



Landeshauptstadt Magdeburg  
Eigenbetrieb  
Städtischer Abfallwirtschaftsbetrieb

**Deponie Hängelsberge, Magdeburg  
Deponieerweiterung nach DK II**

**Geotechnischer Bericht  
Baugrundgutachten  
(Hauptuntersuchung)**

Projekt-Nr.: **248783**

Erstellt im Auftrag von:  
**Landeshauptstadt Magdeburg  
Eigenbetrieb  
Städtischer Abfallwirtschaftsbetrieb  
Sternstraße 13  
39104 Magdeburg**

Dipl.-Ing. Grit Renker, Martin Lehmann M.Sc.

2022-02-17 (Überarbeitung August 2023)

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND HERANGEHENSWEISE ..... 7</b>
1.1	Veranlassung ..... 7
1.2	Normen und Richtlinien ..... 7
1.3	Vorgehensweise ..... 8
<b>2</b>	<b>UNTERLAGEN ..... 10</b>
<b>3</b>	<b>UNTERSUCHUNGSGEBIET UND BAUAUFGABE ..... 15</b>
3.1	Lage und örtliche Situation ..... 15
3.2	Bauvorhaben ..... 16
3.3	Erdbebeneinwirkung ..... 17
<b>4</b>	<b>DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN ..... 18</b>
4.1	Felduntersuchungen ..... 18
4.1.1	Rammkernsondierungen (RKS) ..... 18
4.1.2	Drucksondierungen (DS) ..... 18
4.1.3	Kernbohrungen ..... 19
4.1.4	Grundwassermessstellen (GWM) ..... 20
4.1.5	Bohrungen für Versickerungsversuche ..... 20
4.2	Bodenphysikalische und chemische Laboruntersuchungen ..... 20
<b>5</b>	<b>UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE ..... 22</b>
5.1	Geologische Verhältnisse und Baugrundsichtung ..... 22
5.2	Baugrundschnitte ..... 25
5.3	Ergebnisse der Rammkernsondierungen ..... 25
5.4	Ergebnisse der Drucksondierungen (DS) ..... 27
5.5	Ergebnisse der Kernbohrungen ..... 30
5.5.1	Aufschluss der Stratigrafie und des Grundwassers im Bearbeitungsgebiet ..... 30
5.5.2	Probenahme und Testdurchführungen ..... 32
5.6	Erkenntnisse aus Grundwassermessstelle P19 ..... 35
5.7	Bodenphysikalische Laborversuche und bautechnische Klassifikation ..... 36
5.8	Hydrogeologische Verhältnisse ..... 37
5.9	Ergebnisse der Umweltuntersuchungen ..... 40
<b>6</b>	<b>GEOTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN ..... 43</b>
6.1	Baugrundeignung ..... 43
6.1.1	Geplante geologische Barriere ..... 43
6.1.2	Wiederverwendbarkeit des Aushubs ..... 43
6.1.3	Eignung als Baugrund ..... 45
6.2	Baugrundverhältnisse und Gründungsempfehlungen ..... 45
6.3	Schutz- und Sicherungsmaßnahmen ..... 46

6.4	Berechnungsgrundlagen .....	47
6.4.1	Charakteristische Rechenwerte - Scherfestigkeit.....	47
6.4.2	Charakteristische Rechenwerte - Steifemodule .....	47
6.5	Baugrube und Wasserhaltung .....	49
6.6	Versickerung .....	50
6.7	Bedarf an weiteren geotechnischen Untersuchungen vor Bauausführung.....	50
<b>7</b>	<b>WEITERE HINWEISE .....</b>	<b>51</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 3.1	Lage des Bearbeitungsgebiets ..... 15
Abbildung 3.2	Konzeptskizze der geplanten Erweiterung ..... 16
Abbildung 5.1	Klassifizierung von Bodenarten aus Drucksondierungen gemäß [U61] und [U63] ..... 28
Abbildung 5.2	Ganglinien der GWM des GWL 3 in der Nähe der Erweiterungsfläche..... 38
Abbildung 5.3	Ganglinie des GWL 2 in GWM P2 ..... 39

## TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 4.1	Bodenmechanisches /-chemisches Laborprogramm ..... 21
Tabelle 5.1	Erkundete Schichten im Bearbeitungsgebiet ..... 22
Tabelle 5.2	Ergebnisse der Rammkernsondierungen ..... 26
Tabelle 5.3	Ergebnisse der Drucksondierungen ..... 27
Tabelle 5.4	Bodenarten in den Drucksondierungen ..... 28
Tabelle 5.5	Kennwerte nichtbindiger Böden aus Drucksondierungen gemäß [U61] und [U63] ..... 29
Tabelle 5.6	Bewertung der Festigkeitseigenschaften rolliger Bereiche der DS ..... 30
Tabelle 5.7	Wasseranschnitt in den Kernbohrungen..... 31
Tabelle 5.8	SP-Test und Probenahmen in den Kernbohrungen ..... 32
Tabelle 5.9	Ausführungsdaten der SP-Tests ..... 33
Tabelle 5.10	Ableitung der Lagerungsdichte aus den Schlagzahlen des SP-Tests..... 33
Tabelle 5.11	Schlagzahlen und Abschätzung der Lagerungsdichte der SP-Tests ..... 34
Tabelle 5.12	Ableitung von Festigkeitseigenschaften aus den SP-Tests ..... 35
Tabelle 5.13	bautechnische Klassifikation der Schichten..... 36
Tabelle 5.14	Erkundete Schichtenfolge und hydrogeologische Eigenschaften ..... 37
Tabelle 5.15	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen nach LAGA und DepV..... 40
Tabelle 5.16	Überschreitungswerte und Grenzwerte nach LAGA und DepV ..... 41
Tabelle 6.1	Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse..... 44
Tabelle 6.2	charakteristische Kennwerte und einaxiale Druckfestigkeit ..... 47
Tabelle 6.3	Auswertung Kompressionsversuche Schichten S3.3, S4 und S5 ..... 48
Tabelle 6.4	Steifemodule und charakteristische Steifemodule ..... 49

## **ANLAGENVERZEICHNIS**

### **Anlage 1      Lagepläne**

- Anlage 1.1      Übersichtslageplan, M 1 : 10.000
- Anlage 1.2      Lageplan Aufschlüsse, Grundwassermessstellen, Schnittspuren, M 1 : 1.000
- Anlage 1.3      Lageplan Isohypsen Stichtagsmessung Oktober 2021, M 1 : 2.500

### **Anlage 2      Baugrundschnitte**

- Anlage 2.1      Schnitt OW1, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.2      Schnitt OW2, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.3      Schnitt OW3, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.4      Schnitt OW4, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.5      Schnitt OW5, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.6      Schnitt SN1, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.7      Schnitt SN2, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.8      Schnitt SN3, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.9      Schnitt SN4, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250
- Anlage 2.10      Schnitt SN5, MdL: 1 : 500, MdH: 1 : 250

### **Anlage 3      Ergebnisse der Erkundungsarbeiten**

- Anlage 3.1      Legende der verwendeten Kurzzeichen
- Anlage 3.2      Ergebnisse der Kernbohrungen KB01/21 bis KB14/21 und Ausbau P19
- Anlage 3.3      Fotodokumentation der Bohrkerne KB01/21 bis KB14/21
- Anlage 3.4      Ergebnisse der Rammkernsondierungen RKS01/21 bis RKS10/21
- Anlage 3.5      Ergebnisse der Drucksondierungen DS01/21, DS01a/21 bis DS06/21

### **Anlage 4      Bodenmechanische und -chemische Laborversuche**

- Anlage 4.1      Ergebnisse der Laboruntersuchungen
- Anlage 4.2      Tabellarische schichtspezifische Zusammenstellung der Ergebnisse
  - Anlage 4.2.1      Schicht S1.2
  - Anlage 4.2.2      Schicht S2.1
  - Anlage 4.2.3      Schicht S2.2
  - Anlage 4.2.4      Schicht S2.3
  - Anlage 4.2.5      Schicht S3.1
  - Anlage 4.2.6      Schicht S3.2
  - Anlage 4.2.7      Schicht S3.3
  - Anlage 4.2.8      Schicht S3.4
  - Anlage 4.2.9      Schicht S4
  - Anlage 4.2.10      Schicht S5
- Anlage 4.3      Zusammenfassung der schichtbezogenen Kornverteilungen

### **Anlage 5      Homogenbereiche**

**Anlage 6      Geotechnisches Erkundungskonzept Erweiterung Deponie Hängelsberge  
vom 23.07.2020**

## 1 VERANLASSUNG UND HERANGEHENSWEISE

### 1.1 Veranlassung

Das Entsorgungszentrum Hängelsberge wird vom Städtischen Abfallwirtschaftsbetrieb (SAB), einem Eigenbetrieb der Stadt Magdeburg, betrieben. In der Deponie der Deponieklasse (DK) II werden Abfälle aus privaten Haushaltungen und Abfälle zur Beseitigung aus anderen Herkunftsbereichen eingebaut, die nicht zur weiteren Verwertung geeignet sind. Der überwiegende Teil des Abfalls stammt aus der Stadt Magdeburg.

Die aktuellen Einlagerungskapazitäten sind kurzfristig erschöpft. Um die Entsorgungssicherheit zu gewährleisten, wird eine Erweiterung der Ablagerungsfläche nach DK II angestrebt.

