (Ziegelspuren, Granodioritstücke) und Kiesnester	Lockergestein, bindig enthält Basalt- und Granodioritstücke sowie Kiesnester	Lockergestein, rollig, lokal schwach bindig	zu Lockergestein zersetztes Festgestein, rollig	
Massenanteil Ton [%] ¹⁾	25 ... 80	10 ... 20	0 ... 25	0 ... 15	
Massenanteil Schluff [%] ¹⁾		55 ... 80			
Massenanteil Sand [%] ¹⁾	10 ... 60	5 ... 30	40 ... 80	50 ... 95	
Massenanteil Kies [%] ¹⁾	5 ... 25	0 ... 15	0 ... 25	0 ... 25	
Massenanteil Steine [%] ¹⁾	0 ... 25	0 ... 10	0 ... 2	0 ... 5	
Massenanteil Blöcke [%] ¹⁾	0 ... 5	0 ... 2	0	0 ... 1	
Massenanteil große Blöcke [%] ¹⁾	0	0	0	0	
Dichte [g/cm ³] ¹⁾	1,6 ... 2,4	1,6 ... 2,4	1,6 ... 2,4	1,6 ... 2,4	
undrainierte Scherfestigkeit [kN/m ²] ¹⁾	50 ... 150	25 ... 150	0	0	
Kohäsion [kN/m ²] ¹⁾	10 ... 30	5 ... 30	0	0	
Wassergehalt [%] ¹⁾	10 ... 20	10 ... 20	3 ... 15	3 ... 15	
Konsistenz	halbfest bis fest	steif bis halbfest, lokal halbfest bis fest	n.b.	n.b.	
Konsistenzzahl I _C ¹⁾	1,00 ... >1,25	0,75 ... 1,25, lokal 1,00 ... >1,25	n.b.	n.b.	
Plastizität ¹⁾	leicht bis mittel plastisch	leicht bis mittel plastisch	n.b.	n.b.	
Plastizitätszahl I _P ¹⁾	0,02 ... 0,25	0,02 ... 0,25	n.b.	n.b.	
Lagerung ¹⁾	n.b.	n.b.	mitteldicht bis dicht	dicht bis sehr dicht	
bezogene Lagerungsdichte I _D ¹⁾	n.b.	n.b.	35 ... 85	65 ... >85	
organischer Anteil [%] ¹⁾	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	
Abrasivität ²⁾	LAK [g/t]	100 ... 500	100 ... 500	250 ... 500	250 ... 1.250
	CAI [0,1 mm]	0,5 ... 2,0	0,5 ... 2,0	1,0 ... 2,0	1,0 ... 4,0
	Bewertung	schwach abrasiv bis abrasiv	schwach abrasiv bis abrasiv	abrasiv	abrasiv bis stark abrasiv
maßgebende Frostempfindlichkeit (nach ZTV E-StB 17)	F 3 stark frostempfindlich	F 3 stark frostempfindlich	F 2 gering bis mittel frostempfindlich	F 1 nicht frostempfindlich	

Legende:

- ¹⁾ anhand von Erfahrungswerten und der ingenieurgeologischen Feldansprache abgeschätzt bzw. durch Feld- und Laborversuche ermittelt
- ²⁾ Schätzwerte aus Fachliteratur, keine Laborversuche durchgeführt

Für die im Rahmen der Baumaßnahme zu erwartenden Tiefbauarbeiten (Erdarbeiten, Bohrarbeiten sowie Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten) erfolgt die Einteilung des anstehenden Baugrunds in der nachfolgenden Tabelle 10.

Tabelle 10: Festlegung der Homogenbereiche

Schichten	Bodenart	DIN 18300 Erdarbeiten	DIN 18301 Bohrarbeiten	DIN 18304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten
Schicht 1b:	Auffüllung	E 1	B 1	R 1
Schicht 2:	Gehängelehm			
Schicht 3:	Sand	E 2	B 2	R 2
Schicht 4:	Granodiorit-Zersatz			R 3

Oberboden (Schicht 1a) stellt gemäß DIN 18320 (Landschaftsbauarbeiten) einen eigenen Homogenbereich dar. Für diesen kann die Bodengruppe [OH] gemäß DIN 18196 bzw. Bodengruppe 6 gemäß DIN 18915 angesetzt werden (bindiger Boden). Er enthält Wurzeln.

