

ZKA Frankenberg - Erneuerung Schlammbehandlung

Geotechnische Untersuchung

AZ: 23031 - GU

Auftraggeber: ZWA Mittleres Erzgebirgsvorland, 09661 Hainichen

Erstellungsdatum: 15.06.2023

GEOTECHNISCHER BERICHT

1. Bauvorhaben und Aufgabenstellung

Der Auftraggeber beabsichtigt den Neubau von zwei Behältern zur Zwischenlagerung von Klärschlamm auf dem Gelände der Zentralen Kläranlage (ZKA) in Frankenberg. Zwei vorhandene, etwas kleinere Behälter sollen zuvor zurückgebaut werden. Das Baufeld für die neuen Schlammspeicher überschneidet die Grundfläche der gegenwärtigen Behälterstandorte teilweise (siehe Anlage 1).

Die in Stahlbetonbauweise geplanten zylindrischen Silos besitzen bei einer Höhe von rund 4,5 m ein Speichervolumen von jeweils 1.000 m³, die Behältergrundfläche weist somit einen Durchmesser von ca. 17 m auf ($\approx 230 \text{ m}^3$). Die Gründung soll auf einer Bodenplatte erfolgen (Flächengründung).

Über die Gründungstiefe (= Einbindetiefe der Behälter in den Untergrund) soll erst nach Vorliegen der Ergebnisse der Baugrunderkundung entschieden werden. Gegenwärtig werden planungsseitig die folgenden beiden Gründungsvarianten geprüft:

- Variante 1: Gründung im Auelehm, Einbindetiefe der Behälter ca. 2 m ins Gelände
Gründungssohle bei ca. 246,80 mHN
- Variante 2: Gründung in den Flußkiesen, Einbindetiefe ca. 4 m ins Gelände, Gründungssohle bei ca. 244,80 m HN

Zur Fortführung der Planung (Auswahl der geeignetsten Gründungstiefe, Wasserhaltung, Baugrubensicherung ...), zur Bemessung der Gründung (Gründungskennwerte, Setzungen) sowie zur Ausschreibung und Abrechnung von Tiefbauleistungen (Homogenbereiche, Materialklassen für die Verwertung des Bodenaushubs) werden noch Angaben zu den Baugrund- und Grundwasserverhältnissen sowie zur Schadstoffbelastung der oberen Bodenzonen benötigt (potentieller Aushubbereich).

Am 08.05.2023 erhielt unser Büro den Auftrag zur Durchführung der erforderlichen Untersuchungen. Die Ergebnisse werden im vorliegenden Geotechnischen Bericht dargestellt und bewertet.

2. Untersuchungsprogramm

Zur Erkundung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse wurde am 16.05.2023 am Rand des Baufeldes eine 7 m tiefe verrohrte Rotationskernbohrung als Trockenkernbohrung ausgeführt (BK 1). Mit der Bohrung wurde der massive Fels erreicht, so daß eine ordnungsgemäße Einschätzung der am Standort vorliegenden Baugrundverhältnisse möglich ist (vollständige Erfassung der Lockergesteinsdeckschichten).

Die Einmessung des Aufschlußpunktes nach Höhe erfolgte auf Grundlage der in den Bestandsplänen angegebenen Höhen der Kanaldeckel (mHN). Ansprache und Dokumentation der Bohrung erfolgten vor Ort durch den Unterzeichner.

Aus dem frischen Bohrgut wurden die in Tabelle 1 zusammengestellten Bodenproben entnommen. In der Tabelle ist auch das ausgeführte Untersuchungsprogramm der Laboruntersuchungen angegeben. Darüber hinaus sind zum Überblick die entnommenen Proben mit Laborprogramm am Aufschlußprofil verzeichnet (Anlage 2).

Tabelle 1: Zusammenstellung der entnommenen Proben und der ausgeführten Laboruntersuchungen

Probenbezeichnung	Entnahmetiefe	untersuchte Schicht	Untersuchungsprogramm
BK 1- A	0,25 - 0,70 m	Auffüllungen	Mantelverordnung ²⁾
BK 1- AL	0,70 - 2,40 m	Auelehm, evtl. aufgefüllt ¹⁾	
BK 1- FK	2,40 - 4,10 m	Flußkiese	
BK 1- AL 1	0,70 - 2,00 m	Auelehm, evtl. aufgefüllt ¹⁾	Konsistenzgrenzen & Wassergehalt
BK 1- AL 2	0,70 - 2,40 m	Auelehm, evtl. aufgefüllt ¹⁾	Kornverteilung (Naßsiebung und Sedimentation)
BK 1- FK	2,40 - 4,10 m	Flußkiese	

¹⁾ ... siehe Anmerkungen zu diesem Horizont im Abschnitt 3.1

²⁾ ... Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallordnung vom 09.07.2021 ("Mantelverordnung"): Anlage 1, Tabelle 3 ("Materialwerte für Bodenmaterial und Baggergut")

Auf die geplante Untersuchung der Betonaggressivität des Grundwassers mußte verzichtet werden, da das im verrohrten Bohrloch stehende Wasser unmittelbar nach dem Bohrvorgang stark mit aufgearbeiteten Bodenpartikeln verunreinigt war ("verschlammt") und mit der zur Verfügung stehenden U-Pumpe nicht gefördert werden konnte.

Zur Betonaggressivität des Grundwassers an diesem Standort liegt aber eine entsprechende Untersuchung aus dem Jahr 2016 vor (Geotechnischer Bericht GU16031, IB Hupach, 27.04.2016). Bei Erfordernis kann das Grundwasser ggf. nochmals baubegleitend untersucht werden. Wir gehen aber davon aus, daß die Untersuchungsergebnisse (schwach betonangreifend) nach wie vor zutreffend sind.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1. Baugrundverhältnisse

Die mit der Bohrung BK 1 erschlossene Bodenabfolge ist in Anlage 2.1 in Form eines Bohrprofils teufengenau dargestellt. Ergänzend ist als Anlage 2.1a nochmals das

Bohrprofil der 2016 ausgeführten Bohrung BK 5 (BK5/DPH 5) beigelegt. Anlage 2.2 enthält einen idealisierten geologischen Schnitt durch die Bohrpunkte BK 1 (2023) und BK 5 (2016), welcher das Baufeld randlich streift.

Die in die Beschreibung und Zuordnung der einzelnen Horizonte einfließenden bodenmechanischen Laboruntersuchungen enthält Anlage 3. In Anlage 6 ist das in Kernkisten ausgelegte Bohrgut der Bohrung BK 1 (2023) fotografisch dokumentiert.

Nachfolgend werden die erschlossenen Schichten vom Hangenden zum Liegenden beschrieben und kurz bautechnisch beurteilt.

Oberboden

Neben den vorhandenen Behältern befinden sich Grünflächen. Die obersten ca. 20 - 30 cm der Bodenabfolge werden durch einen künstlich aufgetragenen humosen Oberboden gebildet. Aus bautechnischer Sicht ist der Kulturboden ohne Bedeutung. Im Baubereich sind humose Deckschichten vollständig abzutragen und zur späteren Verwertung, z.B. zur Neuandekung von Grünflächen seitlich zu lagern. Eine Vermischung mit nicht humosen Aushubmassen sollte dabei vermieden werden.

Aufgrund der insgesamt vernachlässigbaren Menge an Aushub aus dieser Schicht erfolgte keine separate Untersuchung des Oberbodens hinsichtlich bodenmechanischer Kennwerte oder Schadstoffbelastung.

künstliche Auffüllungen

Unter der humosen Deckschicht schlossen sich am Bohrpunkt BK1 künstliche Auffüllungen an, welche bis in eine Tiefe von rund 0,70 m reichten. Hierbei handelt es sich um einen sehr heterogenen Horizont, welcher neben Kies, Sand und Schluff auch einzelne gerundete Steine (Flußschotter), Ziegel- und Betonreste enthält. Der Anteil an mineralischen Fremdstoffen (Bauschutt) lag im Bohrgut aber nach visueller Einschätzung deutlich unter 5%.

Innerhalb der aufgefüllten Schichten muß aber im Umfeld der vorhandenen Behälter bzw. der befestigten Verkehrsflächen mit uneinheitlichen Verhältnissen gerechnet werden (hinsichtlich Schichtstärke und Zusammensetzung). Auf Grundlage einer einzelnen Bohrung ist eine allgemeine Beurteilung der Auffüllungen nicht möglich.

Aus bautechnischer Sicht besitzen die Auffüllungen hier sicherlich nur geringe Bedeutung, die geplante Gründungstiefe der neuen Behälter liegt deutlich tiefer als die mit BK 1 erbohrte Schichtbasis. Auf bodenmechanische Laboruntersuchungen wurde deshalb verzichtet. Zur Planung der Verwertung bzw. Entsorgung von Aushubmassen aus diesem Horizont wurde aber die Schadstoffbelastung geprüft (Probe BK1-A).

Auelehm

Unter den gemischtkörnigen Auffüllungen wurde ein lehmig-toniger, mehr oder weniger sandiger Erdstoff erbohrt, welcher bis in eine Tiefe von ca. 2,40 m reichte (rund 246,4 mHN). Der Lehm Boden enthielt stw. organische Beimengungen und ganz vereinzelt gerundete Kiese (Flußkiese). Auch Ziegelspuren waren im Bohrgut erkennbar, diese können aber beim Vorbohren der Schutzverrohrung in größere Tiefen verfrachtet worden sein und dann später ins Bohrgut gelangen.

Ob dieser Horizont natürlich (durch Sedimentation in Hochwasserperioden) oder künstlich (durch Umlagerung bei Bauvorhaben bzw. einer Geländeregulierung) entstanden ist, kann anhand der überschaubaren Menge an Bohrgut nicht mit Sicherheit eingeschätzt werden. Falls es sich aber um künstlich aufgebrachtes Material handelt, besteht dieses weit überwiegend aus umgelagertem Auelehm. Da die Konsolidierung offensichtlich längst abgeschlossen ist, ist die Genese (künstlich oder natürlich) für die Baugrundbeurteilung ohne Bedeutung. Im weiteren Text wird diese Schicht einheitlich als "Auelehm" bezeichnet.

Anhand der Ermittlung der Kornverteilung besteht der Auelehm aus den folgenden Hauptbodenarten (gerundet auf volle %):

- 0% Steine
- 2% Kies
- 37% Sand
- 51% Schluff
- 9% Ton

Damit handelt es sich um einen überwiegend feinkörnigen, starkbindigen Erdstoff (alte BKL 4).

Die Zuordnung einer Bodengruppe erfolgt bei starkbindigen Böden anhand der Konsistenzgrenzen. Bei einer Fließgrenze von 37,09% Wassergehalt und einer Ausrollgrenze von 22,81% Wassergehalt handelt es sich um einen mittelpplastischen Ton (Bodengruppe TM). Bei einem natürlichen Wassergehalt der untersuchten Probe von 26,17% und einer daraus abzuleitenden Konsistenzzahl I_c von 0,76 weist das bindige Material steife Konsistenz auf ($I_c = 0,75 \dots 1,00$), die Tendenz geht aber stark in Richtung weiche Konsistenz ($I_c < 0,75$). Insbesondere in Richtung Schichtbasis (Grundwasserleiter) nimmt der Wassergehalt deutlich erkennbar zu, vgl. auch den Konsistenzbalken am Bohrprofil (Anlage 2).

Die vollständigen Laborberichte mit grafischer Auswertung der bodenmechanischen Laboruntersuchungen (Summenkurve, Plastizitätsdiagramm, Balkendiagramm Bildsamkeitsbereich) enthält Anlage 3.

Zur Festlegung von Bodenkennwerten sollte für diesen Horizont i.M. von einem Boden der Bodengruppe TM mit im Durchschnitt weicher bis steifer Konsistenz ausgegangen werden.

Flußkiese

Ab einem Niveau von 246,37 mHN (rund 2,40 m unter OK derzeitiges Gelände) wurden mit der Bohrung die Flußkiese bzw. Flußschotter der Zschopau angeschnitten. Die Schichtmächtigkeit betrug am Aufschlußpunkt etwas mehr als 3 m.

An einer Probe der Kiese (BK1-FK1) wurde die folgende Kornverteilung bestimmt:

- 0% Steine (im Probenmaterial!)
- 74% Kies
- 22% Sand
- 4% Feinkorn (Schluff + Ton)

Bei einer Ungleichförmigkeitszahl $U = d_{60} : d_{10} \approx 59$ können die Flußkiese als weitgestufter Kies klassifiziert werden (Bodengruppe GW). Außer Kies, Sand und Feinkorn enthalten die Flußkiese einzelne gerundete Gerölle (Flußschotter) in Steingröße. Anhand des erbohrten Materials kann der Steinanteil aber mit unter 10% abgeschätzt werden. Blöcke oder große Blöcke wurden nicht erbohrt, sind aber nicht mit absoluter Sicherheit auszuschließen.

Unter Einbeziehung der Ergebnisse von 2016 durch unser Büro auf dem Gelände der ZKA Frankenberg veranlaßten schweren Rammsondierungen weisen die Flußkiese eine dichte bis sehr dichte Lagerung auf (vgl. Anlage 2.1a, Schlagzahldiagramm DPH 5) und bilden damit einen Baugrund mit hoher Tragfähigkeit und extrem geringer Setzungsempfindlichkeit.

Ungünstig ist aber, daß die feinkornarme Kiesschicht mit ihrer hohen Wasserdurchlässigkeit (k_f -Wert der untersuchten Probe: $7,6 \cdot 10^{-3}$ m/s) einen ergiebigen Grundwasserleiter bildet und ohne vorausseilenden Verbau unter Grundwasserandrang zu fließen beginnt. Bei unvollständigem Verbau (d.h., nicht der gesamte Schichtquerschnitt wird durch Verbau abgeriegelt) besteht eine hohe Gefahr für das Auftreten eines hydraulischen Grundbruchs (Aufschwimmen der Baugrubensohle).

Das Anlegen von offenen Baugruben bis auf das Niveau der Flußkiese ist damit technisch anspruchsvoll und damit entsprechend kostenintensiv.

Felshorizont

Etwa 5,50 m unter OK Gelände (ca. 243,27 mHN) wurde mit der Bohrung das Festgestein (Grundgebirge) erreicht. Hierbei handelt es sich um plattige, graue Tonschiefer. Die obersten Zonen des Felses sind durch Verwitterung entfestigt bis zersetzt, das Material wurde beim Bohrvorgang und beim Ausdrücken des Bohrgutes aus dem Kernrohr weitestgehend zu einem kantigen Lockergestein aufgearbeitet.

Ab etwa 7 m unter OK Gelände war der Fels bereits so hart, daß ein weiterer Bohrfortschritt ohne Umrüstung der Bohranlage auf Spülkernbohrung nicht mehr möglich war. Die Bohrung wurde gemäß der Aufgabenstellung (sicherer Felsnachweis) in einer Tiefe von 7 m abgebrochen.

Für Flachgründungen bzw. als Auflager für die hangenden Lockergesteinsschichten kann der Fels - unabhängig vom Verwitterungsgrad - als starres (setzungsfreies) Auflager betrachtet werden.

3.2. Grundwasserverhältnisse

Mit Bohrung BK 1 (2023) wurde das Grundwasser in einer Tiefe von rund 2 bis 2,5 m unter OK Gelände angeschnitten (Übergangsbereich Flußkiese - Auelehm). Der exakte Anschnitt des Grundwasserspiegels ist bei einer verrohrten Kernbohrung nicht festzustellen, die unteren Zonen des Auelehms (zwischen etwa 2,0 und 2,3 m unter OK Gelände wiesen aber bereits einen deutlich erhöhten Wassergehalt auf (weiche Konsistenz). Nach Abschluß der Bohrung pendelte sich der Wasserspiegel im Bohrloch bei 2,23 m unter OK Gelände ein (246,54 mHN). Mit Bohrung BK 5 (2016) erfolgte der Anschnitt des Grundwassers fast exakt im gleiche Niveau (2,36 m unter OK Gelände bzw. 246,53 m HN).