Das Planungskonzept für die Erweiterung der Deponie Hängelsberge sieht einen stufenweisen Ausbau in 3 Phasen auf einer Gesamtfläche von ca. 10,8 ha vor. Auf der dafür vorgesehenen Fläche wird zurzeit Bodenaushub aus den vorangegangenen Deponieabschnitten gelagert (Bodenlager). Zudem sieht das Konzept eine Absenkung der Deponiebasis unter das bestehende Gelände vor.

Die CDM Smith Consult GmbH wurde mit der Planung der Deponieerweiterung und den geotechnischen Beratungsleistungen gemäß Anlage 1, Abschnitt 1.3 HOAI (2013) beauftragt. Im Auftragsumfang ist als Sonderleistung die Erkundung und Begutachtung des Baugrundes enthalten. Der vorliegende Geotechnische Bericht behandelt ausschließlich die geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet und ist eine der Grundlagen für die Planung der Deponie.

### 1.2 Normen und Richtlinien

Die DIN EN 1997 ist für die geotechnische Planung von Ingenieurbauwerken anzuwenden und behandelt Anforderungen an Festigkeit, Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit.

Deponien sind nach DIN EN 1997-1 [U28] in die geotechnische Kategorie GK 3 einzuordnen und gehören damit zu Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad, welche vertiefte geotechnische Kenntnisse erfordern.

Nach Vorgaben der DIN EN 1997-2 [U29] ist sicherzustellen, dass Aufbau, Beschaffenheit und Eigenschaften des Baugrundes für Planung und Ausschreibung des Bauvorhabens hinreichend bekannt sind. Die DIN 4020 [U30] ergänzt die DIN EN 1997-2 auf nationaler Ebene.

Ergänzend zu den vorstehenden Normen ist im Deponiebau die GDA-Empfehlung E 2-1 - Geotechnische Planung für Deponien [U66] zu berücksichtigen. Danach ist bei der

Baugrunderkundung für Deponien ergänzend zu untersuchen, ob sich der Baugrund als Standortbarriere nach E 1-1 – Geotechnische Standortuntersuchung [U60] eignet.

### 1.3 Vorgehensweise

Am Standort der Deponie Hängelsberge existieren bereits ein Deponiealtkörper und die aktuell betriebene Bestandsdeponie (Teilfelder 1b, 2a und 2b). Für diese Anlagen wurden bereits Baugrunduntersuchungen und -beurteilungen durchgeführt, siehe [U6] bis [U16]. Auch existiert am Standort bereits ein Pegelnetz, welches die geplante Erweiterungsfläche einschließt. Das Pegelnetz wird bereits langfristig zur Überwachung der Grundwasserstände und der Grundwasserbeschaffenheit genutzt. Die Ergebnisse sind in [U4] bis [U6] und [U18] dokumentiert.

Damit liegen für den Standort bereits umfangreiche Vorkenntnisse zu den geotechnischen und hydrogeologischen Verhältnissen sowie zu den Baugrundverhältnissen am Standort vor. Im Rahmen der Herstellung der Basisabdichtung der aktuell betriebenen Bestandsdeponie (Teilfelder 1b, 2a und 2b) wurden zudem Untersuchungen zur Eignung des Baugrundes als Standortbarriere nach GDA E 1-1 durchgeführt.

Unter Berücksichtigung dieser Vorkenntnisse zum Standort und dem geplanten Projektablauf wurde ein Erkundungskonzept erarbeitet und auf die Anforderungen der Hauptuntersuchung nach DIN 4020 bzw. DIN EN 1997-2 ausgelegt, siehe Anlage 6 bzw. [U17].

Bei der Festlegung des Aufschlussrasters wurden die Vorgaben nach DIN EN 1997-2 für großflächige Bauwerke wie Deponien mit einem Rasterabstand von nicht mehr als 60 m als Richtwert und der Empfehlung E 1-1 der GDA mit mindestens einer Kernbohrung je Hektar Untersuchungsfläche umgesetzt. Die Untersuchungstiefe  $z_a$  wurde mit dem 0,8 bis 1,2fachen der geplanten Höhe des Deponiekörpers bzw. mit dem Erreichen des Festgesteins angesetzt. Ausführliche Erläuterungen zum Aufschlusskonzept und den geplanten geotechnischen Untersuchungen sind Anlage 6 zu entnehmen.

Die Erkundungsarbeiten wurden im Zeitraum 01/2021 bis 09/2021 umgesetzt. In einem umfangreichen Laborprogramm wurden die angetroffenen Baugrundsichten hinsichtlich ihrer bodenmechanischen, bodenchemischen und bodenkundlichen Eigenschaften untersucht.

Die Erkundungen sollten insbesondere zur Klärung folgender Sachverhalte dienen:

- Ermitteln der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse,
- Vorhandensein, Tiefenlage und Ausbildung einer als geologische Barriere nutzbaren Baugrundsicht,
- Hydrologische Verhältnisse (Erfassung des aktuellen Grundwasserstands),

- Ermittlung von notwendigen Bodenkennwerten für die Durchführung bodenmechanischer Berechnungen (Setzungs- und Standsicherheitsberechnungen) und weiterer erforderlicher statischer Nachweise,
- Wiederverwendbarkeit des bei der Baumaßnahme anfallenden Bodenaushubs (z.B. zur Deponieabdeckung)
- Verwendbarkeit des auf der künftigen Erweiterungsfläche gelagerten Bodenmaterials und des anfallenden Bodenaushubs.

Im vorliegenden Baugrundgutachten werden die durchgeführten Arbeiten beschrieben und die Ergebnisse der geotechnischen Untersuchungen ausgewertet.

Die vorhandenen Ablagerungen auf dem Bodenlager und die durch Einschnitt der Deponiebasis in den Untergrund anfallenden Aushubmassen sollen zur Ressourcenschonung einer möglichst sinnvollen und nachhaltigen Verwertung zugeführt werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden bereits im Rahmen der geotechnischen Erkundung der Erweiterungsfläche die Aushubmassen hinsichtlich ihrer bodenmechanischen und chemischen Eignung für die geplante Deponieerweiterung und vergleichbare Maßnahmen Dritter untersucht. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der Eignung als mineralische Dichtungsschicht oder geologische Standortbarriere nach Anforderungen der DepV, der Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards (BQS) und der Empfehlungen der GDA. Die Ergebnisse sind in einem gesonderten Bericht [U23] zusammengefasst und bewertet. Diese Unterlage ist dem Planfeststellungsantrag als Anhang 3.2 beigefügt.

## 2 UNTERLAGEN

### Projektspezifische Unterlagen mit Inhalten zu Baugrund- und Grundwasserverhältnissen

- [U1] Leistungsbeschreibung. Ingenieurtechnische Leistungen zur Erweiterung einer Deponie der Deponieklasse II. Vergabe-Nr.: LH MD SAB 076/19. Landeshauptstadt Magdeburg, Eigenbetrieb Städtischer Abfallwirtschaftsbetrieb. Magdeburg, 30.09.2019
- [U2] Deponie Hängelsberge Magdeburg. Projektskizze für die Erweiterung einer Deponie nach DK II am Standort. ICL Ingenieur Consult GmbH. Leipzig, 25.05.2018
- [U3] Weiterbetrieb der Deponie Hängelsberge. Umweltverträglichkeitsuntersuchung. PlanerNetzwerk PLA.NET. Kemmlitz, 11.01.2008
- [U4] Deponie Hängelsberge. Aktualisierung der Gefährdungsabschätzung. Bewertung der Entwicklungstendenzen des Schutzgutes Grundwasser. ICL Ingenieur Consult GmbH. Leipzig, Mai 2014
- [U5] Grundwassermonitoring Deponie Magdeburg-Hängelsberge. Berichte 2015 bis 2019. Ifu GmbH. Stendal, verschiedene Jahrgänge
- [U6] Abschlussbericht. Geologisch- hydrologische Situation. Deponie Magdeburg-Hängelsberge. GFE GmbH Halle, Filiale Stendal. Stendal, 29.11.1991
- [U7] Erkundungs- und Laborergebnisse, Ausbau der Grundwassermessstellen Aufschlussbohrungen Deponie Hohendodeleben. Industrie- und Bohr-GmbH Stendal. August 1991
- [U8] Übergabeprotokoll zu Grundwassermessstellen. Privates Institut für Umweltüberwachung IfU Stendal GmbH. Stendal, 04.12.1991
- [U9] Magdeburg, Deponie Hängelsberge, Oberflächenabdeckung des Altkörpers, Eigentumsuntersuchungen von Vorratsmieten, 06.03.2001, GGU mbH,
- [U10] Weiterbetrieb der Deponie Hängelsberge, Erdstatische Berechnungen zur Ausführung des Bauabschnittes 2, b.i.g,
- [U11] Schichtenverzeichnis der Baugrundbohrungen 1 — 13, IfU GmbH, Dezember 1991,
- [U12] Deponie Hängelsberge Teilfeld 1b. Bericht zur Erkundung der geologischen Barriere. Dr.-Ing. Meyer-Zurwelle und Partner Ingenieur- und Umwelttechnik itu. Goslar, September 1995
- [U13] Deponie Hängelsberge Teilfeld 2b, Erkundung der geologischen Barriere. Ergebnisse der Felderkundung und Materialuntersuchung. Beratende Ingenieure und Geologen b.i.g. GmbH. Clausthal-Zellerfeld, 22.03.2002
- [U14] Deponie Hängelsberge/ Magdeburg. Ergebnisse von Laborprüfungen. Geotechnisches Ingenieurbüro Dr. Kirchberg & Ecke GmbH GCE. Magdeburg, 20.10.1994
- [U15] Deponie Hängelsberge Magdeburg. Planung Erweiterung nach DK II. Geotechnische Erkundung Erweiterungsfläche. Prüfbericht 5479/21 und Laborprotokolle zu den Laboruntersuchungen. Gesellschaft für Grundbau und Umwelttechnik GGU mbH. Osterweddingen, 27.01.2022