Die in Tabelle 9 getroffenen Beschreibungen der Böden beruhen auf dem gesichteten Bohrgut, den durchgeführten Feld- und Laborversuchen sowie regionalgeologischen Erfahrungen mit vergleichbaren Böden. Abweichungen von den angegebenen Wertebereichen können vorkommen, begründen jedoch nicht automatisch Mehr- oder Minderaufwendungen bei den entsprechenden Tiefbauarbeiten. Zudem stellt die in Tabelle 10 vorgenommene Einteilung der Böden in Homogenbereiche eine aus gutachterlicher Sicht sinnvolle Möglichkeit dar. Eine davon abweichende Einteilung in andere Homogenbereiche ist aus arbeitsvereinfachenden Gründen durchaus möglich.

Bei der Zusammenfassung von mehreren Schichten in einen Homogenbereich sind die Kennwerte der jeweiligen Schichten in Tabelle 9 zu einer den Homogenbereich vollumfassend beschreibenden Kennwertspanne zusammenzufassen.

7. Gründungsempfehlungen Bauwerke

7.1. Allgemeines

Die angetroffenen Baugrundverhältnisse sind für die vorgesehene Baumaßnahme geeignet. Die geotechnische Kategorie 2 gilt in Verbindung mit der geplanten Bauaufgabe als bestätigt.

Am Standort der geplanten Bauwerke steht unterhalb von Oberboden bzw. Resten von Auffüllungen der Gehängelehm an (Schicht 2). Dieser ist ausreichend tragfähig und nur mäßig verformbar und als Gründungshorizont für die geplanten Bauwerke gut geeignet.

Nachfolgend werden Gründungsempfehlungen gegeben.

7.2. Gründungsempfehlungen

Konkrete Planungsergebnisse über die Bauwerke liegen noch nicht vor. Es wird davon ausgegangen, dass sie alle flach auf Bodenplatte (bzw. Blockfundament) gegründet werden sollen. Die Einbindung der Fundamente muss frostfrei erfolgen, d.h. mindestens 1,25 m unter Geländeoberkante. Die Bauwerksgrößen wurden aus dem vorhandenen Lageplan /4b/ abgegriffen.

Für die Bemessung der Gründung wurden beispielhafte Grundbruch- und Setzungsberechnungen durchgeführt (DIN 4017, DIN 4019, EC 7), mittige und lotrechte Beanspruchung vorausgesetzt.

Folgende Randbedingungen und Ansätze sind maßgebend:

Tabelle 11: Randbedingungen und Ansätze Grundbruch- und Setzungsberechnung

Randbedingung / Ansatz	Einheit	Bauteil		
		Faulbehälter	Gasspeicher	Gasfackel
Geländeoberkante	m NHN	255,13	255,66	254,75
Gründungssohle	m NHN	253,88	254,41	253,50
rechnerische Einbindetiefe	m	1,25	1,25	1,25
Bemessungswasserstand	m NHN	252,00		
Bodenmechanische Kennwerte	-	Tabelle 8		
Fundamentabmessung	m	23,0 x 10,0	Ø 8,0 (entspricht Rechteckfläche 7,1 x 7,1 m)	3,0 x 3,0
maßgebendes Baugrundprofil	-	RKS 7	RKS 4	RKS 5

Folgendes wurde ermittelt:

Tabelle 12: Ergebnisse beispielhafte Grundbruch- und Setzungsberechnung

Randbedingung / Ansatz	Einheit	Bauteil		
		Faulbehälter	Gasspeicher	Gasfackel
Bemessungswerts des Sohldruckwiderstands $\sigma_{R,d}$	kN/m ²	125 ⁾	175 ⁾	225 ⁾
charakteristischer Wert des Sohldruckwiderstands $\sigma_{E,k}$	kN/m ²	90	125	161
Setzung s (bei Auslastung von $\sigma_{R,d}$)	cm	3,0	3,1	1,7
Bettungsmodul k_s	MN/m ³	≈ 3	≈ 4	≈ 10
Anlage	-	7.1	7.2	7.3

Legende:

⁾ rechnerisch zur Setzungsreduzierung begrenzt

Der angegebene Bettungsmodul ist nach der Beziehung $k_s = \sigma_0 / s$ zu kontrollieren (mit σ_0 = vorhandener Sohldruck und s = Setzung).