Anhand der Bohrergebnisse ist davon auszugehen, daß die Flußkiese vollständig unterhalb des Grundwasserspiegels liegen. Die Basis des Auelehms liegt im sog. Grundwasserschwankungsbereich, hier können temporär auch gespannte Verhältnisse auftreten. Grundsätzlich ist im Einflußbereich der Zschopau mit schwankenden Grundwasserständen zu rechnen.

Inwiefern sich die vollständige Umpundung des ZKA-Geländes auf den Grundwasserspiegel auswirkt, ist nicht bekannt. Da die Umpundung den Grundwasserleiter nicht zu 100% abdichten wird, werden Schwankungen in Hochwasserperioden zwar sicherlich stark verzögert und absolute Spitzenstände (mit einem Austritt von Grundwasser an der Geländeoberfläche) innerhalb des umfaßten Bereiches verhindert, dennoch werden sich Schwankungen der Grundwasserverhältnisse außerhalb des ZKA-Geländes mit zeitlicher Verzögerung auch auf das Baufeld auswirken.

3.3. Schadstoffbelastung, Verwertung bzw. Entsorgung von Aushubmassen

Die Regelung der Verwertungsmöglichkeiten für anfallende Aushubmassen erfolgt ab dem 01.08.2023 nach der in der **Mantelverordnung** enthaltenen **Ersatzbaustoffverordnung** (Artikel 1 der Mantelverordnung). Da mit der Erteilung einer Baugenehmigung nach den uns vorliegenden Informationen erst nach diesem Stichtag zu rechnen ist, wurden die Schadstoffuntersuchungen bereits auf Basis der neuen gesetzlichen Grundlagen ausgeführt.

Für die Zuordnung von Grenzwerten ("Materialwerten") ist zunächst die Art des Ersatzbaustoffes festzulegen. Bodenaushub mit maximal 10% mineralischen Fremdstoffen (z.B. Bauschutt) ist der Materialgruppe BM zugeordnet, Erdstoffe mit einem Anteil von bis zu 50% mineralischen Fremdstoffen entsprechen der Materialgruppe BM-F. Die mit der Bohrung BK 1 gewonnenen Proben sind nach Augenschein durchgängig der **Materialgruppe BM** zuzuordnen. Der Anteil an mineralischen Fremdstoffen (meist als Ziegelreste) liegt nach visueller Einschätzung des Bohrgutes unter 10%.

In der nachfolgenden Tabelle erfolgt die Gegenüberstellung der Untersuchungsergebnisse der geprüften Proben mit den Grenzwerten für die Materialgruppe BM gemäß Mantelverordnung, Artikel 1, Anlage 1, Tabelle 3. Den vollständigen Laborbericht enthält Anlage 4.

Tabelle 2: Vergleich der Prüfergebnisse mit den Grenzwerten der Materialgruppe BM

Parameter	Dim.	Materialwerte für Materialart BM			Prüfergebnisse der Proben		
		BM - 0 ¹⁾	BM - 0 ²⁾	BM - 0*	BK1- A	BK1- AL	BK1- FK
el. LF	µS/cm	-	-	350	55	206	124
Sulfat	mg/l	250	250	250	8	74	21
Arsen	mg/kg	10	20	20	158	111	48,2
Arsen	µg/l	-	-	8	190	366	31
Blei	mg/kg	40	70	140	355	87	93
Blei	µg/l	-	-	23	1.060	16	21
Cadmium	mg/kg	0,4	1	1	2,3	0,8	0,9
Cadmium	µg/l	-	-	2	3,3	0,3	0,4

Parameter	Dim.	Materialwerte für Materialart BM			Prüfergebnisse der Proben		
		BM - 0 ¹⁾	BM - 0 ²⁾	BM - 0*	BK1- A	BK1- AL	BK1- FK
Chrom ges.	mg/kg	30	60	120	33	28	18
Chrom ges.	µg/l	-	-	10	11	2	2
Kupfer	mg/kg	20	40	80	55	41	35
Kupfer	µg/l	-	-	20	98	13	12
Nickel	mg/kg	15	50	100	25	25	18
Nickel	µg/l	-	-	20	14	3	3
Quecksilber	mg/kg	0,2	0,3	0,6	0,19	0,15	< 0,07
Quecksilber	µg/l	-	-	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Thallium	mg/kg	0,5	1	1	0,3	0,3	< 0,2
Thallium	µg/l	-	-	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zink	mg/kg	60	150	300	349	167	180
Zink	µg/l	-	-	100	430	20	10
TOC	M.-%	1	1	1	0,8	1,6	0,3
KW`s	mg/kg	-	-	300	< 40	< 40	< 40
Benzo(a)-pyren	mg/kg	0,3	0,3	-	0,35	n.n.	< 0,05
PAK ₁₅	µg/l	-	-	0,2	0,096	0,005	0,030
PAK ₁₆	mg/kg	3	3	6	4,56	0,025	0,275
Naphthalin	µg/l	-	-	2	< 0,05	n.n.	n.n.
PCB ₆ +PCB 118	mg/kg	0,05	0,05	0,1	n.b.	n.b.	n.b.
PCB ₆ +PCB 118	µg/l	-	-	0,01	n.b.	n.b.	0,005
EOX	mg/kg	1	1	1	< 1	< 1	< 1

¹⁾ ... sandige bzw. kiesig-sandige Böden (nichtbindig), Vergleichswerte für d. Proben MP- A und MP- FK

²⁾ ... lehmige oder lehmig-sandige Böden (bindig), Vergleichswerte für die Probe MP- AL

Infolge der zahlreichen Überschreitungen von Grenzwerten (siehe Hervorhebung in der Tabelle durch Fett- bzw. Kursivdruck) ist keiner der untersuchten Erdstoffe den hinsichtlich einer Verwertung günstigsten Materialarten BM-0 bzw. BM-0* zuzuordnen. In solchen Fällen wird der Aushub den Materialarten BM-F0* bis BM-F3 zugeordnet (Böden mit bis zu 50% mineralischen Fremdstoffen. In Tabelle 3 erfolgt die Gegenüberstellung der Prüfergebnisse mit den Grenzwerten für die Materialart BM-F.

Tabelle 3: Vergleich der Prüfergebnisse mit den Grenzwerten der Materialgruppe BM-F

Parameter	Dim.	Materialwerte für Materialart BM-F				Prüfergebnisse der Proben		
		BM - F0*	BM - F1	BM - F2	BM - F3	BK1- A	BK1- AL	BK1- FK
pH-Wert	-	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	6,5 - 9,5	5,5 - 12	6,6	5,7	7,4
el. LF	µS/cm	350	500	500	2.000	55	206	124
Sulfat	mg/l	250	450	450	1.000	8	74	21
Arsen	mg/kg	40	40	40	150	158	111	48,2
Arsen	µg/l	12	20	85	100	190	366	31

Parameter	Dim.	Materialwerte für Materialart BM-F				Prüfergebnisse der Proben		
		BM - F0*	BM - F1	BM - F2	BM - F3	BK1- A	BK1- AL	BK1- FK
Blei	mg/kg	140	140	140	700	355	87	93
Blei	µg/l	35	90	250	470	1.060	16	21
Cadmium	mg/kg	2	2	2	10	2,3	0,8	0,9
Cadmium	µg/l	3	3	10	15	3,3	0,3	0,4
Chrom ges.	mg/kg	120	120	120	600	33	28	18
Chrom ges.	µg/l	15	150	290	530	11	2	2
Kupfer	mg/kg	80	80	80	320	55	41	35
Kupfer	µg/l	30	110	170	320	98	13	12
Nickel	mg/kg	100	100	100	350	25	25	18
Nickel	µg/l	30	30	150	280	14	3	3
Quecksilber	mg/kg	0,6	0,6	0,6	5	0,19	0,15	< 0,07
Thallium	mg/kg	2	2	2	7	0,3	0,3	< 0,2
Zink	mg/kg	300	300	300	1.200	349	167	180
Zink	µg/l	150	160	840	1.600	430	20	10
TOC	M.-%	5	5	5	5	0,8	1,6	0,3
KW`s	mg/kg	300	300	300	1.000	< 40	< 40	< 40
PAK ₁₅	µg/l	0,3	1,5	3,8	20	0,096	0,005	0,030
PAK ₁₆	mg/kg	6	6	9	30	4,56	0,025	0,275

Auf Grundlage der durchgeführten Untersuchungen sind mögliche **Aushubmassen aus den Flußkiesen** (Probe BK1-FK) aufgrund des Arsengehaltes im Feststoff der **Materialart BM - F3** zuzuordnen. Verwertungsmöglichkeiten für konkrete Einbaubedingungen sind in Artikel 1, Anlage 2, Tabelle 8 der Mantelverordnung geregelt.

Bodenaushub aus den darüberliegenden Bodenzonen (entspr. Proben BK1-A und BK1-AL) überschreiten dagegen für Arsen (beide Proben) und Blei (Probe BK1-A) den Grenzwert für die Materialart BM - F3 (Hervorhebung durch Fettdruck) und sind deshalb **nicht** als "Bodenmaterial mit bis zu 50% mineralischen Fremdbestandteilen" **verwertungsfähig**. Es handelt sich hierbei also nicht um sog. Ersatzbaustoffe.

Sofern keine Sondergenehmigung für einen Wiedereinbau erlangt werden kann, sind Aushubmassen aus diesen Horizonten zu **entsorgen**. Anhand der geprüften Parameter (siehe Tabellen 2 bzw. 3) ist von einer Einstufung in **Deponieklasse III** auszugehen (DK III), entsprechend Mantelverordnung, Artikel 3 ("Änderung der Deponieverordnung").

Zur endgültigen Festlegung einer Deponieklasse sind jedoch noch Ergänzungsuntersuchungen nach Deponieverordnung erforderlich. Die benötigten Proben hierfür dürfen nach LAGA PN 98 nur aus Haufwerken entnommen werden (Zwischenlager der Aushubmassen). Eine Beprobung an in situ (z.B. aus Bohrungen) gewonnenen Proben ist ausdrücklich nicht zulässig, da hierbei die Homogenität des Bodenmaterials sowie das zu erwartende Größtkorn nicht zuverlässig beurteilt werden kann.

Anmerkung: Auch nach der aktuell noch gültigen TR LAGA wären Böden mit solch hohen Schwermetallgehalten nicht verwertungsfähig und müßten entsorgt werden, sofern keine Sondergenehmigung für einen Wiedereinbau vor Ort erteilt werden kann.

Für die Planung der Verwertung, Entsorgung bzw. des Umgangs mit dem anfallenden Bodenaushub ist die Einschätzung von Bedeutung, ob es sich bei dem Bodenmaterial um **gefährliche Abfälle** i.S.d. Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung, kurz "AVV") handelt.

Im §3 AVV wird festgelegt, daß eine besondere Überwachungsbedürftigkeit von Abfällen ("gefährliche Abfälle") dann vorliegt, wenn diese eine oder mehrere der in Anhang III der Richtlinie 91/689/EWG aufgeführten Eigenschaften oder Merkmale enthält (ätzend, leicht entzündlich, explosionsgefährdet, radioaktiv, giftig, krebserzeugend, erbgutverändernd, fortpflanzungsgefährdend ...).

In den untersuchten Proben sind in maßgeblichen Mengen die folgenden Schadstoffe enthalten, welche als gefährliche Substanzen im obigen Sinne gelten:

- Arsen/Arsenverbindungen (91/689/EWG, Anhang II, Punkt C8)
- Blei/Bleiverbindungen (91/689/EWG, Anhang II, Punkt C18)

Diese Stoffe werden als stark toxisch eingeordnet. Gemäß AVV, § 3, Absatz 3 sind Abfälle mit solchen Inhaltstoffen dann als besonders überwachungspflichtige Abfälle einzustufen, wenn der Anteil solcher Substanzen mehr als 0,1% der Gesamtmasse des Abfalles beträgt (Gesamtkonzentration > 0,1%).

Dies würde einem Blei- oder Arsengehalt von 1.000 mg/kg Ursubstanz entsprechen (1 g/kg). Diese Schadstoffgehalte werden auch in Summe (Arsen + Blei) in keiner der untersuchten Proben erreicht. **Insofern handelt es sich bei dem als Aushub anfallenden Bodenmaterial nicht um besonders überwachungspflichtige Abfälle i.S.d. AVV ("gefährliche Abfälle").**

4. Bodengruppen und Bodenkennwerte

Für die mit der Bohrung erschlossenen Bodenschichten können die in Tabelle 4 angegebenen Bodenkennwerte verwendet werden (als Mittelwerte, nach DIN 1055, Teil 2, und eigenen Erfahrungen).

Tabelle 4: Bodenkennwerte für die maßgeblichen Horizonte

Schicht	Boden- gruppe	Wichte [kN/m³]	Reibungs- winkel [°]	Kohäsion [kN/m²]	Steifemo- dul [MN/m²]
Oberboden , humos, steif	OU	17,0	20,0	20	3
Auffüllungen , mitteldicht	GU	21,0	35,0	0	25
Auelehm ¹⁾ , steif	TM	19,0	25,0	15	4
Auelehm ²⁾ , weich	TM	18,0	25,0	5	1
Flußkiese , dicht-sehr dicht	GW	21,0	40,0	0	200
Tonschiefer , verwittert	(Z _v)	25,0	einaxiale Druckfestigkeit > 5 MN/m²		

¹⁾ ... evtl. teilweise aufgefüllt, aber inzwischen vollständig konsolidiert, bis etwa 2 m unter OK Gelände

²⁾ ... ab etwa 2 m unter OK Gelände

5. Homogenbereiche

5.1. Allgemeine Festlegungen

Gemäß aktueller VOB sind die erschlossenen Horizonte zur Ausschreibung und Abrechnung von Bauleistungen zu sog. *Homogenbereichen* zusammenzufassen. Innerhalb eines Homogenbereiches kann der Bauunternehmer bezüglich des gewählten Bauverfahrens von hinreichend einheitlichen (homogenen) Baugrundverhältnissen ausgehen. Für die festgelegten Homogenbereiche sind zur Kalkulation der Bauleistungen Grenzen für maßgebliche Kenngrößen des Bodens anzugeben.

Nachfolgend werden Homogenbereiche für Bauverfahren entsprechend der ATV-DIN 18300 (allgemeiner Tiefbau, z.B. Baugrubenaushub), der ATV-DIN 18301 (Bohrarbeiten) sowie der ATV-DIN 18304 (Ramm-, Rüttel- und Preßarbeiten) festgelegt (zur evtl. erforderlichen Herstellung eines Verbaus). Für den allgemeinen Tiefbau (Aushub der Baugrube innerhalb des Verbaus) gehen wir davon aus, daß es sich um eine Baumaßnahme der Geotechnischen Kategorie 1 handelt. Für Maßnahmen des Spezialtiefbaus erfolgt keine Unterscheidung in Geotechnische Kategorien.