- [U16] Dokumentation Erweiterung Deponie Hängelsberge Baugrunderkundung Los 1. Fa. Rudolph GmbH. Tangermünde, 15.11.2021
- [U17] Deponie Hängelsberge Magdeburg. Planung Erweiterung nach DK II. Geotechnisches Erkundungskonzept: CDM Smith Consult GmbH. Leipzig, 23.07.2020
- [U18] Grundwassermonitoring und Prüfberichte Deponie Magdeburg-Hängelsberge, Jahre 2015 bis 2020.
- [U19] Prüfbericht Grundwasser Deponie Hängelsberge Grundwassermessstelle P19. Öhmi Analytik GmbH. Magdeburg, 29.10.2021
- [U20] Grundwassermonitoring im Einzugsbereich der Deponie Magdeburg-Hängelsberge Herbst 2021. Öhmi Analytik GmbH, Oktober 2021
- [U21] Deponie Hängelsberge Magdeburg. Planung Erweiterung nach DK II. Ergebnisse der Versickerungsversuche. CDM Smith Consult GmbH. Leipzig, 18.01.2022
- [U22] Landeshauptstadt Magdeburg. Magdeburg – auf Fels gebaut. Stadtplanungsamt Magdeburg/ Landesamt für Geologie und Bergwesen Sachsen-Anhalt. Magdeburg, Juli 2005
- [U23] Deponie Hängelsberge Magdeburg. Planung Erweiterung nach DK II. Geotechnische Bewertung Erdstoffe Bodenlager und Aushub: CDM Smith Consult GmbH. Leipzig, 20.12.2021
- [U24] Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt: Schreiben zur Unterrichtung über den Untersuchungsrahmen gemäß § 15 UVPG für das Vorhaben: Erweiterung der Deponie Magdeburg-Hängelsberge vom 02.03.2021

### **Normen, Technische Regelwerke**

- [U25] Deponieverordnung-DepV: Verordnung über Deponien und Langzeitlager vom April 2009, zuletzt geändert im September 2017
- [U26] LAGA Ad-hoc-AG „Deponietechnik“: Bundeseinheitlicher Qualitätsstandards, Teile 1 bis 7 veröffentlicht 2015 - 2021
- [U27] DIN 19667: Dränung von Deponien – Planung, Bauausführung und Betrieb, Stand 08/2015
- [U28] EC7, DIN EN 1997 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik., Teil 1 Allgemeine Regeln vom Mai 2014
- [U29] EC7, DIN EN 1997 Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrundes vom Oktober 2010
- [U30] DIN 4020, Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2 vom Dezember 2010
- [U31] EC8, DIN EN 1998-1 Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben, Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbau vom Dezember 2010, Erdbebenzonenkarte des nationalen Anhangs

- [U32] DIN EN ISO 22475 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Probenentnahmeverfahren für Boden, Fels und Grundwasser - Teil 1: Technische Grundlagen, ENT-WURF Stand 09/2019
- [U33] DIN EN ISO 22476 Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen - Teil 1: Drucksondierungen mit elektrischen Messwertaufnehmern und Messeinrichtungen für den Porenwasserdruck Stand 10/2013
- [U34] DIN EN ISO 22476 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 2: Rammsondierungen, Stand 03/2012
- [U35] DIN EN ISO 22476 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Felduntersuchungen - Teil 3: Standard Penetration Test, Stand 03/2012
- [U36] DIN EN ISO 14688 Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung, Stand 05/2018
- [U37] DIN 4022-1 Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und Fels Stand 09/1987 (zurückgezogen)
- [U38] DIN 4022-3 Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels, Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernten Proben im Boden, Stand 05/1982 (zurückgezogen)
- [U39] DIN EN ISO 17892-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts, Stand 03/2015
- [U40] DIN EN ISO 17892-2: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 2: Bestimmung der Dichte des Bodens, Stand 03/2015
- [U41] DIN EN ISO 17892-3: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 3: Bestimmung der Korndichte, Stand 07/2016
- [U42] DIN EN ISO 17892-4: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 4: Bestimmung der Korngrößenverteilung, Stand 04/2016
- [U43] DIN EN ISO 17892-5: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 5: Ödometersversuch mit stufenweiser Belastung, Stand 05/2017
- [U44] DIN EN ISO 17892-7: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 7: Einaxialer Druckversuch, Stand 05/2018
- [U45] DIN EN ISO 17892-10: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 10: Direkte Scherversuche, Stand 04/2019
- [U46] DIN EN ISO 17892-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit, Stand 05/2019
- [U47] DIN EN ISO 17892-12: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 12: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen, Stand 07/2020

- [U48] DIN 18122 Baugrund – Untersuchung von Bodenproben – Zustandsgrenzen (Konsistenzgrenzen) - Teil 2: Bestimmung der Schrumpfgrenze, Stand 09/2000
- [U49] DIN 18126 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung der Dichte nicht-bindiger Böden bei lockerster und dichtester Lagerung, Stand 11/1996
- [U50] DIN 18128 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung des Glühverlustes, Stand 12/2002
- [U51] DIN 18129 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Kalkgehaltsbestimmung, Stand 07/2011
- [U52] DIN 18127 Baugrund, Untersuchung von Bodenproben, Proctorversuch, Stand 09/2012
- [U53] DIN 18132 Baugrund, Versuche und Versuchsgeräte – Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens, Stand 04/2012
- [U54] DIN 18300 VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Erdarbeiten. Stand 2012
- [U55] DIN 4020 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN). Berlin, September 2003
- [U56] DIN 18196 Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- [U57] DIN 4124 Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau und Abraumbreiten. Stand 01/2012
- [U58] ZTV E-StB Ausgabe 2009: Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau. Rudolf Floss. 4. Auflage. Kirschbaum Verlag. Bonn, 2009
- [U59] Empfehlungen des Arbeitskreises 6.1 – Geotechnik der Deponiebauwerke (GDA-Empfehlungen) der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. DGGT, Stand 2020
- [U60] GDA, Geotechnik der Deponiebauwerke, Empfehlung E 1-1: Geotechnische Standortuntersuchung vom Juli 2010
- [U61] Grundbau Taschenbuch Teil 1: Geotechnische Grundlagen. 8. Auflage. Karl Josef Witt (Hrsg.). Ernst & Sohn. Berlin, 2017
- [U62] Grundbau Taschenbuch Teil 2: Geotechnische Verfahren. 8. Auflage. Karl Josef Witt (Hrsg.). Ernst & Sohn. Berlin, 2018
- [U63] Sondierungen und deren Bewertung. Dipl.-Ing. Frank Liebetruh (BAW). 65. Deutsche Brunnenbauertage und BAW-Baugrundkolloquium. Rostrup/ Bad Zwischenahn, 7.-9. Mai 2014
- [U64] Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. 20. Auflage. Werner Verlag. 2012
- [U65] EAU (2012): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen. 11. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin, 2012
- [U66] GDA E 2-1: Geotechnische Aspekte der Deponieplanung. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. DGGT. November 2020.

## Sonstige Literatur

- [U67] Geologie von Sachsen-Anhalt. Herausgegeben von Bachmann, Ehling, Eichner und Schwab. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller). Stuttgart, 2008

### 3 UNTERSUCHUNGSGEBIET UND BAUAUFGABE

#### 3.1 Lage und örtliche Situation

Der Standort der Deponie Hängelsberge liegt im Westen der Stadt Magdeburg im Land Sachsen-Anhalt und gehört zum Stadtteil Ottersleben. Direkt westlich der Deponie verläuft die Autobahn A14 und nördlich die Hohendodelebener Chaussee, die Verbindungsstraße Ottersleben-Hohendodeleben. Im Osten schließen Ackerflächen an das Betriebsgelände an. Im Süden verläuft die Königsstraße, siehe Anlage 1.1.