Es wird eingeschätzt, dass die bei Auslastung von $\sigma_{R,d}$ eintretenden Setzungen bauwerksverträglich sind. Geringere Belastungen haben geringere Setzungsbeträge zur Folge.

Die Setzungen werden unmittelbar nach dem Lasteintrag beginnen und relativ rasch wieder abklingen. Langzeitsetzungen sind nicht zu erwarten.

Durch eine bodenmechanische Verbesserung des Gehängelehms (Schicht 2), z.B. durch den Einbau von CMC-Säulen oder vergleichbare Verfahren und der damit verbundenen Erhöhung des Steifemoduls E_s , könnten höhere Belastungen aufgenommen werden. Bei einer Erhöhung des Steifemoduls E_s der Schicht 2 von 12 auf 20 MN/m² könnten höhere Lasten ($\sigma_{R,d} = 175$ anstatt 125 kN/m²) bei gleich bleibenden Setzungsbeträgen abgetragen werden (siehe Anlage 7.1a Faulbehälter mit Untergrundverbesserung).

Einzelheiten zur Beispielrechnung der jeweiligen Bauwerke können Anlage 7 entnommen werden.

8. Hinweise zur Bauausführung

8.1. Erdbau / Baugrubensicherung / Rückverfüllung

Bei Erdarbeiten sind die Forderungen / Empfehlungen der ZTV E-StB 17, für Aufgrabungen in Verkehrsflächen zusätzlich die der ZTV A-StB 12 zu beachten.

Gemäß DIN 4124 sind oberhalb des Grundwasserspiegels folgende Böschungswinkel einzuhalten:

- bis 1,25 m Tiefe: senkrecht geschachtet
- 1,25 m bis 1,75 m: bis 1,25 m senkrecht und danach geböscht mit Böschungswinkel $\beta \leq 60^\circ$ (Auffüllung, Lehmboden) bzw. $\beta \leq 45^\circ$ (Sand, Zersatz)
- ab 1,75 m – 5,0 m: geböscht bzw. verbaut auf kompletter Tiefe.

Die für die Ausschreibung der Tiefbauarbeiten erforderlichen Parameter und Einteilungen in Homogenbereiche können dem Abschnitt 6.2 entnommen werden.

Der Gehängelehm ist stark wasserempfindlich. Gründungssohlen sind nach Herstellung rasch durch den Einbau einer Sauberkeitsschicht vor Witterungseinflüssen zu schützen.

Die Hinterfüllung der Bauwerke muss mit einem Verdichtungsgrad von $D_{Pr} \geq 100\%$ erfolgen. Aushubboden ist dazu geeignet, wenn sich sein natürlicher Wassergehalt nicht nachteilig verändert.

8.2. Wasserhaltung

Generelle Wasserhaltungsarbeiten werden im Zuge der Erdarbeiten nicht erforderlich.

Oberflächenwasser ist von der Baugrube fernzuhalten.

9. Abschließende Hinweise

Die durchgeführten Gründungsberatungen und -berechnungen verstehen sich als Vorbemessungen für den Bauwerksentwurf und sind im Zuge der Ausführungsplanung entsprechend zu präzisieren.

Dieses Baugrundgutachten kann nur in seiner Gesamtheit die Baugrundsituation darstellen. Für Schäden, die auf Grund nur auszugsweiser Weiterverbreitung bzw. Veränderung dieses Berichts eventuell entstehen, wird seitens des Verfassers jede Haftung abgelehnt.

Nach Präzisierung der Bauwerksplanung ist der Inhalt des Gutachtens zu prüfen und ggf. dem fortgeschrittenen Planungsstand anzupassen.