5.2. Homogenbereiche für allgemeinen Tiefbau, geotechnische Kategorie 1

Homogenbereich A: Oberboden (humos, künstlich aufgebracht)

- Korngrößenverteilung: 0 - 10% Kies, 20 - 50% Sand, 40 - 80% Feinkorn
- Anteil an Steinen: 0 %
- Anteil an Blöcken und großen Blöcken: 0 %
- Konsistenz: weich, steif oder halbfest (witterungsabhängig!)
- Anteil organischer Substanzen: 3 - 8% (mäßig bis stark organisch)
- Bodengruppe: OU
- Materialart nach Mantel-VO, Artikel 1: keine (kein Ersatzbaustoff)

Homogenbereich B: künstliche Auffüllungen

- Korngrößenverteilung: 30 - 70% Kies, 20 - 50% Sand, 10 - 40% Feinkorn
- Anteil an Steinen: < 20 %
- Anteil an Blöcken und großen Blöcken: 0 %
- Lagerungsdichte: mitteldicht
- Anteil organischer Substanzen: 0 - 3% (nicht bis schwach organisch)
- Bodengruppe: GU
- Materialart nach Mantel-VO, Artikel 1: keine Zuordnung (vermutl. DK III)

Homogenbereich C: Auelehm (evtl. teilweise künstlich aufgefüllt)

- Korngrößenverteilung: 0 - 5% Kies, 30 - 50% Sand, 50 - 70% Feinkorn
- Anteil an Steinen: 0%
- Anteil an Blöcken/großen Blöcken: 0%
- Konsistenz: weich (i.b. an der Schichtbasis) oder steif
- Anteil organischer Substanzen: 0 - 3% (nicht bis schwach organisch)
- Bodengruppe: TM, evl. stw. auch SU* oder ST*
- Materialart nach Mantel-VO, Artikel 1: keine Zuordnung (vermutl. DK III)

Homogenbereich D: Flußkiese

- Korngrößenverteilung: 60 - 80% Kies, 20 - 30% Sand, < 10% Feinkorn
- Anteil an Steinen: < 10 %

- Anteil an Blöcken und großen Blöcken: 0 % (ausgehend von den Bohrergebnissen)
- Lagerungsdichte: dicht bis sehr dicht
- Anteil organischer Substanzen: 0% (nicht organisch)
- Bodengruppe: GW
- Materialart nach Mantel-VO, Artikel 1: BM - F3

Homogenbereich E: Fels (obere, mit der Bohrung erschlossene Zonen)

- Benennung des Felses: Tonschiefer
- Verwitterung/Veränderlichkeit: angewittert bis stark verwittert, stark veränderlich
- Trennflächenrichtung: unbekannt (nur mit Pilotbohrung zu ermitteln)
- Trennflächenabstand: unbekannt (nur mit Spülkernbohrung zu ermitteln)
- Gesteinskörperform beim Lösen: plattig

Aufteilung des anfallenden Aushubes auf die o.g. Homogenbereiche

Wie sich die Aushubmassen prozentual auf die Homogenbereiche verteilen, hängt maßgeblich von der gewählten Gründungstiefe ab und kann daher nicht pauschal abgeschätzt werden. Da die stark wasserführenden Kiese möglichst nicht angeschnitten werden sollten (tiefste Gründungssohle = OK Flußkiese!), werden sich die anfallenden Erdmassen beim Baugrubenaushub aber ausschließlich aus den Homogenbereichen A, B und C zusammensetzen.

5.3. Homogenbereiche für Bohrarbeiten

Homogenbereich A: obere Zone der Lockergesteinsdeckschichten
(Oberbodendeckschicht/künstliche Auffüllungen/Auelehm)

- Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern: siehe Anlage 3, Probe BK1-AL2
- Anteil an Steinen: < 20% (in den Auffüllungen)
- Anteil an Blöcken: 0% (im Felszersatz)
- Anteil an großen Blöcken: 0%
- Kohäsion: 0 - 20 kN/m²
- undrainierte Scherfestigkeit: $c_u = 10 - 20 \text{ kN/m}^2$
- Wassergehalt: 10 - 30%
- Konsistenzzahl/Plastizitätszahl: siehe Anlage 3, Probe BK1-AL1
- Abrasivität: gering (Oberboden, Auelehm) bis mittel (Auffüllungen)
- Bodengruppen: OU, TM, GU, GU*
- ortsübliche Bezeichnung: s.o.

Homogenbereich B: untere Zone der Lockergesteinsdeckschichten
(Flußkiese)

- Korngrößenverteilung mit Körnungsbändern: siehe Anlage 3, Probe BK1-FK
- Anteil an Steinen: < 10%
- Anteil an Blöcken: 0%
- Anteil an großen Blöcken: 0%
- Kohäsion: 0 - 10 kN/m²
- undrainierte Scherfestigkeit: $c_u = 20 - 40 \text{ kN/m}^2$
- Wassergehalt: > 20% (wassergesättigt)
- Lagerungsdichte: dicht bis sehr dicht
- Abrasivität: mittel bis hoch
- Bodengruppe: GW, evtl. stw. GU
- ortsübliche Bezeichnung: Flußkiese, bei höherem Steinanteil Flußschotter

Homogenbereich C: Fels (obere, mit der Bohrung erschlossene Zonen)

- Benennung des Felses: Tonschiefer
- Verwitterung: angewittert bis verwittert
- Druckfestigkeit: $> 5 \text{ MN/m}^2$ (mürbes Gefüge, mit zunehmender Tiefe härter)
- Trennflächenrichtung: unbekannt
- Trennflächenabstand: unbekannt, vermutlich 5 - 10 cm (dünn- bis dickplattig)
- Gesteinskörperform: plattig, tafelartig
- Abrasivität: hoch, in Tiefen ab mehr als 7 m sehr hoch

Aufteilung der Bohrmeter auf die o.g. Homogenbereiche

Wie sich bei Bohrarbeiten die Bohrstrecke auf die o.a. Homogenbereiche verteilt, kann ohne Kenntnis der geplanten Bohrtiefen nicht angegeben werden. Eine Abschätzung ist aber - falls Bohrarbeiten vorgesehen werden - anhand des mit der Erkundungsbohrungen ermittelten Aufschlußprofils möglich.

5.4. Homogenbereiche für Ramm-, Rüttel- und Preßarbeiten

Eine Abgrenzung und ausführliche Beschreibung von Homogenbereichen für Ramm-, Rüttel- und Preßarbeiten erfolgte in unserem Geotechnischen Bericht GU-16031 vom 27.04.2016 (Bauvorhaben: vollständige Einschließung des ZKA-Standortes mit einer Spundwand). Dieser Bericht liegt dem Auftraggeber und dem Planungsbüro vor bzw. kann auf Nachfrage gern durch unser Büro zur Verfügung gestellt werden. Zur Begrenzung des Umfangs des nunmehr ausgefertigten Berichtes soll auf eine nochmalige Darstellung der Homogenbereiche für diese Bauverfahren verzichtet werden.

6. Gründungsberatung

6.1. allgemeine Einschätzung der Baugrundverhältnisse

Insgesamt sind die Baugrundverhältnisse am untersuchten Standort als **schwierig** einzuschätzen. Dies beruht auf den folgenden Sachverhalten:

1. Heterogenität

Bedingt durch die Vornutzung des Geländes (jüngere Auffüllungen) und die zu vermutende großflächige Geländeregulierung (ältere Auffüllungen) muß i.b. in den oberen Bodenzonen mit sehr uneinheitlichen Untergrundverhältnissen gerechnet werden. Auch die durchgängig aus Flußsedimenten bestehenden oberen Zonen der natürlichen Bodenabfolge sind uneinheitlich ausgebildet (Auelehm - z.T. Schwemmsand - Flußkiese bzw. Flußschotter).

Zusätzlich kommt am Standort der geplanten Silos hinzu, daß ein Teil des Baufeldes schon lange Zeit mit ähnlichen Bauwerken überbaut ist, in diesen Teilbereichen dürften die bindigen Schichten bereits weitgehend konsolidiert sein (Setzungen sind abgeklungen). Anhand einer einzelnen Bohrung ist daher die Einschätzung des gesamten, insgesamt etwa 500 m^2 umfassenden Baufeldes recht unsicher.

2. Setzungsempfindlichkeit der oberen, bindigen Bodenschicht

Bis in eine Tiefe von ca. 2,40 m besteht der Baugrund am Standort der Bohrung BK 1 aus einem bindigen Lehmboden (Auelehm, evtl. teilweise aufgefüllt). Tragfähigkeit und insbesondere Setzungsempfindlichkeit bindiger Schichten werden maßgeblich

vom Wassergehalt bestimmt (Konsistenz). Diese war über den gesamten Schichtquerschnitt nicht einheitlich. Ferner können sich die Wassergehalte in Abhängigkeit von den Witterungs- und Grundwasserverhältnissen ändern. In Richtung der östlichen Grenze des Baufeldes (siehe Anlage 2.2) scheint die Mächtigkeit der lehmigen Deckschicht sogar noch etwas zuzunehmen.

3. ungünstige Grundwasserverhältnisse

Die mit Bohrung BK 1 ab ca. 2,40 m unter OK Gelände erschlossenen groben Flußkiese bzw. Flußschotter bilden zwar einen tragfähigen und nicht setzungsempfindlichen Baugrund, liegen aber vollständig unterhalb des Grundwasserspiegels.

Da unter bindigen Deckschichten (Auelehm) zeitweise mit gespannten Verhältnissen gerechnet werden muß, besteht beim schrittweisen Abtrag dieser Deckschicht die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs. Diese Gefahr steigt mit der fortschreitenden Entfernung der Deckschicht stark an. Wenn die Masse der noch verbleibenden Decke geringer ist als der Druckunterschied im Grundwasserleiter, kann die Baugrubensohle plötzlich aufschwimmen. Dabei werden die oberen Zonen der Flußkiese stark aufgelockert und vermischen sich mit den Resten der lehmigen Deckschicht zu einer schlammigen Masse. Dadurch wird die Baugrubensohle völlig zerstört.

Unabhängig von den materiellen Schäden besteht in solche Fällen auch eine erhebliche Gefahr für Personen, welche sich evtl. zu diesem Zeitpunkt in der Baugrube aufhaltenden! Ein weitgehender Abtrag der lehmigen Deckschichten (geplante Gründungsvariante 1) kann nur erfolgen, wenn zunächst eine Absenkung des Grundwasserspiegels vorgenommen wird (das Baufeld umfassende Brunnenstaffel).

Aufgrund der starken Wasserführung in den Flußkiesen ist davon auszugehen, daß die zu lösende Wassermenge hoch sein wird und der Absenktrichter eine erhebliche Ausdehnung annimmt. Hierdurch können ggf. bauliche Anlagen im Umfeld gefährdet werden. Auf jeden Fall ist zur Planung einer solche Grundwasserabsenkung eine vorherige hydrogeologische Untersuchung erforderlich (Kurzpumpversuche).

4. Standfestigkeit von Bauzeitböschungen

Offen Baugruben sind in den aufgeweichten unteren Zonen der lehmigen Deckschicht (Grundwasserschwankungsbereich) sowie in den kohäsionslosen Kiesen nicht standfest und müssen vorauseilend verbaut werden, was i.d.R. mit erheblichen Zusatzkosten verbunden ist.

5. problematische Verwertung bzw. Entsorgung von Aushubmassen

Die am Standort der Bohrung angetroffenen Auffüllungen sowie der Auelehm weisen erhebliche anthropogene bzw. natürliche Schadstoffgehalte auf, welche eine Verwertung bzw. Entsorgung verteuern. Bei der Wahl der Gründungsform der Silos sollte daher ein besonderes Augenmerk darauf gelegt werden, die Menge des anfallenden Bodenaushubes so gering wie möglich zu halten.

Seitens des Planungsbüros wurden zwei verschiedene Gründungsmöglichkeiten vorgesehen, welche in den nachfolgenden Abschnitten einzeln bewertet werden sollen. Desweiteren werden 2 alternative Gründungsmöglichkeiten untersucht. Im Abschnitt 6.6 werden die Vor- und Nachteile aller Gründungsvarianten gegenübergestellt.

6.2. Variante 1: Gründung im Auelehm - Einbindetiefe 2 m unter OK Gelände

Die Gründung der Behälter erfolgt in diesem Fall in den unteren Zonen der Auelehm-deckschicht (ca. 246,8 mHN). Ausgehend vom Bohrprofil BK 1 (2023) ergibt sich das folgende Baugrundmodell (Tiefenangaben in Meter unter Bodenplatte):

0,00 - 0,20 m:	Auelehm, Bodengruppe TM, i.M. steifplastisch
0,20 - 0,40 m:	Auelehm, Bodengruppe TM, i.M. weich
0,40 - 3,50 m:	Flußkiese, Bodengruppe GW, dicht bis sehr dicht gelagert
> 3,50 m:	Fels (Grenztiefe für Grundbruch-Setzungs-Berechnungen)

Der bei einer Einbindetiefe von 2 m auf der Gründungssohle lastende Überlagerungsdruck der durchstoßenen Schichten kann mit rund $2,0 \text{ m} \cdot 19,0 \text{ kN/m}^3$ (Mittelwert humose Deckschicht und künstliche Auffüllungen) mit 38 kN/m^2 abgeschätzt werden.

Der bei vollständiger Füllung des Silos mit Schlamm (angenommene Wichte für einen breiigen bis weichen Erdstoff: 14 kN/m^3) auf die Bodenplatte ausgeübte Druck beträgt bei einem 4,50 m hohen Silo 63 kN/m^2 . Unter Berücksichtigung des Bauwerksgewichtes (Masse von Bodenplatte, Behälter und Abdeckung) sollte die auf den Baugrund ausgeübte Bodenpressung bei vollständig gefülltem Silo etwa 80 kN/m^2 erreichen.

Unter der Annahme, daß die Bodenplatte bei dieser nur moderaten Belastung kaum deformiert wird (biegesteife Platte), wurde für das o.g. Baugrundmodell eine Grundbruch-Setzungs-Berechnung ausgeführt. Da das verwendete Programm nur die Berechnung rechteckförmiger Gründungen zuläßt, erfolgt die Ermittlung der Gründungskennwerte für eine kreisrunde Bodenplatte näherungsweise über die Grundfläche. Eine Silogrundfläche mit 17 m Durchmesser (227 m^2) verhält sich dann flächenmäßig wie eine quadratische Bodenplatte mit einer Kantenlänge von 15 m (225 m^2).

Die grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse (sog. Fundamentdiagramm) enthält Anlage 5.1.

Aus den blauen Setzungskurven ist ersichtlich, daß die **zu erwartenden Setzungen** des Baugrundes für eine Bodenplatte mit ca. 230 m^2 Grundfläche (Durchmesser 17 m bzw. $15 \times 15 \text{ m}$) bei einer Bodenpressung von 80 kN/m^2 (Hervorhebung durch rote gestrichelte Linien) bei **ca. 2 cm** liegen.

Ein völliges Versagen des Baugrundes (Grundbruch) ist bei einer Bodenplatte dieser Größe und einer Mächtigkeit der zusammendrückbaren Bodenschichten von weniger als 4 m mit Sicherheit auszuschließen. Die **zulässige Bodenpressung** (im Fundamentdiagramm nicht mehr mit dargestellt) liegt anhand der Berechnungsergebnisse bei **über 1.000 kN/m^2** .

Der **Bettungsmodul** (zur Bemessung der Bodenplatte) kann aus der Setzungsrechnung mit $k_s = \sigma : s = 80 \text{ kN/m}^2 : 0,02 \text{ m} = 4.000 \text{ kN/m}^3$ abgeschätzt werden. Der relativ geringe Bettungsmodul erfordert eine entsprechend bemessene Bodenplatte.

6.3. Variante 1a: Gründung im Auelehm - Einbindetiefe nur 1 m unter OK Gelände

Da bei Variante 1 erhebliche Probleme mit der Wasserhaltung und Baugrubensicherung zu erwarten sind, und auch eine erhebliche, sehr schwierig zu verwertende bzw. zu entsorgende Menge an Bodenaushub anfällt, wurde als zusätzliche Gründungs-

variante eine Gründung der Behälter mit der geringstmöglichen Einbindetiefe untersucht (1 m, frostfrei). In diesem Fall liegt die Gründungssohle sicher über dem Grundwasserschwankungsbereich, eine Wasserhaltung ist somit nicht erforderlich und die Baugrube muß nicht vorauseilend gesichert werden (hinreichend standfest). Auch die Gefahr eines hydraulischen Grundbruchs besteht in diesem Fall nicht, die Auflast der verbleibenden Auelehmdeckschicht ist hinreichend groß, um dem Druck des mäßig gespannten Grundwassers zu widerstehen.