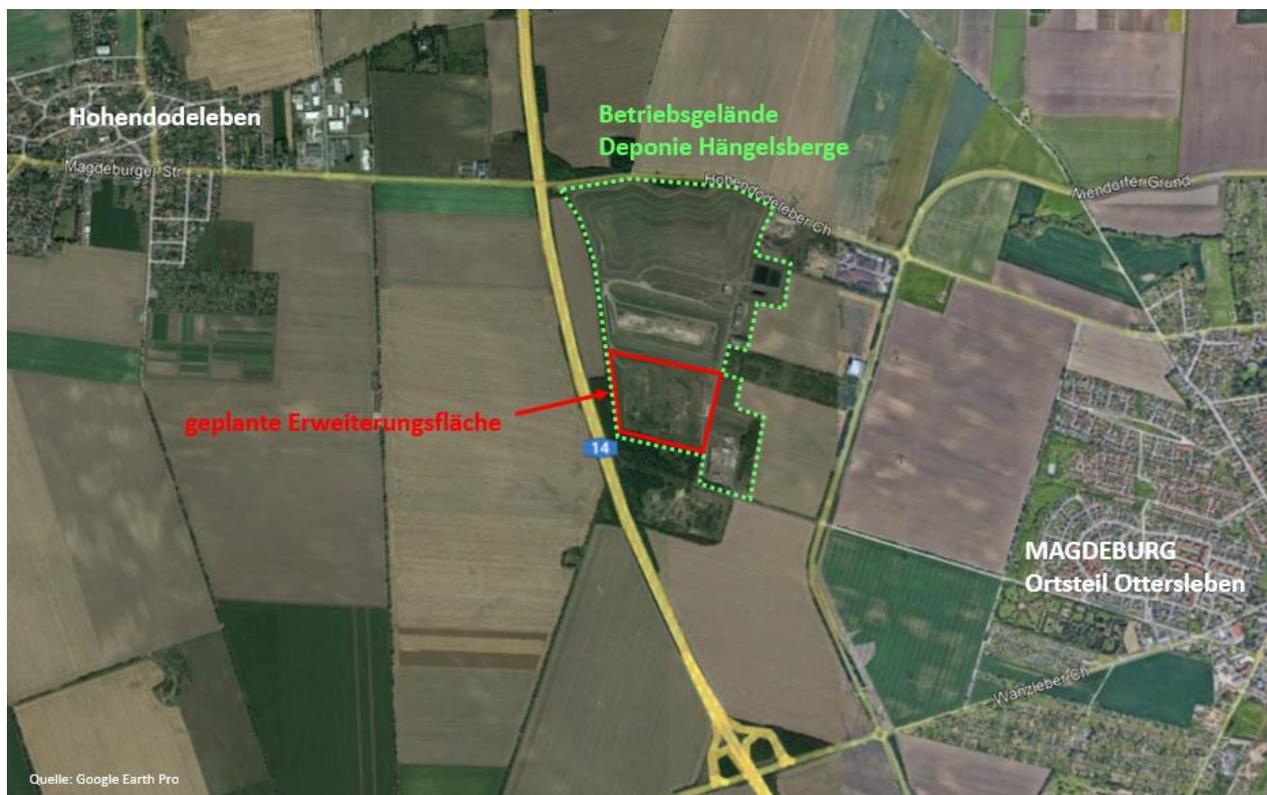


Abbildung 3.1 Lage des Bearbeitungsgebiets

Das Betriebsgelände des Entsorgungszentrums Hängelsberge umfasst neben einem Eingangs- und Kleinanlieferbereich eine in der Nachsorgephase befindliche Altdeponie, eine aktive Deponie (DK II) sowie technische Anlagen zur Niederschlagswasser-, Sickerwasser- und Gasfassung bzw. -behandlung und -ableitung. An den aktiven Ablagerungsbereich schließt sich südlich die geplante Erweiterungsfläche an, welche derzeit als Bodenlager für Aushub aus vorangegangenen Deponiebaumaßnahmen genutzt wird.

Das Gelände der geplanten Erweiterungsfläche ist an seiner nördlichen Grenze durch einen Betriebsweg vom aktiven Ablagerungsbereich getrennt. Die Erweiterungsfläche ist im westlichen

und zentralen Teil relativ eben und steigt nach Westen leicht an. Nach Osten zur Deponiestraße und nach Süden zur Grenze des Betriebsgeländes fällt das Gelände in relativ flach geneigten Böschungen ab. Das auf der Erweiterungsfläche angelegte Bodenlager ist anhand der Geländemorphologie nur bedingt identifizierbar. Im nordöstlichen Bereich der Erweiterungsfläche ist ein Sammel- und Versickerungsbecken für Niederschlagswasser angelegt worden, das zum Bearbeitungszeitraum jedoch trocken lag.

Die Erweiterungsfläche wie auch die begrenzenden Böschungen sind vollständig mit Gräsern und vereinzelt mit Büschen (Sanddorn) und jungen Bäumen (Pappeln, Robinien) bewachsen.

### 3.2 Bauvorhaben

Es ist geplant den Deponieenkörper auf einer Grundfläche von ca. 10,8 ha anzulegen und bis zu einer Endhöhe (OK Reku-Schicht) von ca. 142 m HN zu führen. Der Deponieenkörper wird an die südliche Böschung der derzeit aktiv Deponie angelehnt und der bestehende Deponiekörper um weitere 10 m erhöht (Endzustand). Die Erweiterung soll in insgesamt 3 Deponieabschnitten (DA) erfolgen.

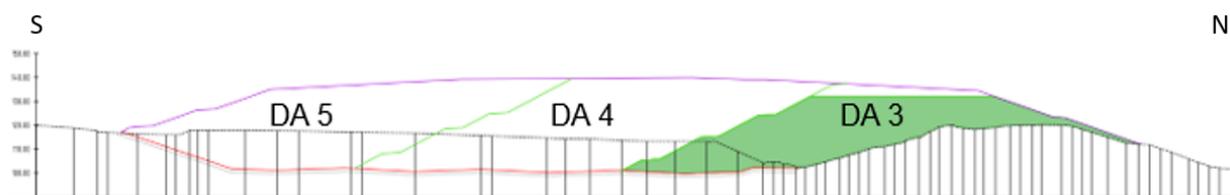


Abbildung 3.2 Konzeptskizze der geplanten Erweiterung

Auch im Erweiterungsabschnitt soll eine Ableitung des Sickerwassers im freien Gefälle erfolgen. Das Gefälle der Deponiebasis wird mit mindestens 1 % längs und 3 % quer ausgebildet. Der Abstand zwischen den Sickerwasserdränagen beträgt 60 m. Die Oberkante des Basisabdichtungssystems kommt im Höhengniveau zwischen ca. +97,5 und 104,5 m HN zu liegen. Die Unterkante der 1,0 m mächtigen geologischen Barriere ist bei einem Regelaufbau des Basisabdichtungssystems von ca. 1,5 bis 1,6 m Mächtigkeit (Basisabdichtung und geologische Barriere) im Höhengniveau zwischen ca. +95,9 und 102,9 m ü NHN zu erwarten. Die maximale Deponieendhöhe einschließlich Oberflächenabdichtung und Rekultivierungsschicht beträgt ca. 40 m.

Die Errichtung eines Systems zur Deponiegasfassung ist aufgrund der geplanten Einlagerung ausschließlich inerter Abfallstoffe nicht notwendig.

### 3.3 Erdbebeneinwirkung

Gemäß Erdbebenzonenkarte [U31] ist der Standort der Deponie Hängelsberge keiner Erdbebenzone zuzuordnen. Die Bodenbeschleunigung  $S_{ap,R}$  in dieser Region ist mit  $S_{ap,R} \leq 0,1 \text{ m/s}^2$  vernachlässigbar.

## **4 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN**

### **4.1 Felduntersuchungen**

#### **4.1.1 Rammkernsondierungen (RKS)**

Es wurden insgesamt 10 Rammkernsondierungen durchgeführt [U16]. Die Lage der Rammkernsondierungen ist in Anlage 1.2 dargestellt.

Die Rammkernsondierungen geben Aufschluss über die Schichtung des Baugrunds und ermöglichen die Entnahme gestörter Bodenproben. Des Weiteren kann bei Wasseranschnitt der Grundwasserstand erfasst werden.

Vier RKS wurden an den Standorten der künftigen Sammelschächte der Sickerwasserfassung am östlichen Rand der Erweiterungsfläche realisiert, um den Baugrund der Schächte zu untersuchen.

Weitere 4 RKS wurden im südlichen und westlichen Randbereich der Erweiterungsfläche angeordnet. Primäres Ziel war es hier, das dort angelegte Bodenlager zu erkunden.

Zur Untersuchung des Anschlussbereiches an den Bestand wurden 2 weitere RKS an der nördlichen Grenze des Erweiterungsbereichs an der Betriebsstraße angeordnet.

Die geplante Erkundungstiefe lag jeweils bei 15 m. Infolge der unerwartet hohen Rammwiderstände der angetroffenen Baugrundsichten wurde die geplante Erkundungstiefe nicht erreicht. Die Rammkernsondierungen mussten bereits nach Erkundungsteufen von 5,7 m bis 11,0 m abgebrochen werden. Je Sondiermeter und bei Schichtwechsel waren gestörte Proben zu entnehmen.

Trotz geringerer Aufschlusstiefe wurden in den Sondierungen Ergebnisse erzielt, die insbesondere im Zusammenhang mit den umliegenden Aufschlüssen (weitere RKS, Kernbohrungen) eine Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Bauaufgabe ermöglichen.

Die Ergebnisse der Rammkernsondierungen sind in Abschnitt 5.3 zusammengefasst.

#### **4.1.2 Drucksondierungen (DS)**

Es wurden insgesamt 6 Drucksondierungen durchgeführt [U16]. Die Lage der Drucksondierungen ist in Anlage 1.2 dargestellt. Die Drucksondierungen wurden als elektrische Drucksondierungen, auch CPT (Cone Penetration Test) genannt, gemäß DIN 4094 mit einer 15 cm<sup>2</sup> Kegelspitze und einer 225 cm<sup>2</sup> Reibungshülse ausgeführt.

Die Drucksondierungen wurden zur Ergänzung der Kernbohrungen und Verdichtung des Aufschlussrasters abgeteuft. Als indirekte Aufschlussmethode ermöglichen Drucksondierungen über Messung der Parameter Spitzendruck und Mantelreibung und das daraus resultierende Reibungsverhältnis

- die Erkundung der Verbreitung bindiger Schichten im Teufenbereich der geplanten geologischen Barriere
- Aufschluss über die Lagerungsdichte der durchteuften Schichten
- Erfassung des Grundwasserstands

Die geplante Erkundungstiefe betrug 22...30 m. Infolge der unerwartet hohen Festigkeit der angetroffenen Baugrundsichten wurde die geplante Erkundungstiefe nicht erreicht. Die Drucksondierungen mussten bereits nach Erkundungsteufen von 5,8 m bis 14,4 m wegen Auslastung des Sondiergerätes abgebrochen werden.

Trotz geringerer Aufschlusstiefe wurden in den Sondierungen Ergebnisse erzielt, die insbesondere im Zusammenhang mit den umliegenden Aufschlüssen (RKS, Kernbohrungen) eine Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Bauaufgabe ermöglichen.

Die Ergebnisse der Drucksondierungen sind in Abschnitt 5.4 zusammengefasst.

#### **4.1.3 Kernbohrungen**

Es wurden insgesamt 14 Kernbohrungen durchgeführt [U16]. Die Lage der Kernbohrungen ist in Anlage 1.2 dargestellt.

Die Kernbohrungen dienen der Erfüllung folgender Erkundungsaufgaben:

- Gewinnung von Bohrkernen im Linerverfahren zum Aufschluss der Schichtenfolge und Erfassung der Schlagzahlen je Bohrmeter (Abschätzung der Lagerungsdichte)
- Gewinnung ungestörter Bodenproben in festgelegten Teufenbereichen in Stutzen
- Gewinnung gestörter Bodenproben in sogenannten Becherproben (1-l-Becher) je lfm bzw. bei Schichtwechsel
- Gewinnung größerer Probenmengen in sogenannten Kübelproben (5-l- und 10-l-Eimer) in festgelegten Teufenbereichen
- Durchführungen von Standard Penetration Tests (SPT) im Bohrloch in rolligen Schichten in festgelegten Teufenbereichen zur Erfassung der Lagerungsdichte
- Erfassung des Grundwasserstands bei Wasseranschnitt
- Ggf. Ausbau ausgewählter Kernbohrungen zu Grundwassermessstellen

Die geplante Erkundungstiefe betrug 29... 71 m. Bei ca. 65... 68 m NHN wurde das prätertiäre Festgestein angetroffen und die betreffenden Kernbohrungen abgebrochen, sodass nicht in allen Bohrungen die geplante Aufschlusstiefe realisiert wurde.

Eine Erkundung des Festgesteins war nicht erforderlich, da diese Baugrundschrift für eine Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Bauaufgabe nicht von Bedeutung ist.

Die Ergebnisse der Kernbohrungen sind in Abschnitt 5.5 zusammengefasst.

#### **4.1.4 Grundwassermessstellen (GWM)**

Der Standort verfügt über ein umfangreiches Messnetz von Grundwassermessstellen. In [U24] wurde durch die Genehmigungsbehörde empfohlen, das vorhandene Messnetz nach Südosten um mindestens eine Messstelle an der südöstlichen Grenze des Erweiterungsgebietes zu erweitern. Dieser Forderung wurde nachgekommen und die Kernbohrung KB14/21 an der Südost-ecke der Erweiterungsfläche zur GWM P19 ausgebaut. Zur Lage der GWM siehe Anlage 1.2. Die Messstelle dient der Erfassung des Wasserstands und des Grundwasserchemismus im Abstrom der Deponie.

Der detaillierte Ausbau ist in Anlage 3.2 ersichtlich.

Die aus der GWM gewonnenen Ergebnisse sind in Abschnitt 5.6 zusammengefasst.

#### **4.1.5 Bohrungen für Versickerungsversuche**

Zur Untersuchung der Versickerungsleistung oberflächennah anstehender Bodenschichten in Feldversuchen wurden 4 Bohrungen mit temporärem Ausbau zu Versickerungsbrunnen mit einer Tiefe von 5... 6 m u. GOK abgeteuft. Die Lage ist in Anlage 1.2 ersichtlich. Die Schichtenfolge gemäß [U16] wird in den Baugrundschnitten in Anlage 2 abgebildet.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Versickerungsversuche erfolgte in [U21].

### **4.2 Bodenphysikalische und chemische Laboruntersuchungen**

An den in den direkten Aufschlüssen (Rammkernsondierungen und Kernbohrungen) gewonnenen gestörten und ungestörten Bodenproben wurde ein umfangreiches Laborprogramm zur Bestimmung bodenmechanischer, -chemischer und -kundlicher Parameter durchgeführt [U15]. Art

und Anzahl der Versuche sowie zugrundeliegende Normen und Regelwerke sind in Tabelle 4.1 zusammengefasst.

Tabelle 4.1 Bodenmechanisches /-chemisches Laborprogramm

Versuchsbezeichnung	gültige Norm	Anzahl der durchgeführten Untersuchungen
Wassergehalt	DIN EN ISO 17892-1	90
Feuchtdichte	DIN EN ISO 17892-2	33
Trockendichte	DIN EN ISO 17892-2	30
Korndichte	DIN EN ISO 17892-3	5
Korngrößenverteilung - kombinierte Analyse	DIN EN ISO 17892-4	72
Korngrößenverteilung - Siebung	DIN EN ISO 17892-4	33
Kompressionsversuch (Ödometerversuch)	DIN EN ISO 17892-5	8
Einaxialer Druckversuch	DIN EN ISO 17892-7	4
direkter Scherversuch (Reibungswinkel / Kohäsion)	DIN EN ISO 17892-10	13
Wasserdurchlässigkeit Triaxialversuch	DIN EN ISO 17892-11	23
Fließ- und Ausrollgrenze	DIN EN ISO 17892-12	31
Schrumpfgrenze	DIN 18122	12
Glühverlust	DIN 18128	41
Kalkgehalt	DIN 18129	37
Proctordichte	DIN 18127	3
Wasseraufnahmevermögen	DIN 18132	14
Quellversuch	in Anlehnung an DGGT-Empfehlung Nr. 11	9
Mineralogie, halbquantitative mineralogische Untersuchung (Tonminerale Montmorillonit, Mixed Layer, Illit, Kaolinit sowie deren Dominanz)	in Anlehnung an GDA E3-03	7
Nutzbare Feldkapazität	in Anlehnung an Bodenkundliche Kartieranleitung KA5 und DIN EN ISO 11274	8
Bodenchemische Analysen gemäß Laga, Tabelle II.1.2-1 Boden Feststoff und Eluat einschließlich Bestimmung der Ergänzungsparameter nach DepV Tabelle 2, Spalte 4 (Geologische Barriere) und Spalte 9 (Rekuschiicht)	LAGA	8
	DepV, Sp. 4 + 9	6 + 9

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen werden in Abschnitt 5.7 und Abschnitt 5.9 ausgewertet.

## 5 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

### 5.1 Geologische Verhältnisse und Baugrundsichtung

Das Bearbeitungsgebiet ist Teil des Nördlichen Harzvorlands und liegt auf der Nördlichen Subherzynen Scholle. Die Subherzyne Scholle wird im Süden durch den Harz, im Norden durch die Flechtingen-Roßlau-Scholle mit dem Flechtinger Höhenzug begrenzt. Auf der Subherzynen Scholle werden die Gesteine des Grundgebirges von Sedimentgesteinen des Zechsteins, der Trias (Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper), des Jura und der Kreide überdeckt. Durch komplexe tektonische Vorgänge wurden zahlreiche Schichtlücken und Diskordanzen bedingt. Auf die Sedimentgesteine des Tafelstockwerkes folgen tertiäre und quartäre Bildungen, die im Bearbeitungsgebiet die für die Bauaufgabe dominierenden stratigrafischen Einheiten darstellen [U67].

Mit den durchgeführten Erkundungsbohrungen konnte die Stratigrafie bis zum Festgesteinshorizont aufgeschlossen werden. Tabelle 5.1 gibt eine Übersicht über die erkundeten Schichten und ihre Zusammensetzung. Die geologischen Standortverhältnisse sind vor allem von quartären Bildungen geprägt. Die pleistozänen Schichten wurden durch den Wechsel von Kalt- und Warmzeiten teilweise stark überprägt. Auf der geplanten Erweiterungsfläche wurde außerdem ein Bodenlager angelegt. Dadurch werden die natürlich gewachsenen Schichten bereichsweise durch umgelagertes Bodenmaterial überdeckt.