Nachteilig ist bei dieser Gründungsform jedoch, daß die Mächtigkeit des zusammen-drückbaren Auelehmhorizontes um 1 m größer ist als bei Variante 1.

Das Baugrundmodell ergibt sich in diesem Fall wie folgt:

0,00 - 1,20 m:	Auelehm, Bodengruppe TM, i.M. steifplastisch
1,20 - 1,40 m:	Auelehm, Bodengruppe TM, i.M. weich
1,40 - 4,50 m:	Flußkiese, Bodengruppe GW, dicht bis sehr dicht gelagert
> 4,50 m:	Fels (Grenztiefe für Grundbruch-Setzungs-Berechnungen)

Der bei einer Einbindetiefe von 1 m auf der Gründungssohle lastende Überlagerungsdruck der durchstoßenen Schichten kann mit rund $1,0 \text{ m} \cdot 19,0 \text{ kN/m}^3$ (Mittelwert humose Deckschicht und künstliche Auffüllungen) mit 19 kN/m^2 abgeschätzt werden.

Bei Annahme einer zu Variante 1 analogen Bodenpressung von 80 kN/m^2 liegen die zu **erwartenden Setzungen bei rund 4 cm** (Fundamentdiagramm: Anlage 5.2).

Ein völliges Versagen des Baugrundes (Grundbruch) ist auch bei dieser Gründungstiefe sicher auszuschließen, die **zulässige Bodenpressung** kann ebenfalls mit **über 1.000 kN/m^2** angegeben werden.

Der **Bettungsmodul** (zur Bemessung der Bodenplatte) kann aus der Setzungsbe-rechnung mit $k_s = \sigma : s = 80 \text{ kN/m}^2 : 0,04 \text{ m} = 2.000 \text{ kN/m}^3$ abgeschätzt werden. Der nur geringe Bettungsmodul erfordert in diesem Fall eine relativ starke Bodenplatte.

6.4. Variante 2: Gründung in den Flußkiesen - Einbindetiefe 4 m unter OK Gelände

Für diese Gründungsform müssen die hangenden bindigen Schichten (Auelehm, evtl. künstliche Auffüllungen) vollständig und die Flußkiese teilweise abgetragen werden. Die Bodenplatte der Behälter liegt dann vollflächig auf den dicht bis sehr dicht gela-gerten weitgestuften Flußkiesen auf.

In diesem Fall (Einbindetiefe 4 m) ergibt sich ein auf der Gründungssohle lastender Überlagerungsdruck von rund $\sigma_u = 4 \text{ m} \cdot 19 \text{ kN/m}^3 = 76 \text{ kN/m}^2$. Die zusammendrück-bare Lockergesteinsdeckschicht besteht nur noch aus den Flußkiesen (Restschicht-stärke entspr. BK 1: ca. 1,50 m; Steifemodul $E_s = 200 \text{ MN/m}^2$).

Anlage 5.3 enthält das Fundamentdiagramm für diese Gründungsvariante.

Ausgehend von den Berechnungsergebnissen liegen die zu erwartenden **Setzungen** des Baugrundes **noch unterhalb von 1 mm**, diese Gründung ist damit faktisch als setzungsfrei einzuschätzen. Ein Grundbruch ist hier ebenfalls auszuschließen, die **zulässige Bodenpressung überschreitet 5.000 kN/m^2** .

Der **Bettungsmodul** kann mit $k_s = \sigma : s = 135 \text{ kN/m}^2 : 0,001 \text{ m} = 135 \text{ MN/m}^3$ abgeschätzt werden, die Bodenplatte kann damit entsprechend dünn gehalten werden.

6.5. Variante 3: Tiefgründung in geschlossener Bauweise (Bohrpfähle)

Um die Vorteile der in den Abschnitten 6.2 - 6.4 untersuchten Gründungsvarianten zu verknüpfen, ist als weitere Alternative auch eine kombinierte Bohrpfahl-Plattengründung möglich. In diesem Fall liegen die Behältersohlen ebenfalls in den oberen Bodenschichten (wie bei Variante 1a), die Bauwerkslasten werden aber über Bohr- (bzw. auch Rammpfähle) in die tiefer liegenden tragfähigen Bodenschichten abgetragen. Zur Einbindung der Pfahlköpfe in die Bodenplatte ist ein Pfahlrost erforderlich.

Hierbei ist aber auch mit erheblichen Gründungskosten zu rechnen. Für die ordnungsgemäße Bemessung der Pfähle (Anzahl, Durchmesser, Pfahlänge) sind darüber hinaus weitere Baugrunduntersuchungen erforderlich.

Diese sollten das Grundgebirge an mehreren Stellen erreichen. Zusätzlich sollte die Druckfestigkeit des Felses, welcher die Pfähle aufnehmen muß, an Felsproben (Bohrkernstücke) im Prüflabor ermittelt werden. Zur Gewinnung geeigneter Felsproben sind auf jeden Fall Spülkernbohrungen notwendig.

6.6. Variantenvergleich und abschließende Gründungsempfehlungen

In der nachfolgenden Tabelle sind zur Entscheidungsfindung nochmals die Vor- und Nachteile der einzelnen Gründungsvarianten gegenübergestellt.

Tabelle 5: Vergleich der technisch möglichen Gründungsvarianten

Variante	Vorteile	Nachteile
1	<ul style="list-style-type: none"> - Setzungen geringer als bei Variante 1a - Aushubmengen niedriger als bei Variante 2 	<ul style="list-style-type: none"> - Setzungen moderat bis hoch (ca. 2 cm) - Baugrubenverbau und evtl. auch Wasserhaltung erforderlich - weitere Untersuchungen erforderlich - große Gefahr für hydraulischen Grundbruch, wenn keine Grundwasserabsenkung durchgeführt wird
1a	<ul style="list-style-type: none"> - geringste Menge an Bodenaushub aller Varianten, dadurch geringste Entsorgungskosten - keine Wasserhaltung erforderlich - kein Baugrubenverbau erforderlich 	<ul style="list-style-type: none"> - Baugrundeinschätzung relativ unsicher (obere Zonen heterogen und wasserempfindlich) - Setzungen hoch (ca. 4 cm, ggf. noch etwas mehr) - dicke Bodenplatte erforderlich
2	<ul style="list-style-type: none"> - Baugrundverhältnisse in tieferen Zonen (Flußkiese) relativ einheitlich, Böden sind nicht wasserempfindlich - Gründung ist praktisch setzungsfrei - dünne Bodenplatte möglich 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Zusatzkosten für Entsorgung/Verwertung (größte Aushubmenge) - Zusatzkosten für Wasserhaltung bzw. Grundwasserabsenkung und Baugrubensicherung - weitere Untersuchungen erforderlich
3	<ul style="list-style-type: none"> - insgesamt moderate Menge an Bodenaushub (hier Bodenaushub + Bohrgut) - keine Wasserhaltung, kein Verbau - praktisch setzungsfrei 	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Zusatzkosten für Bohrpfähle und Pfahlrostsystem - weitere Untersuchungen erforderlich

Aus geotechnischer Sicht stellt die Variante 1a (Gründung auf einer starken Bodenplatte in den oberen Zonen des Auelehms) vermutlich die sinnvollste Gründungsform dar. Die geplanten Behälter sind mit einem Durchmesser von 17 m und einer Höhe von ca. 4,50 m keine "hohen, schlanken Bauwerke", so daß moderate Setzungsdifferenzen keine gefährliche außermittige Belastung ergeben und auch optisch nicht wahrzunehmen sind.

Durch die Nutzung als reine Lagerbehälter führt eine Setzung des Baugrundes von bis zu etwa 4 cm - welche erst nach vollständiger Konsolidierung eintritt - sicherlich nicht zu unlösbaren Problemen, so daß die gegenüber den anderen Gründungsformen erheblichen Kosteneinsparungen vermutlich das entscheidende Argument für diese Form der Behältergründung bilden.

Alle anderen untersuchten Varianten bedingen erhebliche Zusatzkosten, i.b. für die Wasserhaltung bzw. temporäre Absenkung des Grundwasserspiegels sowie für die komplizierte Verwertung bzw. Entsorgung der Aushubmassen (Varianten 1, 2) bzw. für die Herstellung der Bohrpfähle und des Pfahlrostes (Variante 3).

Die endgültige Entscheidung muß aber selbstverständlich vom Bauherren in enger Abstimmung mit dem Planungsbüro unter Abwägung aller Aspekte getroffen werden.

7. Schlussbemerkungen

Die Beurteilung der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse erfolgte auf Grundlage von nur einer einzigen Bohrung am Rand des Baufeldes. Die Ergebnisse der 2016 ausgeführten Bohrungen und Rammsondierungen wurden hierfür - soweit sinnvoll - mit einbezogen, allerdings liegen alle diese Aufschlüsse weit außerhalb des Baufeldes für die nunmehr geplanten Silos.

Auf die zu erwartende Heterogenität des Baugrundes - insbesondere der oberen Bodenzonen (Auffüllungen, Auelehm) - haben wir explizit hingewiesen, ebenfalls auf die Möglichkeit einer Änderung der Bodeneigenschaften durch Witterungseinflüsse und schwankende Grundwasserstände. Die im Abschnitt 6 angegebenen zu erwartenden Setzungen, zulässigen Bodenpressungen und Bettungsmodule verstehen sich dahingehend nur als grobe Abschätzungen.

Bei Feststellung von stark abweichenden Untergrundverhältnissen im Zuge der Bauausführung sollte eine nochmalige Beurteilung durch einen Baugrundsachverständigen vorgenommen werden (Baugrundabnahme).

Mittweida, den 15.06.2023



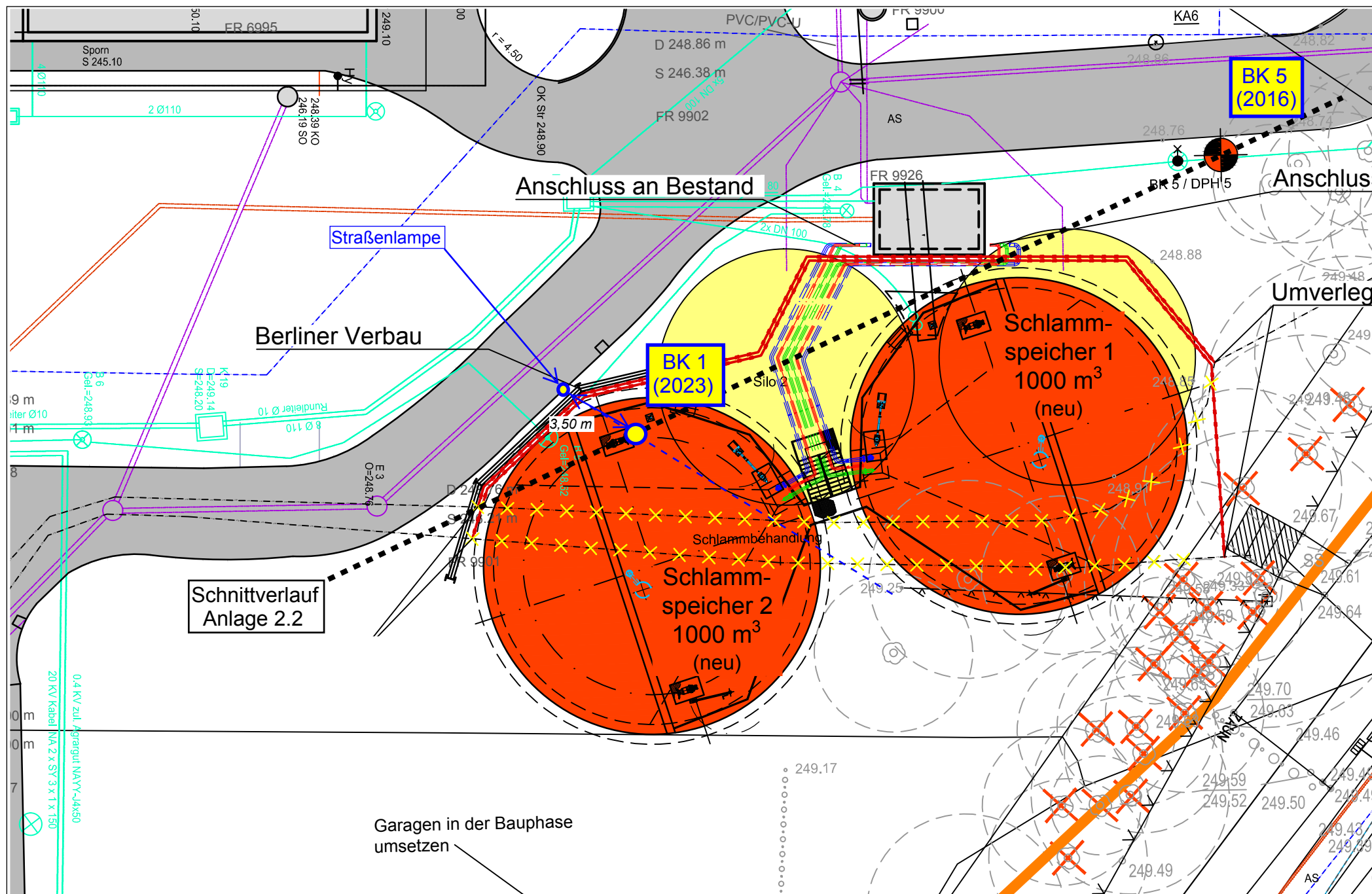
- Dipl.-Ing. R. Hupach -

Anlagen:

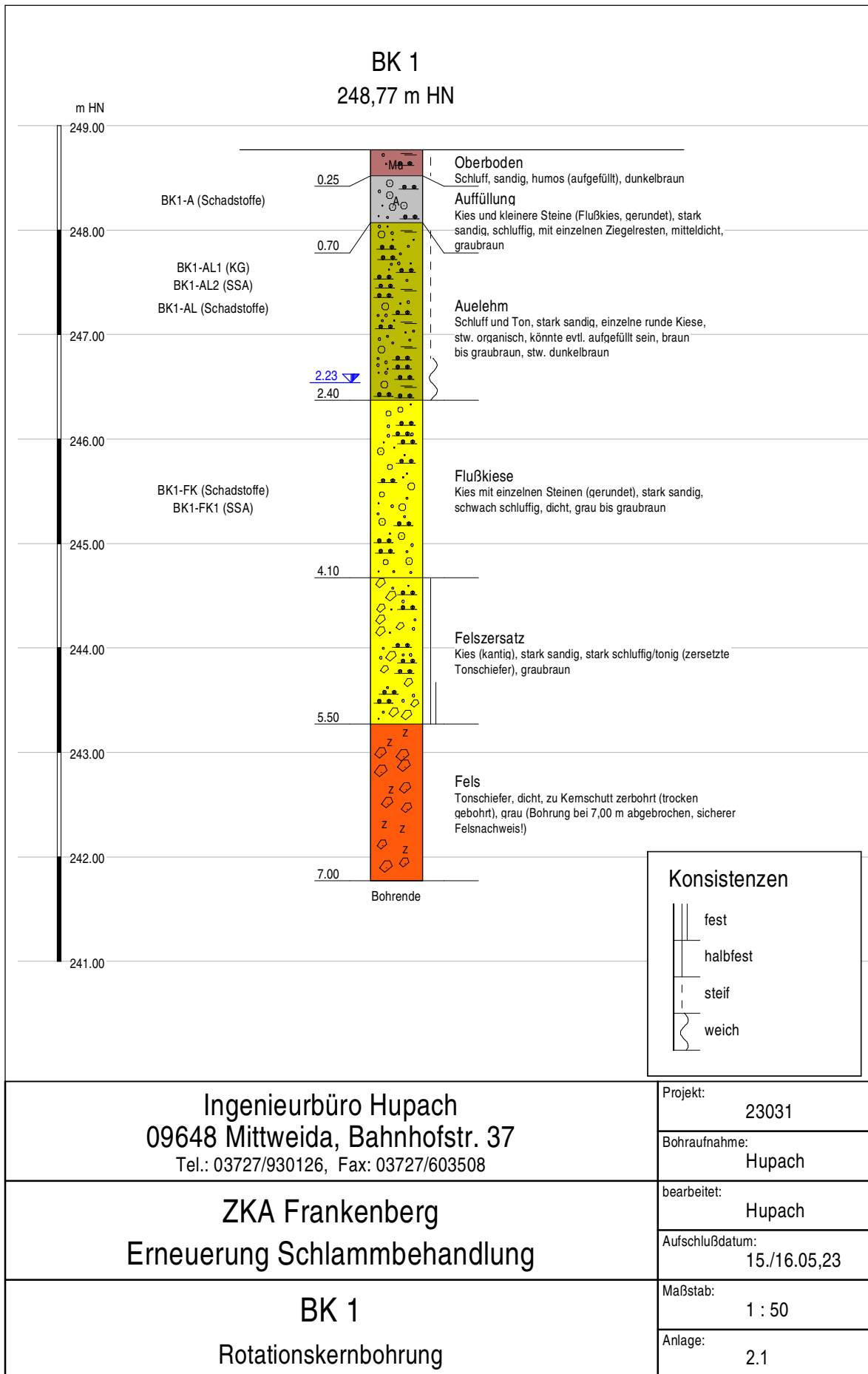
- A1 Lageplan des Bohrpunktes, 1 Seite
- A2 Bohrprofil BK 1 (2023), BK 5 (2016) und geolog. Schnitt, 3 Seiten
- A3 Laborberichte Bodenmechanik (GEOS), 10 Seiten
- A4 Laborberichte chemische Analytik (eurofins), 5 Seiten
- A5 Fundamentdiagramme für Bodenplatten, 3 Seiten
- A6 Fotodokumentation der Bohrung, 1 Seite