Tabelle 5.1 Erkundete Schichten im Bearbeitungsgebiet

Schichtnummer	Kurzbezeichnung	Charakteristik
S1.1	Mutterboden	stark durchwurzeltes, humoses Material
S1.2	Auffüllung	anthropogen umgelagertes Bodenmaterial (Bodenlager): bindiges und rolliges Material, teilweise kleinräumig variierend (heterogen zusammengesetzt)
S2.1	Löss, Feinsand	Schluffe, Feinsande, teilweise mit tonigen Zwischenlagen
S2.2	sandige Tone / Schluffe	bindiges Material mit variablem Anteil rolligen Materials
S2.3	Sand, schluffig	Sande mit variablem Anteil bindigen Materials (Schluff)
S3.1	Schluff, sandig	Schluffe, teilweise tonig, mit variablem Anteil rolligen Materials
S3.2	Sand	Sande feiner bis grober Körnung, teilweise mit kiesigen Beimengungen, teilweise (schwach) schluffig
S3.3	Geschiebemergel (Saale)	Schluffe und Tone, sandig, kiesig, tlw. steinige Beimengungen
S3.4	Sande / Kiese (GWL 3)	Sande und Kiese mit auffälliger gradierter Schichtung (Fein- / Mittelsande im Hangenden, Grobsand/ Kies im Liegenden), Hauptgrundwasserleiter im Bearbeitungsgebiet
S4	Geschiebemergel (Elster)	Schluffe und Tone, sandig, kiesig, tlw. steinige Beimengungen
S5	Grünsand	Basisschichten der ansonsten erodierten Rupelfolge, im Bearbeitungsgebiet als Lockergestein angetroffen, stark schluffige Feinsande von meist auffällig dunkelgrüner Farbe, lokale Bezeichnung „Magdeburger Sande“

Schicht-nummer	Kurzbezeichnung	Charakteristik
S6	Festgestein	Ansprache aus Bohrgut nicht möglich, vermutlich Ton-, Mergel- bzw. Sandstein der Trias

Die Schicht S1.1 wird von Mutterboden gebildet. Hierbei handelt es sich im Bearbeitungsgebiet größtenteils um durch Bodenbildungsprozesse umgewandeltes holozänes Material, meist Schwemmlöss. Die Bodenschicht ist stark durchwurzelt und weist einen hohen Anteil an organischem Material auf (Wurzel, Pflanzenreste etc.). Mutterboden wurde nur lokal begrenzt in den Randbereichen des Bearbeitungsgebiets angetroffen.

An der Geländeoberfläche wurde vor allem anthropogenes, d.h. umgelagertes Material erkundet (Auffüllungsmaterial) (S1.2). Es ist davon auszugehen, dass der Bewuchs und der Oberboden vor der Anlage dieser Auffüllung (Bodenlager) abgetragen wurden, da nur vereinzelt Pflanzenreste und humushaltige Schichten angetroffen wurden. Die Schicht 1.2 besteht aus umgelagertem Aushubmaterial aus den Erschließungsarbeiten für die bestehenden Deponiekörper. Sie umfasst im Wesentlichen das auf der Erweiterungsfläche angelegte Bodenlager aus den Aushubmassen vorangegangener Baumaßnahmen. Die Auffüllungsmassen S1.2 sind sehr inhomogen. Es finden sich Bereiche mit eher bindigem Auffüllungsmaterial. In anderen Bereichen des Bodenlagers fällt das Material eher rollig aus. Der Schichtwechsel zwischen den verschiedenen Materialien kann kleinskalig sein und im cm-Bereich schwanken. Durch seine Genese ist das Auffüllungsmaterial in den Kernbohrungen teilweise nur schwer vom unterlagernden gewachsenen Material zu unterscheiden, besonders, wenn vor Auftrag der Auffüllung der Oberboden abgetragen wurde. Die Mächtigkeit schwankt bereichsweise, ist aber i.A. im zentralen Teil der Erweiterungsfläche am größten und erreicht eine maximale erkundete Mächtigkeit von etwa 6 m.

Im Liegenden dieser Auffüllung wurden vereinzelt noch vorhandene holozäne Schichten (Mutterboden, Schwemmlöß) (S1.1), im Wesentlichen aber weichselzeitliche Schichten (Löß, Sande in Wechsellagerung mit Tonen und Schluffen) (S2.1 bis S2.3) erkundet. Der Aufbau dieses stratigraphischen Abschnitts ist sehr heterogen, was vermutlich in wechselnden Ablagerungsbedingungen während der Weichseleiszeit begründet ist.

Die Schicht 2.1 beinhaltet vor allem den für die Magdeburger Börde und das Harzvorland charakteristischen Löss. Dabei handelt es sich um meist kalkhaltige Schluffe, die während der Eiszeit äolisch transportiert und abgelagert wurden. Ebenfalls in dieser Schicht enthalten sind Feinsande, die ebenfalls äolisch transportiert wurden (Dünensande), in Wechsellagerung mit Tonen und Schluffen. Äolische Sedimente weisen oft eine lockere, sackungsempfindliche Lagerung auf.

Die Schicht S2.2 wird aus bindigem Material (Schluffe und Tone) gebildet, die einen variablen Anteil rolligen Materials, vor allem Fein- und Mittelsand, vereinzelt auch gröbere Körnungen, aufweisen. Werden sie direkt von saalezeitlichem Geschiebemergel (S3.3) unterlagert, ist eine stratigraphische Trennung der Schichten teilweise schwierig.

Die Schicht 2.3 sind Sande, vor allem Mittelsande, teilweise stark feinsandig, teilweise mit grobsandigen Anteilen. Sie weisen einen variablen schluffigen Anteil auf, sind aber i. A. eher schwach schluffig ausgebildet.

Die sandigen Schluffe und Sande der Schichten S2.2 und S2.3 bilden hier den Grundwasserleiter (GWL) 2, an dem jedoch lokal auch saalezeitliche Nachschüttbildungen Anteil haben. Die Klassifizierung der Schicht als Grundwasserleiter trifft nicht durchgehend zu, da das Material aufgrund seines hohen feinkörnigen Anteils zum Teil eher die Charakteristik eines Grundwassergeringleiters (GWGL) besitzt. Der GWL 2 ist im Bearbeitungsgebiet nur sporadisch wasserführend. Während der Ausführung der Erkundungsarbeiten wurde, nur in einzelnen Bohrungen Wasser angetroffen.

Die Grenze zwischen weichsel- und saalezeitlichem Ablagerungsregime ist unsicher. Charakteristisch für die Hangendbereiche des saalezeitlichen Stratigrafiebereichs ist ein teilweise von Ton- und Schlufflagen (S3.1), teilweise von Sanden (S3.2) begleiteter Geschiebemergel (S3.3).

Die Schicht S3.1 ist ein saalezeitlicher sandiger Schluff bzw. Ton (lokal). Seine rolligen Anteile umfassen das Spektrum Feinsand bis Feinkies. Die Schicht S3.1 wurde im nordwestlichen Bereich der Erweiterungsfläche erkundet und weist eine abnehmende Mächtigkeit bis zum Auskeilen der Schicht Richtung Osten und Süden auf und ist dementsprechend nicht im gesamten Bearbeitungsgebiet vorhanden.

In Schicht 3.2 sind schwach schluffige bis reine Sande, vor allen Fein- und Mittelsande zusammengefasst, die im Bearbeitungsgebiet im Wesentlichen den Grundwasserleiter GWL 2 bilden.

Die Schicht 3.3 ist der saalezeitliche Geschiebemergel. Dabei handelt es sich um Schluff bzw. Ton mit einem breiten Spektrum rolliger Bestandteile, die von Feinsand bis Grobkies, teilweise auch Steinen reichen. Innerhalb des Geschiebemergels treten lokal und regellos verbreitete mehr oder weniger stark ausgebildete sandige Partien auf, die temporär Schichtenwasser führen können. Auch ein Vorkommen von Findlingen (Geschieben) ist im Geschiebemergel nicht auszuschließen. Der Geschiebemergel der Schicht S3.3 wurde in den Bohrungen zumeist nahezu trocken und sehr fest erkundet. Der Geschiebemergel enthält Zwischenlagen aus Sanden und bindigem Material und besitzt variable Mächtigkeiten von 2...> 10 m. Die Oberfläche dieses Geschiebemergels wurde im Niveau von etwa 96...106 m NHN erkundet. Im Gegensatz dazu ist seine Liegendgrenze im Niveau von 93...97 m NHN nahezu sölilig-eben ausgebildet.

Im Liegenden des Geschiebemergels S3.3 folgt der GWL 3 (S3.4), der aus saalezeitlichen Schmelzwassersanden und -kiesen gebildet wird, die i. A. eine gradierte Schichtung von Fein-/ Mittelsanden im Hangenden zu Grobsanden und Kiesen im Liegenden aufweisen. Der GWL 3 stellt den Hauptgrundwasserleiter im Bearbeitungsgebiet dar. Er weist eine konstante Mächtigkeit von etwa 14...16 m auf. Das Grundwasser im GWL 3 wurde bei ca. 87 m NHN aufgeschlossen.

Der Liegendstauer des GWL 3 wird von einem elsterzeitlichen Geschiebemergel (S4) gebildet. Im Vergleich zu S3.3 ist dieser Geschiebemergel etwas sandiger ausgebildet. Innerhalb des Geschiebemergels treten lokal und regellos verbreitete mehr oder weniger stark ausgebildete sandige Partien auf, die temporär Schichtenwasser führen können. Auch ein Vorkommen von Findlingen (Geschieben) ist im Geschiebemergel nicht auszuschließen. Er weist eine relativ einheitliche Mächtigkeit von etwa 10...14 m und nahezu horizontale Lagerung auf. Der elsterzeitliche Geschiebemergel bildet die Grenze des Quartärs im Bearbeitungsgebiet.

Im Liegenden dieser Schicht folgen die regionaltypischen oligozänen Rupelbasissande (Grünsand, Magdeburger Sande), die hier als Lockergestein anstehen. Auffällig bei diesen stark schluffigen Feinsanden ist die dunkelgrüne, teilweise fast schwarze Farbe. Diese Schicht ist mit etwa 0,7...1,4 m nur geringmächtig ausgebildet.

Die tiefste erkundete Schicht ist prätertiäres, triassisches Festgestein. Es wurde in einer Teufe von 65...68 m NHN angetroffen.

## 5.2 Baugrundschnitte

Aus der Ansprache der Bohrkernprofile resultieren die in Anlage 3.2 dargestellten Bohrprofile. Diese waren Grundlage für die Erstellung von Baugrundschnitten. Ergänzt wurden die Ergebnisse der Kernbohrungen dazu mit den Bohrprofilen aus den Rammkernsondierungen, siehe Anlage 3.4, der Brunnenbohrungen für Versickerungsversuche [U21] und Altbohrungen [U6], [U7].

Es wurden insgesamt 10 Baugrundschnitte erstellt, siehe Anlage 2. Der Verlauf der Schnittspuren ist aus Anlage 1.2 ersichtlich.

Fünf Schnitte verlaufen in West-Ost-, weitere fünf in Nord-Süd-Richtung. In den Schnitten werden zusätzlich Ober- und Unterkante der geplanten geologischen Barriere sowie die künftige Auftragsmächtigkeit und -kontur des geplanten erweiterten Deponiekörpers dargestellt, siehe Anlage 2.

## 5.3 Ergebnisse der Rammkernsondierungen

Die Schichtenverzeichnisse und Profile der Rammkernsondierungen sind in Anlage 3.4 enthalten. In den Anlagen sind die RKS teilweise mit „BS“ (Bohrsondierungen) bezeichnet. Dies ist in der Arbeitsroutine der ausführenden Bohrfirma begründet. Es handelt sich um dieselbe Art des Aufschlusses.

In Tabelle 5.2 sind die Ergebnisse der Rammkernsondierungen zusammengefasst.

Tabelle 5.2 Ergebnisse der Rammkernsondierungen

Name	Ansatzhöhe [m NHN]	erreichte Tiefe		Wasseranschnitt		Anzahl Laborproben
		[m]	[m NHN]	[m u. GOK]	[m NHN]	
RKS01/21	103,78	9,1	94,68	2,5	101,28	4
				5,7	98,08	
RKS02/21	105,56	7,8	97,76	4,8	100,76	3
				5,5	100,06	
RKS03/21	107,32	9,3	98,02	7,1	100,22	2
				7,3	100,02	
				7,6	99,72	
RKS04/21	109,28	11	98,28	6,5	102,78	5
				8,9	100,38	
RKS05/21	107,68	8,2	99,48	-	-	3
RKS06/21	103,36	9,4	93,96	1,5	101,86	2
				4,5	98,86	
RKS07/21	117,94	6,4	111,54	-	-	2
RKS08/21	118,64	7,5	111,14	-	-	2
RKS09/21	117,85	9,7	108,15	-	-	1
RKS10/21	111,6	5,7	105,9	-	-	2

Aus Tabelle 5.2 ist ersichtlich, dass die in Abschnitt 4.1.1 aufgeführte geplante Erkundungstiefe von 15 m in keiner Rammkernsondierung erreicht wurde. Die Sondierungen mussten aufgrund dicht gelagerter Schichten mit hohem Rammwiderstand abgebrochen werden.

Der festgestellte Wasseranschnitt wurde ohne Ausnahme als oberes Grundwasser des GWL 2 bzw. als Schichtenwasser angesprochen. In Tabelle 5.2 ist der Wasseranschnitt zum Ausführungszeitpunkt angegeben. Im Allgemeinen wurde bei späterer Lotung ein Abfall des Wasserstands bzw. kein Wasser mehr festgestellt, was die Ansprache als gering ergebnisreiches oberes Grundwasser bzw. Schichtenwasser bestätigt. Zum Ausführungszeitpunkt lag der obere Grundwasser-/ Schichtwasserstand bei etwa +98... +102 m NHN.

Aus den RKS wurden 1... 5 Proben für Laboruntersuchungen ausgewählt, siehe Tabelle 5.2 und Anlage 4.1 Sie wurden in das in Abschnitt 4.2 beschriebene Laborprogramm einbezogen.

## 5.4 Ergebnisse der Drucksondierungen (DS)

Die grafische Aufbereitung der Messwerte aus den Drucksondierungen ist in Anlage 3.5 enthalten.

Tabelle 5.3 enthält die Sondierdaten der einzelnen Ansatzpunkte.

Tabelle 5.3 Ergebnisse der Drucksondierungen

Name	Ansatzhöhe	erreichte Tiefe		Wasseranschnitt
	[m NHN]	[m]	[m NHN]	[m u. GOK]
DS01/21 (CPT_1)	117,86	5,98	111,88	-
DS01a/21(CPT_1a)	117,86	5,83	112,03	-
DS02/21 (CPT_2)	113,01	5,9	107,11	-
DS03/21 (CPT_3)	108,69	13,86	94,83	-
DS04/21 (CPT_4)	119,71	10,52	109,19	-
DS05/21 (CPT_5)	117,64	14,41	103,23	-
DS06/21 (CPT_6)	114,13	6,6	107,53	-

Die DS01/21 wurde nach einem ersten Sondierversuch, bei dem nach rund 6 m abgebrochen werden musste, im Radius der Kampfmittelfreigabe versetzt und eine erneute Sondierung vorgenommen (DS01a/21). Auch dies musste in einer ähnlichen Tiefe abgebrochen werden. Insgesamt ist aus Tabelle 5.3 ersichtlich, dass keine Drucksondierung die geplante Tiefe gemäß Abschnitt 4.1.2 erreicht hat. Mit erreichten Tiefen von 5,83... 14,41 m bzw. +112,03... +94,83 m NHN wurde mit den Drucksondierungen lediglich der geplante Aushubbereich gemäß Abschnitt 3.2 erkundet.

Ein Wasseranschnitt ist, gemäß der Ergebnisse der Erfassung des Porenwasserdrucks in keiner Sondierung festgestellt worden.

Mit den Drucksondierungen konnten die oberflächennahen Bereiche aufgeschlossen werden. Aus der Korrelation von Spitzendruck und Mantelreibung ist abzuleiten, dass dieser Teufenbereich überwiegend Wechsellagerungen von rolligem und bindigem Material aufweist. Nach [U61] und [U63] ist eine Bodenansprache anhand des Reibungsverhältnisses in Korrelation mit dem Spitzendruck möglich, siehe Abbildung 5.1. Diese Ansprache hat bei indirekten Aufschlüssen wie Drucksondierungen immer abschätzenden Charakter und ist als Ergänzung zu direkten Aufschlüssen zu sehen. Die Ansprache ist in Tabelle 5.4 zusammengefasst.

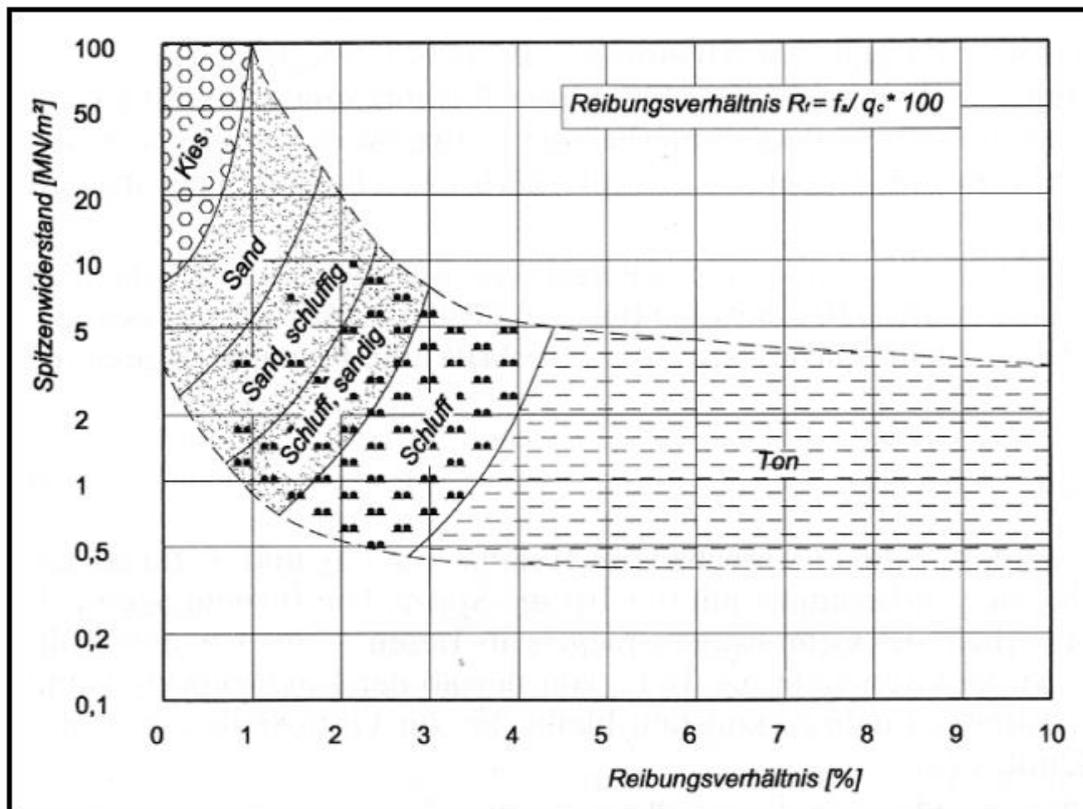


Abbildung 5.1 Klassifizierung von Bodenarten aus Drucksondierungen gemäß [U61] und [U63]