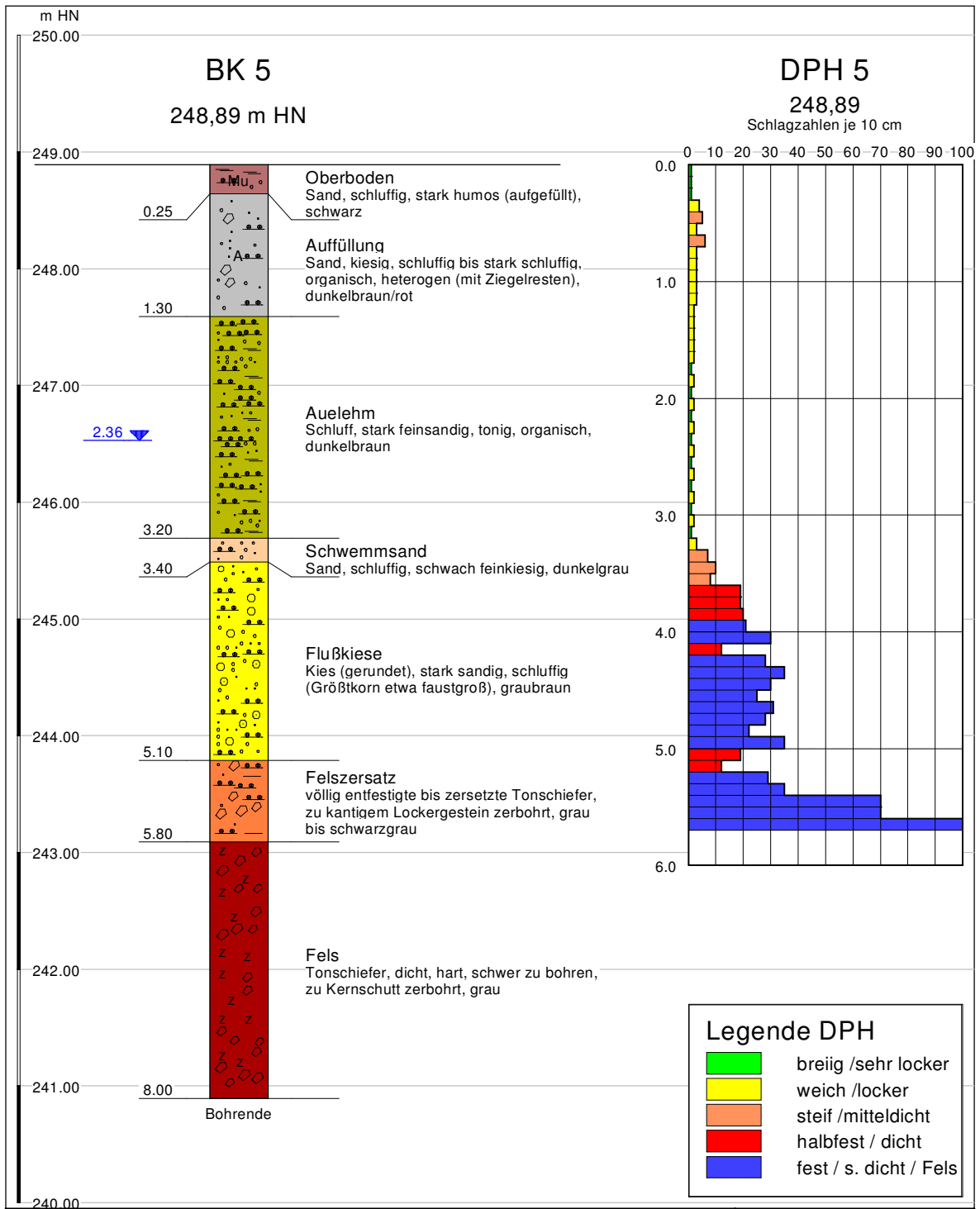
Verteiler:

- Auftraggeber, 1fach schriftlich & digital per mail (z.Hd. Frau Oschatz)
- B.O.R.I.S. Baubetreuung, nur cc digital per mail (z.Hd. Herrn Schrader)
- B.O.R.I.S. Baubetreuung, nur cc digital per mail (z.Hd. Herrn Urbanski)

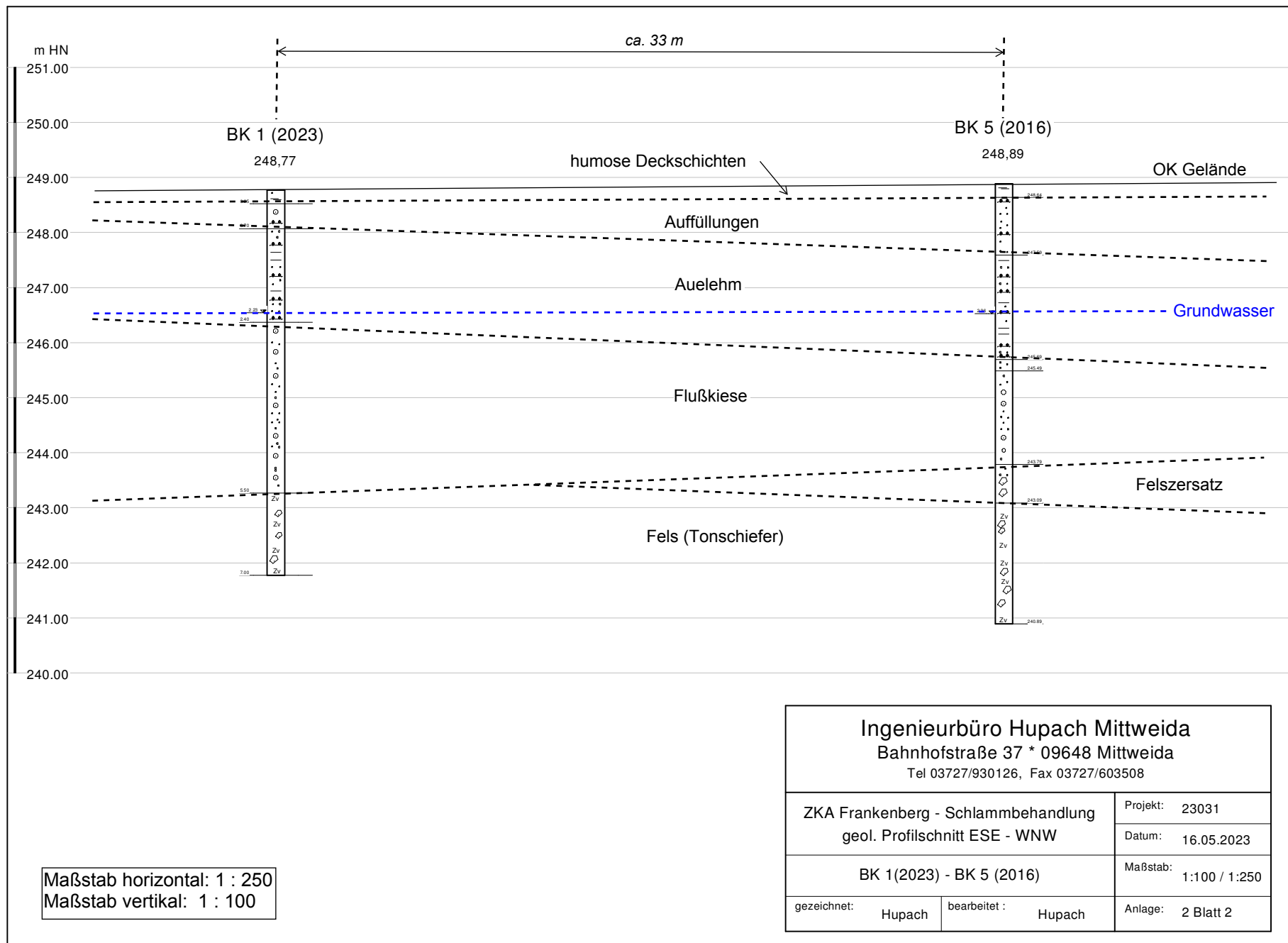


Anlage 1
Lageplan der Bohrpunkte BK 1 (2023) und BK 5 (2016) mit Verlauf geolog. Profilschnitt (Anlage 2.2)





INGENIEURBÜRO HUPACH Bahnhofstraße 37 * 09648 Mittweida Tel.: 03727/930126, Fax: 0327/603508	Projekt: 16031
	Bohraufnahme: Hupach
HW-Schadensbeseitigung KA Frankenberg Sicherung durch Spundwand	Bearbeitet: Hupach
	Aufschlußdatum: 04.04.2016
BK5 / DPH5 Kernbohrung / Schwere Rammsondierung	Maßstab: 1 : 50
	Anlage: 2 Blatt 1a



Laboruntersuchungsbericht (Nr. 184/2023)

Vorhaben: ZKA Frankenberg, Schlammbehandlung

Auftraggeber: Ingenieurbüro Hupach

Auftrag vom: 30.05.2023
Probeneingang: 31.05.2023

Projektnummer: 30230001

Untersuchungen: Korngrößenverteilung
Natürlicher Wassergehalt
Konsistenzgrenzen

Probenanzahl: 3

Labor-Nr.: 765-767

G.E.O.S.
Ingenieurgesellschaft mbH

09633 Halsbrücke
Schwarze Kiefern 2

09581 Freiberg, Postfach 1162

Telefon: +49(0)3731 369-0
Telefax: +49(0)3731 369-200

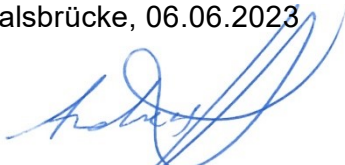
E-Mail: info@geosfreiberg.de
www.geosfreiberg.de

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Proben nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag genommen wurden, wird die Verantwortung für die Richtigkeit der Probenahme abgelehnt.

Dieser Prüfbericht ist nur mit Unterschrift gültig und darf nur vollständig und unverändert weiterverarbeitet werden.

Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH.

Halsbrücke, 06.06.2023



i. A. Dipl.-Ing. Andreas Köhler
Fachverantwortlicher Bodenphysikalisches Labor
Fachbereich Geotechnik/Bergbau

Geschäftsführer:
Jan Richter

HRB 1035 Amtsgericht
Registergericht Chemnitz

Sparkasse Mittelsachsen
IBAN:
DE30 8705 2000 3115 0191 48
SWIFT (BIC): WELADED1FGX

Deutsche Bank AG
IBAN:
DE59 8707 0000 0220 1069 00
SWIFT (BIC): DEUTDE8CXXX

USt.-IdNr.: DE811132746

Art und Umfang der Untersuchungen

Zur Untersuchung kamen gestörte Bodenproben, an welchen die Korngrößenverteilung, der natürliche Wassergehalt und die Konsistenzgrenzen ermittelt wurden.

Untersuchungen siehe **Tabelle 1**

1. Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung wurde nach DIN EN ISO 17892-4 durch Siebanalyse und Sedimentationsanalyse (Aräometerverfahren) ermittelt.

Ergebnisse siehe **Anlagen 1.1-1.2**

2. Natürlicher Wassergehalt (w_n)

Die Bestimmung erfolgte nach DIN EN ISO 17892-1 (Ofentrocknung).

Die Wassergehaltsprobe diente gleichzeitig zur Bestimmung des Kornanteils $> 0,4$ mm als einem Hilfswert zur Korrektur der Konsistenzzahl (siehe 3.).

Ergebnisse siehe **Anlagen 2 und 3**

3. Konsistenzgrenzen (w_L , w_P)

Die Konsistenzgrenzen Fließgrenze/Plastizitätsgrenze wurden nach DIN EN ISO 17892-12 an Teilproben $< 0,4$ mm bestimmt.

Die in der Anlage angeführte Kenngröße der Konsistenzzahl (I_c) wurde entsprechend DIN EN ISO 17892-12 Anhang B1.2 ermittelt. Zu diesem Zweck wurde der Überkornanteil ($> 0,4$ mm) aus der zur Bestimmung des natürlichen Wassergehaltes verwendeten Teilprobe ermittelt und lt. Anhang B1.4 der Norm als Korrekturwert berücksichtigt. Das Korrekturverfahren für die Konsistenzzahl setzt voraus, dass an den Überkornanteil ($> 0,4$ mm) kein Wasser gebunden ist.

Ergebnisse siehe **Anlage 3**

Tabelle 1

Labor-Nr.	Probe-Nr.	Untersuchungen
765	BK1-AL1 123077674	Natürlicher Wassergehalt, Konsistenzgrenzen
766	BK1-AL2 123077675	Korngrößenverteilung
767	BK1-FK1 123077676	Korngrößenverteilung


G.E.O.S.

 INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

 Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

 Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 766

Anlage: 1.1

zu: 184/2023

Bestimmung der Korngrößenverteilung
kombinierte Sieb-/Schlämmanalyse
nach DIN EN ISO 17892-4

 Prüfungs-Nr.: 766
Bauvorhaben: 12321797

 Ausgeführt durch: Volland
am: 01.06.2023
Bemerkung:

Entnahmestelle: BK1-AL2 123077675

Station: m rechts der Achse

Entnahmetiefe: m unter GOK

Bodenart:

Art der Entnahme: gestört

Entnahme am: durch: AG

Siebanalyse:

Einwaage Siebanalyse	me:	507,80 g	%-Anteil der Siebeinwaage	me' = 100 - ma'	me':	37,66
Abgeschlämmter Anteil	ma:	840,50 g	%-Anteil der Abschlammung	ma' = 100 - me'	ma':	62,34
Gesamtgewicht der Probe	mt:	1348,30 g				

	Siebdurchmesser [mm]	Rückstand [g]	Rückstand [%]	Durchgang [%]
1	63,000	0,00	0,00	100,0
2	31,500	0,00	0,00	100,0
3	16,000	0,00	0,00	100,0
4	8,000	5,70	0,42	99,6
5	4,000	10,00	0,74	98,8
6	2,000	15,30	1,13	97,7
7	1,000 *	1,54	1,92	95,8
8	0,500 *	2,97	3,70	92,1
9	0,250 *	4,94	6,15	85,9
10	0,125 *	7,87	9,80	76,1
11	0,063 *	11,01	13,71	62,4
	Schale *	0,06	0,07	62,4

Summe aller Siebrückstände:	S =	507,63 g	Größtkorn [mm]:	16,00
Siebverlust:	SV = mt - St =	0,01 g	(*) bezogen auf Teilmenge mt [g]:	28,40
	SV' = (mt - St) / mt * 100 =	0,04 %	ab dem Sieb Nr.	7
			Summe der Teilmenge : St =	28,39

Fraktionsanteil	Prozentanteil
Ton	9,26
Schluff	51,35
Sandkorn	37,09
Feinsand	22,35
Mittelsand	10,28
Grobsand	4,46
Kieskorn	2,30
Feinkies	1,61
Mittelkies	0,72
Grobkies	0,00
Steine	0,00

Durchgang [%]	Siebdurchmesser [mm]
10,0	0,003
20,0	0,009
30,0	0,019
40,0	0,028
50,0	0,046
60,0	0,059
70,0	0,083
80,0	0,163
90,0	0,376
100,0	16,000

Bemerkungen:


G.E.O.S.

 INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

 Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

 Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 766

Anlage: 1.1

zu: 184/2023

Bestimmung der Korngrößenverteilung
kombinierte Sieb-/Schlämmanalyse
nach DIN EN ISO 17892-4

 Prüfungs-Nr.: 766
Bauvorhaben: 12321797

 Ausgeführt durch: Volland
am: 01.06.2023

Bemerkung:

Entnahmestelle: BK1-AL2 123077675

Station: m rechts der Achse

Entnahmetiefe: m unter GOK

Bodenart:

Art der Entnahme: gestört

Entnahme am: durch: AG

Aräometer Nr. : 1

Meniskuskorrektur mit Dispergierungsmittel: Cm = 0,8000 1.0 g Soda

Ermittlung der Trockenmasse

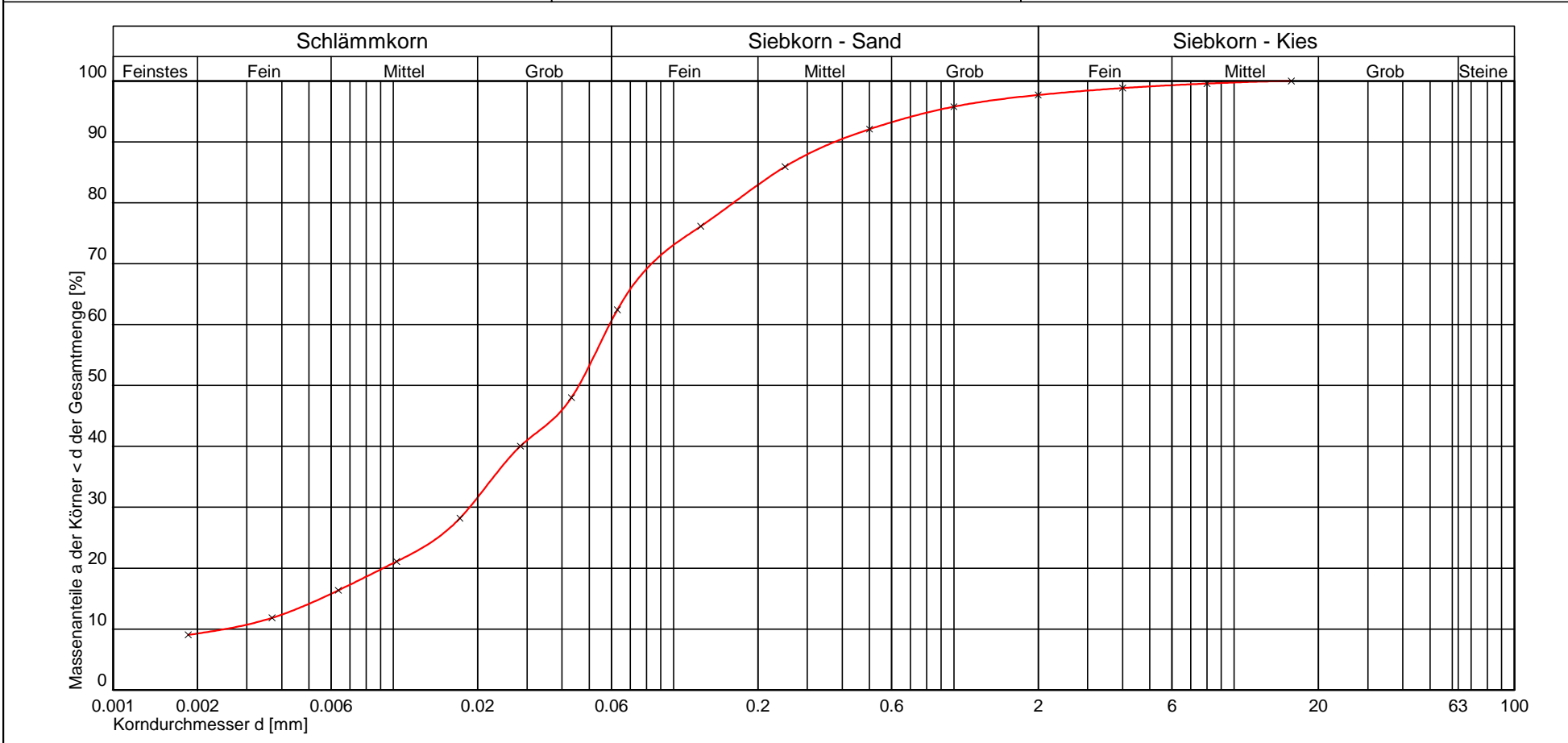
Durch Trocknen (nach der Schlämmanalyse)

Behälter Nr.: 14		Trockene Probe + Behälter md + mB	50,14 g
Korndichte ρ_s :	2,650 g/cm ³	Behälter mB	0,00 g
Referenzwert R'_0 :	-0,800	Trockene Probe md	50,14 g
Referenzwert $R_0 = R'_0 + C_m$:	0,000	$\mu = md * (\rho_s - 1) / \rho_s = 100\%$ der Lesung	31,22 g
Abstand zwischen			
100 ml und 1000 ml Marke L	315 [mm]		
$a = 100 / \mu * (R + C_\theta) =$	3,20 * (R + C _θ) % von md		

Uhrzeit Vorgabe:	Abgelaufene Zeit s/m/h/d	Aräometer- lesung $R' = (\rho' - 1) * 10^3$	Lesung + Meniskuskorr. $R = R' + C_m$	Korndurch- messer d [mm]	Temperatur θ [°C]	Tauch- tiefe H_r [mm]	Korr.Lesung $R + C_\theta$	Schlamm- probe a [%]	Gesamt- probe a_{tot} [%]
00:00:00									
00:00:30	30 s	28,20	29,00	0,0799	19,5	169,24	29,00	92,89	62,42
00:02:00	2 m	21,50	22,30	0,0432	19,5	198,05	22,30	71,43	48,00
00:05:00	5 m	17,80	18,60	0,0284	19,5	213,96	18,60	59,58	40,04
00:15:00	15 m	12,30	13,10	0,0173	19,5	237,61	13,10	41,96	28,20
00:45:00	45 m	9,00	9,80	0,0103	19,5	251,80	9,80	31,39	21,10
02:00:00	2 h	6,80	7,60	0,0064	20,0	261,26	7,60	24,34	16,36
06:00:00	6 h	4,70	5,50	0,0037	21,0	270,29	5,50	17,62	11,84
00:00:00	1 d	3,40	4,20	0,0019	21,5	275,88	4,20	13,45	9,04

Bemerkungen:

<div>Prüfungs-Nr.: 766 Bauvorhaben: 12321797</div> <div>Ausgeführt durch: Volland am: 01.06.2023</div> <div>Bemerkung:</div>	<div>Bestimmung der Korngrößenverteilung</div> <div>kombinierte Sieb-/Schlammmanalyse</div> <div>nach DIN EN ISO 17892-4</div>	<div>Entnahmestelle: BK1-AL2 123077675</div> <div>Station: m rechts der Achse</div> <div>Entnahmetiefe: m unter GOK</div> <div>Bodenart:</div> <div>Art der Entnahme: gestört</div> <div>Entnahme am: durch: AG</div>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Kurve Nr.:				Bemerkungen
Arbeitsweise				
$C_U = d_{60}/d_{10} / C_C / \text{Median}$	23,49	2,36		
Bodengruppe (DIN 18196)	UL			
Geologische Bezeichnung				
kf-Wert	$7,480 \cdot 10^{-8}$ [m/s] nach USBR/Bialas			
Kornkennziffer	1 5 4 0 0	U,fs,ms,t'		

Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke



INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 766
Anlage: 1.1
zu: 184/2023


G.E.O.S.

 INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

 Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

 Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 767

Anlage: 1.2

zu: 184/2023

Bestimmung der Korngrößenverteilung

Naß-/Trockensiebung

nach DIN EN ISO 17892-4

Prüfungs-Nr.: 767

Bauvorhaben: 12321797

Ausgeführt durch: Volland

am: 01.06.2023

Bemerkung:

Entnahmestelle: BK1-FK1 123077676

Station: m rechts der Achse

Entnahmetiefe: m unter GOK

Bodenart:

Art der Entnahme: gestört

Entnahme am: durch: AG

Siebanalyse:

Einwaage Siebanalyse me: 3007,90 g

%-Anteil der Siebeinwaage me' = 100 - ma' me': 95,92

Abgeschlammter Anteil ma: 128,10 g

%-Anteil der Abschlammung ma' = 100 - me' ma': 4,08

Gesamtgewicht der Probe mt: 3136,00 g

	Siebdurchmesser [mm]	Rückstand [g]	Rückstand [%]	Durchgang [%]
1	63,000	0,00	0,00	100,0
2	31,500	526,50	16,79	83,2
3	16,000	674,00	21,49	61,7
4	8,000	515,30	16,43	45,3
5	4,000	357,50	11,40	33,9
6	2,000	239,20	7,63	26,3
7	1,000 *	39,91	6,85	19,4
8	0,500 *	25,37	4,35	15,1
9	0,250 *	30,24	5,19	9,9
10	0,125 *	21,57	3,70	6,2
11	0,063 *	11,68	2,00	4,2
	Schale *	0,43	0,07	4,1

Summe aller Siebrückstände: S = 3007,63 g

Größtkorn [mm]: 63,00

Siebverlust: SV = mt - St = 0,05 g

(*) bezogen auf Teilmenge mt [g]: 129,25

 $SV' = (mt - St) / mt * 100 = 0,04 \%$

ab dem Sieb Nr. 7

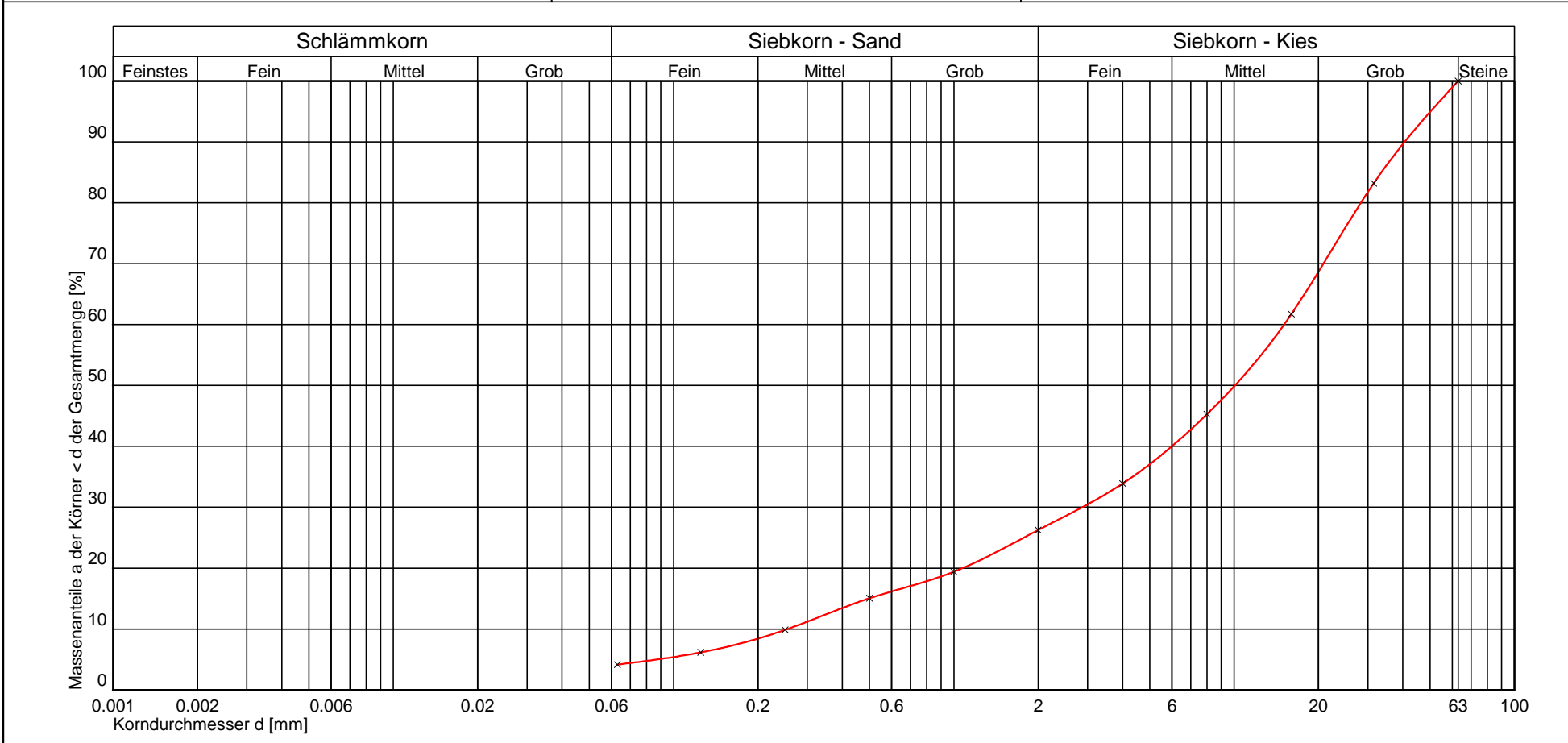
Summe der Teilmenge : St = 129,20

Fraktionsanteil	Prozentanteil
Ton	
Schluff	4,17
Sandkorn	22,09
Feinsand	4,27
Mittelsand	7,75
Grobsand	10,08
Kieskorn	73,74
Feinkies	13,77
Mittelkies	28,67
Grobkies	31,31
Steine	0,00

Durchgang [%]	Siebdurchmesser [mm]
10,0	0,255
20,0	1,074
30,0	2,871
40,0	5,991
50,0	10,063
60,0	15,074
70,0	20,816
80,0	28,327
90,0	40,578
100,0	63,000

Bemerkungen:

<div>Prüfungs-Nr.: 767 Bauvorhaben: 12321797</div> <div>Ausgeführt durch: Volland am: 01.06.2023</div> <div>Bemerkung:</div>	<div>Bestimmung der Korngrößenverteilung</div> <div>Naß-/Trockensiebung</div> <div>nach DIN EN ISO 17892-4</div>	<div>Entnahmestelle: BK1-FK1 123077676</div> <div>Station: m rechts der Achse</div> <div>Entnahmetiefe: m unter GOK</div> <div>Bodenart:</div> <div>Art der Entnahme: gestört</div> <div>Entnahme am: durch: AG</div>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



Kurve Nr.:				Bemerkungen
Arbeitsweise				
$C_U = d_{60}/d_{10} / C_C / \text{Median}$	59,21	2,15		
Bodengruppe (DIN 18196)	GW			
Geologische Bezeichnung				
kf-Wert	$7,621 \cdot 10^{-3}$ [m/s] nach Seiler			
Kornkennziffer	0 1 2 7 0	gG-mG,fg',gs',ms'		

Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke



Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 767
Anlage: 1.2
zu: 184/2023


G.E.O.S.

 INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH

 Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

 Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 765

Anlage: 2

zu: 184/2023

Bestimmung des Wassergehaltes

durch Ofentrocknung
nach DIN EN ISO 17892-1

 Prüfungs-Nr.: 765
Bauvorhaben: 12321797

 Ausgeführt durch: Weißgerber
am: 31.05.2023

Bemerkung:

Entnahmestelle: BK1-AL1 123077674

Station: m rechts der Achse

Entnahmetiefe: m unter GOK

Bodenart:

Art der Entnahme: gestört

Entnahme am: durch: AG

Nr. des Versuchs	1	2	3	4	5	Mittelwert
Bestimmung des Wassergehaltes w						
Bezeichnung der Probe						
Masse Feuchtprobe + Behälter $m + m_B$ [g]	194,02					
Masse trockene Probe + Behälter $m_d + m_B$ [g]	174,03					
Masse des Behälters m_B [g]	93,40					
Masse des Porenwassers m_w [g]	19,99					
Masse der trockenen Probe m_d [g]	80,63					
Wassergehalt $m_w / m_d = w$ [%]	24,79					24,79

Bemerkungen:


G.E.O.S.
**INGENIEUR-
GESELLSCHAFT MBH**

 Schwarze Kiefern 2
09633 Halsbrücke

 Telefon : 03731 / 369 168
Fax : 03731 / 369 200

Prüfungsnr.: 765

Anlage: 3

zu: 184/2023

Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenze nach DIN EN ISO 17892-12

 Prüfungsnr.: 765
Bauvorhaben: 12321797

 Ausgeführt durch: Volland / Weißgerber
am: 02.06.2023
Bemerkung:

Entnahmestelle: BK1-AL1 123077674

Station: m rechts der Achse

Entnahmetiefe: m unter GOK

Bodenart:

Art der Entnahme: gestört

Entnahme am: durch: AG

Fließgrenze

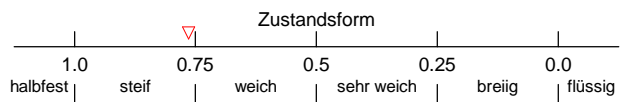
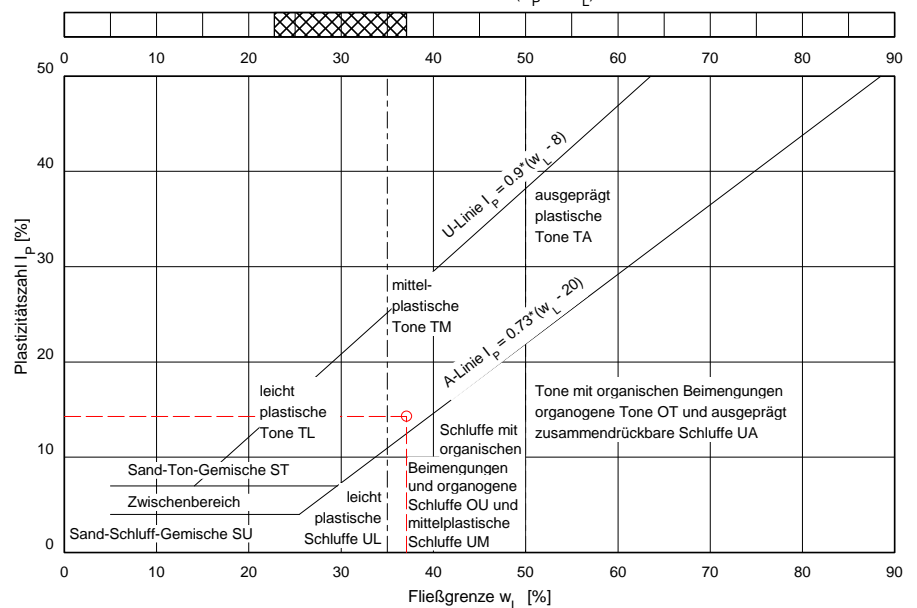
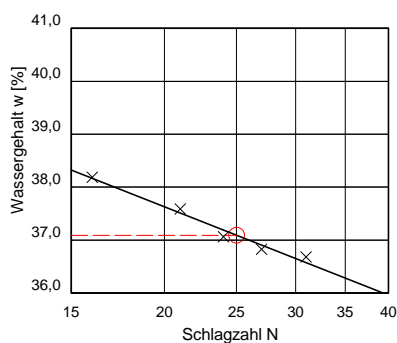
Behälter Nr.:	2	6	18	51	60
Zahl der Schläge:	31	27	24	21	16
Feuchte Probe + Behälter $m+m_B$ [g]:	36,258	38,971	37,355	41,899	41,386
Trockene Probe + Behälter m_d+m_B [g]:	33,877	36,652	34,818	39,271	38,808
Behälter m_B [g]:	27,386	30,355	27,973	32,279	32,057
Wasser $m - m_d = m_w$ [g]:	2,38	2,32	2,54	2,63	2,58
Trockene Probe m_d [g]:	6,49	6,30	6,84	6,99	6,75
Wassergehalt $m_w / m_d * 100$ [%]:	36,68	36,83	37,06	37,59	38,19
Wert übernehmen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Ausrollgrenze

	90	48	1	
	24,080	23,721	22,948	
	22,962	22,624	21,995	
	18,152	17,778	17,767	
	1,12	1,10	0,95	
	4,810	4,846	4,228	
	23,24	22,64	22,54	

Feuchtmasse der Probe 100,62 g
 Trockenmasse der Probe 80,63 g
 Wassergehalt der Probe $w = 24,79$ %
 Größtkorn mm
 Masse des Überkorns 4,25 g
 Überkornanteil $\ddot{u} = 5,27$ %
 Wassergehalt (Überkorn) $w_{\ddot{u}} = 0,00$ %
 Trockenmasse ≤ 0.4 mm 76,38 g
 Anteil ≤ 0.4 mm 94,73 %
 Anteil ≤ 0.06 mm %
 Anteil ≤ 0.002 mm %
 korrr. Wassergehalt $w_{<0.4} = 26,17$ %

Bodengruppe = TM
 Fließgrenze $w_L = 37,09$ %
 Ausrollgrenze $w_P = 22,81$ %
 Plastizitätszahl $I_P = 14,284$ %
 Konsistenzzahl $I_C = 0,76 \triangle$ steif
 Liquiditätszahl $I_L = 0,24$
 Aktivitätszahl $I_A = 0,00$


 Bildsamkeitsbereich (w_P bis w_L)


Bemerkungen:

Eurofins Umwelt Ost GmbH - Lindenstraße 11 - Gewerbegebiet Freiberg Ost -
D-09627 Bobritzsch-Hilbersdorf

Ingenieurbüro Hupach
Dipl.-Ing. Ralph Hupach
Bahnhofstraße 37
09648 Mittweida

Titel: Prüfbericht zu Auftrag 12321794
Prüfberichtsnummer: AR-23-FR-023949-01

Auftragsbezeichnung: ZKA Frankenberg, Neubau Schlammbehandlung

Anzahl Proben: 3
Probenart: Boden
Probenahmedatum: 16.05.2023
Probenehmer: keine Angabe, Probe(n) wurde(n) an das Labor ausgehändigt

Probeneingangsdatum: 22.05.2023
Prüfzeitraum: 22.05.2023 - 02.06.2023

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände. Sofern die Probenahme nicht durch unser Labor oder in unserem Auftrag erfolgte, wird hierfür keine Gewähr übernommen. Die Ergebnisse beziehen sich in diesem Fall auf die Proben im Anlieferungszustand. Dieser Prüfbericht enthält eine qualifizierte elektronische Signatur und darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen in jedem Einzelfall der Genehmigung der EUROFINS UMWELT.

Es gelten die Allgemeinen Verkaufsbedingungen (AVB), sofern nicht andere Regelungen vereinbart sind. Die aktuellen AVB können Sie unter <http://www.eurofins.de/umwelt/avb.aspx> einsehen.

Das beauftragte Prüflaboratorium ist durch die DAkkS nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS akkreditiert. Die Akkreditierung gilt nur für den in der Urkundenanlage (D-PL-14081-01-00) aufgeführten Umfang.

Anhänge:

XML_Export_AR-23-FR-023949-01.xml

Franziska Menzel
Prüfleitung

+49 3731 2076 515

Digital signiert, 05.06.2023
Franziska Menzel
Prüfleitung



Eurofins Umwelt Ost GmbH
Löbstedter Strasse 78
D-07749 Jena

Tel. +49 3641 4649 0
Fax +493641464919
info_jena@eurofins.de
www.eurofins.de/umwelt

GF: Dr. Benno Schneider
Axel Ulbricht, Matthias Prauser
Amtsgericht Jena HRB 202596
USt-ID.Nr. DE 151 28 1997

Bankverbindung: UniCredit Bank AG
BLZ 207 300 17
Kto 7000000550
IBAN DE07 2073 0017 7000 0005 50
BIC/SWIFT HYVEDEMM17

Probenbezeichnung	BK1 - A	BK1 - AL	BK1 - FK
Probenahmedatum/ -zeit	16.05.2023	16.05.2023	16.05.2023
Probennummer	123077645	123077646	123077647

Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit			
-----------	------	------	---------	----	---------	--	--	--

Probenvorbereitung Feststoffe

Fraktion < 2 mm	FR	F5	DIN 19747: 2009-07	0,1	%	66,5	69,5	49,3
Fraktion > 2 mm	FR	F5	DIN 19747: 2009-07	0,1	%	33,5	30,5	50,7

Physikalisch-chemische Kenngrößen aus der Originalsubstanz

Trockenmasse	FR	F5	DIN EN 14346: 2007-03	0,1	Ma.-%	91,6	75,6	87,7
--------------	----	----	-----------------------	-----	-------	------	------	------

Elemente aus dem Königswasseraufschluss nach DIN EN 13657: 2013-01(Fraktion<2mm)

Arsen (As)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	0,8	mg/kg TS	158	111	48,2
Blei (Pb)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	2	mg/kg TS	355	87	93
Cadmium (Cd)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	0,2	mg/kg TS	2,3	0,8	0,9
Chrom (Cr)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	1	mg/kg TS	33	28	18
Kupfer (Cu)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	1	mg/kg TS	55	41	35
Nickel (Ni)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	1	mg/kg TS	25	25	18
Quecksilber (Hg)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	0,07	mg/kg TS	0,19	0,15	< 0,07
Thallium (Tl)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	0,2	mg/kg TS	0,3	0,3	< 0,2
Zink (Zn)	FR	F5	DIN EN 16171:2017-01	1	mg/kg TS	349	167	180

Organische Summenparameter aus der Originalsubstanz (Fraktion < 2 mm)

TOC	FR	F5	DIN EN 15936: 2012-11	0,1	Ma.-% TS	0,8	1,6	0,3
EOX	FR	F5	DIN 38414-17 (S17): 2017-01	1,0	mg/kg TS	< 1,0	< 1,0	< 1,0
Kohlenwasserstoffe C10-C22	FR	F5	DIN EN 14039: 2005-01	40	mg/kg TS	< 40	< 40	< 40
Kohlenwasserstoffe C10-C40	FR	F5	DIN EN 14039: 2005-01	40	mg/kg TS	< 40	< 40	< 40

PAK aus der Originalsubstanz (Fraktion < 2 mm)

Naphthalin	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Acenaphthylen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	< 0,05	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Acenaphthen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	< 0,05	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Fluoren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	< 0,05	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Phenanthren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,66	n.n. ¹⁾	< 0,05
Anthracen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,12	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Fluoranthren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,73	n.n. ¹⁾	< 0,05
Pyren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,79	n.n. ¹⁾	< 0,05
Benzo[a]anthracen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,35	n.n. ¹⁾	< 0,05
Chrysen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,37	n.n. ¹⁾	< 0,05
Benzo[b]fluoranthren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,47	n.n. ¹⁾	< 0,05
Benzo[k]fluoranthren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,18	< 0,05	< 0,05
Benzo[a]pyren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,35	n.n. ¹⁾	< 0,05
Indeno[1,2,3-cd]pyren	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,21	n.n. ¹⁾	< 0,05
Dibenzo[a,h]anthracen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	< 0,05	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Benzo[ghi]perylen	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05	0,05	mg/kg TS	0,23	n.n. ¹⁾	< 0,05
Summe 15 PAK ohne Naphthalin nach EBV: 2021	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05		mg/kg TS	4,56	0,025	0,275
Summe 16 PAK nach EBV: 2021	FR	F5	DIN ISO 18287: 2006-05		mg/kg TS	4,56	0,025	0,275

Probenbezeichnung	BK1 - A	BK1 - AL	BK1 - FK
Probenahmedatum/ -zeit	16.05.2023	16.05.2023	16.05.2023
Probennummer	123077645	123077646	123077647

Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit			
-----------	------	------	---------	----	---------	--	--	--

PCB aus der Originalsubstanz (Fraktion < 2 mm)

PCB 28	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 52	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 101	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 118	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 138	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 153	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	< 0,01
PCB 180	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06	0,01	mg/kg TS	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Summe 6 PCB nach EBV: 2021	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06		mg/kg TS	(n. b.) ²⁾	(n. b.) ²⁾	0,005
Summe 7 PCB nach EBV: 2021	FR	F5	DIN EN 16167: 2019-06		mg/kg TS	(n. b.) ²⁾	(n. b.) ²⁾	0,005

Kennggr. d. Eluatherst. f. org., nicht-flücht. Par. nach DIN 19529: 2015-12

Trübung im Eluat nach DIN EN ISO 7027: 2000-04	FR	F5		10	FNU	23,5	12	< 10
------------------------------------------------	----	----	--	----	-----	------	----	------

Physikalisch-chem. Kenngrößen aus dem 2:1-Schütteluat nach DIN 19529: 2015-12

pH-Wert	FR	F5	DIN EN ISO 10523 (C5): 2012-04			6,6	5,7	7,4
Temperatur pH-Wert	FR	F5	DIN 38404-4 (C4): 1976-12		°C	20,0	21,7	21,8
Leitfähigkeit bei 25°C	FR	F5	DIN EN 27888 (C8): 1993-11	5	µS/cm	55	206	124

Anionen aus dem 2:1-Schütteluat nach DIN 19529: 2015-12

Sulfat (SO ₄)	FR	F5	DIN EN ISO 10304-1 (D20): 2009-07	1,0	mg/l	8,0	74	21
---------------------------	----	----	-----------------------------------	-----	------	-----	----	----

Elemente aus dem 2:1-Schütteluat nach DIN 19529: 2015-12

Arsen (As)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,190	0,366	0,031
Blei (Pb)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	1,06	0,016	0,021
Cadmium (Cd)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,0003	mg/l	0,0033	0,0003	0,0004
Chrom (Cr)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,011	0,002	0,002
Kupfer (Cu)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,098	0,013	0,012
Nickel (Ni)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,001	mg/l	0,014	0,003	0,003
Quecksilber (Hg)	FR	F5	DIN EN ISO 12846 (E12): 2012-08	0,0001	mg/l	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Thallium (Tl)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,0002	mg/l	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002
Zink (Zn)	FR	F5	DIN EN ISO 17294-2 (E29): 2017-01	0,01	mg/l	0,43	0,02	0,01

				Probenbezeichnung		BK1 - A	BK1 - AL	BK1 - FK
				Probenahmedatum/ -zeit		16.05.2023	16.05.2023	16.05.2023
				Probennummer		123077645	123077646	123077647
Parameter	Lab.	Akk.	Methode	BG	Einheit			
PAK aus dem 2:1-Schüttelleuat nach DIN 19529: 2015-12								
Naphthalin	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,05	µg/l	< 0,05	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Acenaphthylen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,03	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Acenaphthen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,02	µg/l	< 0,02	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Fluoren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	< 0,01	< 0,01	n.n. ¹⁾
Phenanthren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,02	µg/l	0,03	n.n. ¹⁾	< 0,02
Anthracen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,008	µg/l	< 0,008	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Fluoranthren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,02	µg/l	0,03	n.n. ¹⁾	< 0,02
Pyren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	0,02	n.n. ¹⁾	< 0,01
Benzo[a]anthracen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	< 0,01
Chrysen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Benzo[b]fluoranthren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Benzo[k]fluoranthren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Benzo[a]pyren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,008	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Indeno[1,2,3-cd]pyren	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Dibenzo[a,h]anthracen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,008	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Benzo[ghi]perylen	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Summe 16 PAK nach EBV: 2021	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09		µg/l	0,121	0,005	0,030
Summe 15 PAK ohne Naphthalin nach EBV: 2021	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09		µg/l	0,096	0,005	0,030
1-Methylnaphthalin	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	< 0,01	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
2-Methylnaphthalin	FR	F5	DIN 38407-39 (F39): 2011-09	0,01	µg/l	< 0,01	< 0,01	n.n. ¹⁾
Summe Methylnaphthaline nach EBV: 2021	FR		berechnet		µg/l	0,010	0,005	(n. b.) ²⁾
Summe Naphthalin + Methylnaphthaline nach EBV: 2021	FR		berechnet		µg/l	0,035	0,005	(n. b.) ²⁾

PCB aus dem 2:1-Schüttelleuat nach DIN 19529: 2015-12

PCB 28	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 52	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 101	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 118	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 138	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 153	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
PCB 180	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11	0,001	µg/l	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾	n.n. ¹⁾
Summe 6 PCB nach EBV: 2021	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11		µg/l	(n. b.) ²⁾	(n. b.) ²⁾	(n. b.) ²⁾
Summe 7 PCB nach EBV: 2021	FR	F5	DIN 38407-37: 2013-11		µg/l	(n. b.) ²⁾	(n. b.) ²⁾	(n. b.) ²⁾

Erläuterungen

BG - Bestimmungsgrenze

Lab. - Kürzel des durchführenden Labors

Akk. - Akkreditierungskürzel des Prüflabors

Kommentare zu Ergebnissen

¹⁾ nicht nachweisbar

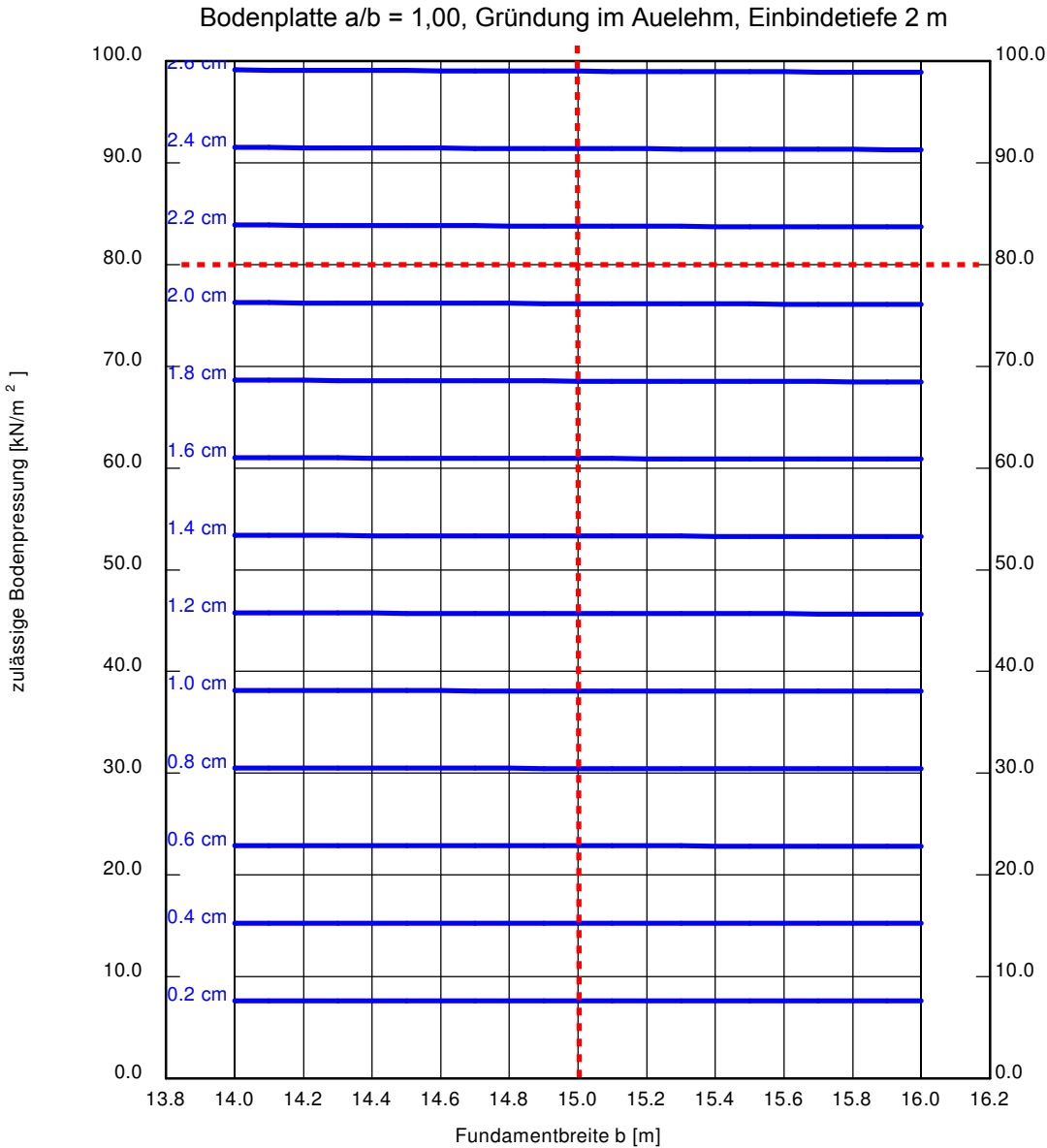
²⁾ nicht berechenbar

Die mit FR gekennzeichneten Parameter wurden von der Eurofins Umwelt Ost GmbH (Lindenstraße 11, Gewerbegebiet Freiberg Ost, Bobritzsch-Hilbersdorf) analysiert. Die Bestimmung der mit F5 gekennzeichneten Parameter ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 DAkkS D-PL-14081-01-00 akkreditiert.

Fundamentdiagramm

ZKA Frankenberg
Neuau Schlammbehandlung

Reibungswinkel [°] = 25.0
Kohäsion [kN/m²] = 15.0
gamma(2) [kN/m³] = 19.0
sigma(ü) [kN/m²] = 38.0
Sicherheit [-] = 1.50
Grenztiefe [m] = 3.50



Steifemodulprofil

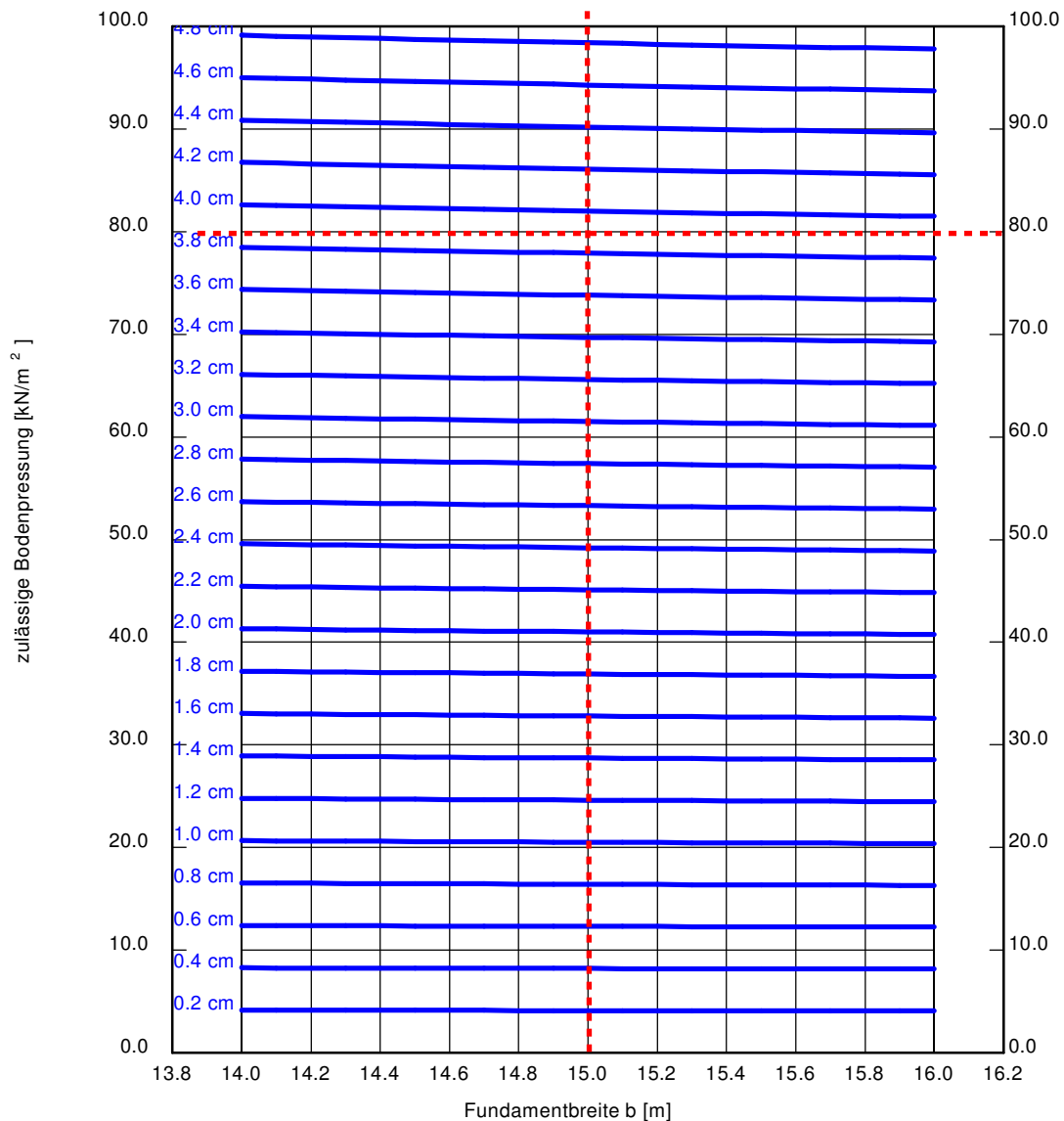
Tiefe [m]	Es [MN/m ²]
0.00 - 0.20	4.0
0.20 - 0.40	1.0
0.40 - 3.50	200.0

Fundamentdiagramm

ZKA Frankenberg
 Neuau Schlammbehandlung

Reibungswinkel [°] = 25.0
 Kohäsion [kN/m²] = 15.0
 gamma(2) [kN/m³] = 19.0
 sigma(ü) [kN/m²] = 38.0
 Sicherheit [-] = 1.50
 Grenztiefe [m] = 3.50

Bodenplatte a/b = 1,00, Gründung im Auelehm, Einbindetiefe 1 m



Steifemodulprofil

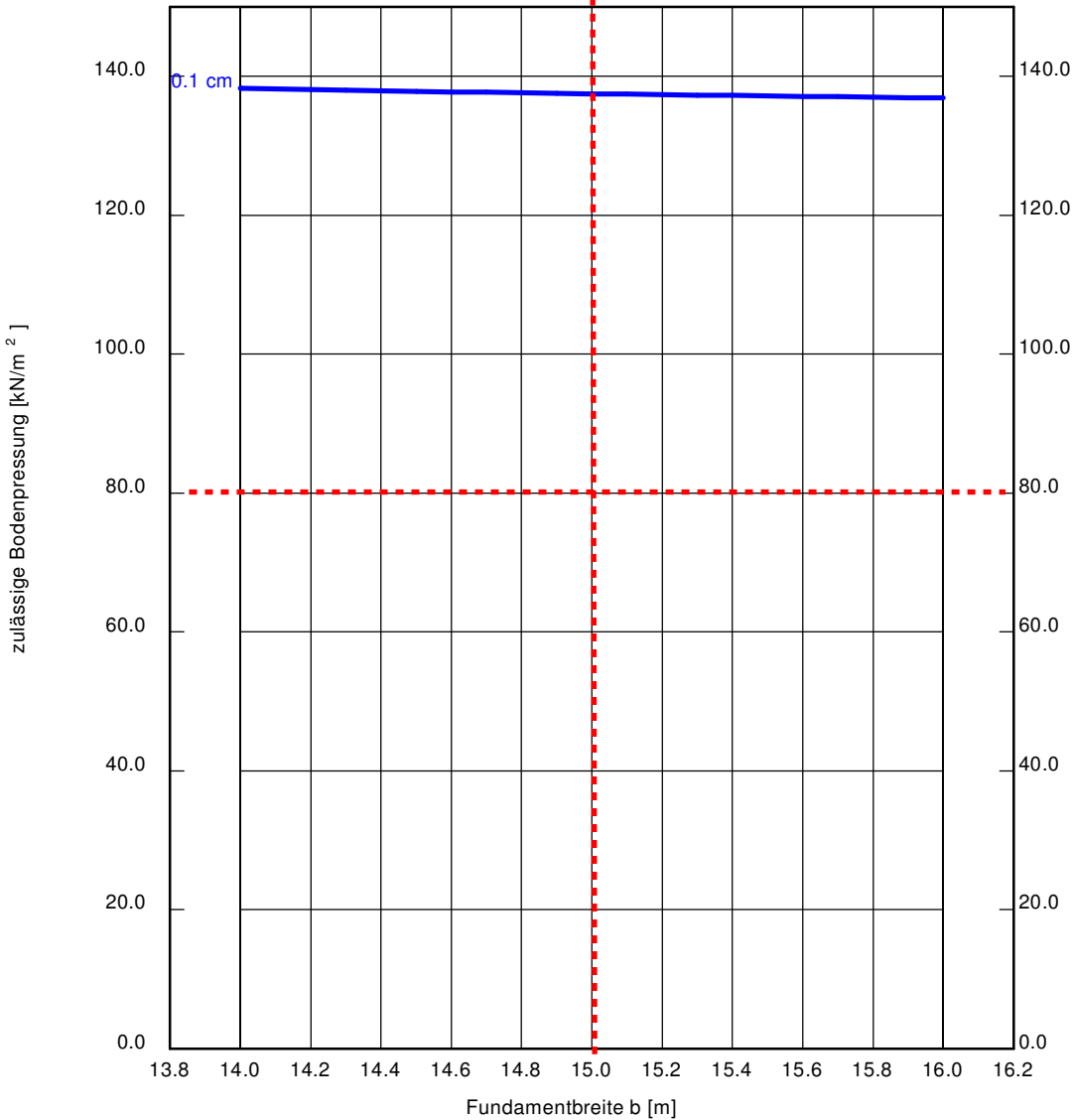
Tiefe [m]	Es [MN/m ²]
0.00 - 1.20	4.0
1.20 - 1.40	1.0
1.40 - 4.50	200.0

Fundamentdiagramm

ZKA Frankenberg
Neuau Schlammbehandlung

Reibungswinkel [°] = 40.0
Kohäsion [kN/m²] = 0.0
gamma(2) [kN/m³] = 21.0
sigma(ü) [kN/m²] = 76.0
Sicherheit [-] = 1.50
Grenztiefe [m] = 1.50

Bodenplatte a/b = 1,00, Gründung in den Flußkiesen, Einbindetiefe 4 m



Steifemodulprofil

Tiefe [m]	Es [MN/m ²]
0.00 - 1.50	200.0



Foto 1: Bohrung BK 1, ausgelegt von links oben (0,0 m) nach rechts unten (- 7,0 m)



Foto 2: Detail aus Bohrung BK 1: Fels (Tonschiefer, trocken gebohrt)