Tabelle 5.4 Bodenarten in den Drucksondierungen

Sondierung	Tiefe u. GOK [m] [m]	rollig oder bindig	Bodenart
DS01/21	0... 2	überwiegend bindig	sandiger Schluff
	2...4,5	überwiegend rollig	Sand, Kies
	4,5... 5,98	überwiegend bindig	sandiger Schluff
DS01a/21	0... 2 m	überwiegend bindig	sandiger Schluff
	2... 4,2	überwiegend rollig	Sand, Kies
	4,2... 5,83	überwiegend bindig	sandiger Schluff
DS02/21	0... 1	überwiegend rollig	Sand, schluffiger Sand
	1... 4,5	überwiegend bindig	Ton, Schluff
	4,5... 5,9	überwiegend rollig	Sand, Kies
DS03/21	0... 1	überwiegend rollig	schluffiger Sand
	1... 10	überwiegend bindig	Ton, Schluff, sandiger Schluff
	10... 11,5	überwiegend rollig	schluffiger Sand
	11,5... 13,86	überwiegend bindig	Schluff, sandiger Schluff

Sondierung	Tiefe u. GOK	rollig oder bindig	Bodenart
	[m] [m]		
DS04/21	0... 3	überwiegend bindig	sandiger Schluff
	3... 8	überwiegend rollig	Sand, Kies
	8... 9	überwiegend bindig	sandiger Schluff
	9... 10,52	überwiegend rollig	schluffiger Sand
DS05/21	0... 4	überwiegend bindig	Schluff, sandiger Schluff
	4... 13	überwiegend rollig	Sand, schluffiger Sand
	13... 14,41	überwiegend bindig	Schluff
DS06/21	0... 6,6	überwiegend bindig	Ton, Schluff, sandiger Schluff

In rolligen Horizonten kann anhand des Spitzendrucks gemäß [U61] und [U63] auf den charakteristischen Reibungswinkel  $\varphi'$ , den Steifemodul  $E_s$  und die Festigkeit geschlossen werden, siehe Tabelle 5.5. Auch diese Werte haben lediglich den Wert orientierender Abschätzungen und müssen mit Laborversuchen an Proben aus direkten Aufschlüssen verifiziert werden.

Tabelle 5.5 Kennwerte nichtbindiger Böden aus Drucksondierungen gemäß [U61] und [U63]

Spitzenwiderstand $q_c$	charakt. Reibungswinkel $\varphi'$	Steifemodul $E_s$	Benennung der Festigkeit
[MN/m <sup>2</sup> ]	[°]	[MN/m <sup>2</sup> ]	
< 2	< 30	< 15	sehr gering
2... 6	30... 35	15... 50	gering
6... 11	35... 37,5	50... 80	mittel
11... 20	37,5... 40	80... 100	groß
> 20	≥ 40	> 100	sehr groß

Tabelle 5.6 Bewertung der Festigkeitseigenschaften rolliger Bereiche der DS

Sondierung	Tiefe u. GOK [m]	Bodenart	Spitzen- druck qc	charakt. Reibungs- winkel $\varphi'$	Steifemodul $E_s$	Benennung der Festigkeit
	[m]		[MN/m <sup>2</sup> ]	[°]	[MN/m <sup>2</sup> ]	
DS01/21	2...4,5	Sand, Kies	10... 22	35... >40	80... >100	groß... sehr groß
DS01a/21 (CPT1a)	2... 4,2	Sand, Kies	11... 24	35... >40	80... >100	groß... sehr groß
DS02/21	0... 1	Sand, schluffiger Sand	4... 22	30... 40	15... 100	gering... groß mittel... sehr groß
	4,5... 5,9	Sand, Kies	6... 34	35... >40	50... >100	gering gering
DS03/21	0... 1	schluffiger Sand	2... 7	30... 35	15... 50	gering
	10... 11,5	schluffiger Sand	4... 6	30... 35	15... 50	gering
DS04/21	3... 8	Sand, Kies	5... 33	30... >40	40... >100	gering... sehr groß
	9... 10,52	schluffiger Sand	12... 43	37,5... >40	80... >100	groß... sehr groß
DS05/21	4... 13	Sand, schluffiger Sand	4... 17	35... 40	50... 100	mittel... groß

Aus dem Vergleich der Drucksondierungen mit benachbarten Kernbohrungen, siehe Abschnitt 5.5, kann gefolgert werden, dass die Drucksondierungen bei Erreichen stark sandiger Schluffschichten bzw. Geschiebemergel abgebrochen werden mussten. Die betreffenden Schichten weisen überwiegend steife, halbfeste und halbfeste bis feste Konsistenz mit hohem Sondierwiderstand auf, was sich auch in den hohen Schlagzahlen der Linerbohrungen ausdrückt, siehe Abschnitt 5.5.

## 5.5 Ergebnisse der Kernbohrungen

### 5.5.1 Aufschluss der Stratigrafie und des Grundwassers im Bearbeitungsgebiet

Aus den Kernbohrungen und der Begutachtung der gewonnenen gekernteten Linerproben, siehe Anlage 3.3, konnte die in Abschnitt 5.1 erläuterte Geologie und Baugrundsichtung abgeleitet werden.

Die Schichtenverzeichnisse und Profile der Kernbohrungen sind in Anlage 3.2 enthalten.

Aus den Ergebnissen der Bodenansprache wurden die in Anlage 2 dargestellten Baugrundschnitte entwickelt.

In Tabelle 5.7 sind die Erkundungstiefen der Kernbohrungen und der Wasseranschnitt in den einzelnen Bohrungen zusammengefasst.

Tabelle 5.7 Wasseranschnitt in den Kernbohrungen

Aufschluss	Ansatzhöhe [m NHN]	erreichte Tiefe		Anschnitt Schichtwasser		Anschnitt Wasserstand GWL 3	
		[m]	[m NHN]	[m u. GOK]	[m NHN]	[m u. GOK]	[m NHN]
KB01/21	113,3	19	94,3	17	96,3	---	---
KB02/21	108,7	29	79,7			22	86,7
KB03/21	119,56	40	79,56	18,5	101,06	32,43	87,13
KB04/21	118,55	41	77,55			31,7	86,85
KB05/21	104,26	30	74,26			17,4	86,86
KB06/21	110,55	43	67,55			23,35	87,2
KB07/21	106,48	39,2	67,28	9,3	97,18	18,7	87,78
KB08/21	116,6	41	75,6			29,4	87,2
KB09/21	115,52	51,6	63,92			28,3	87,22
KB10/21	107,22	44,3	62,92			20	87,22
KB11/21	118,91	41	77,91			31,55	87,36
KB12/21	116,65	39	77,65			29,63	87,02
KB13/21	112,69	35	77,69			26	86,69
KB14/21	114,49	37,3	77,19	13,7	100,79	27,25	87,24

Die Festigkeit der aufgeschlossenen Bodenschichten lässt sich durch den Parameter der Bohrbarkeit abschätzen. In den Erkundungsbohrungen kam ein schlagendes Bohrverfahren zur Gewinnung gekernter Proben in Linern zum Einsatz. Die Schlagzahlen je Meter lassen auf die Bodenfestigkeit schließen. Eine detaillierte Auswertung ist aufgrund verschiedener beeinflussender und wechselnder Faktoren nicht zweckmäßig, sie können jedoch für eine orientierende Abschätzung herangezogen werden.

Im Allgemeinen wurden hohe bis sehr hohe Schlagzahlen in den Geschiebemergelschichten der Saale- und Elsterkaltzeit erreicht (S3.3, S4). Die Bohrung KB01/21 wurde als erste Bohrung ausgeführt und musste bei Erreichen des Saale-Geschiebemergels S3.3 aufgrund zu hoher Schlagzahlen abgebrochen werden, weshalb in den folgenden Bohrungen auf Schneckenbohrung in den Geschiebemergeln umgestellt wurde. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Geschiebemergel, besonders wenn sie als zusammenhängende Schicht mit Mächtigkeiten im Meterbereich vorliegen, eine hohe Festigkeit (halbfeste bis feste Konsistenz) aufweisen

Aus den Bohrprofilen, siehe Anlage 3.2, ist ersichtlich, dass außerdem die oberen Bereiche des GWL 3 (S3.4) hohe Schlagzahlen aufweisen. Dies ist vermutlich auf die relativ weitgestufte Körnung in diesem Teufenbereich zurückzuführen, siehe Anlage 4.2.8, und die Konsolidierung durch die Eisauflast während der Eiszeiten bedingt. Auch für die direkt auf den

Geschiebemergel S3.4 folgenden Sandschichten ist dementsprechend eine hohe Festigkeit anzunehmen, was auch in den Standard-Penetration-Tests (SPT), siehe den folgenden Abschnitt 5.5.2, bestätigt wird.

## 5.5.2 Probenahme und Testdurchführungen

In Tabelle 5.8 ist der Umfang der durchgeführten Probennahmen und der ausgeführten SP-Tests im Bohrloch zusammengefasst. An sämtlichen Stutzen- und Eimerproben (5 l und 10 l) wurden Laborversuche durchgeführt. Aus der großen Menge an Becherproben (1 l) wurden für die Laboruntersuchungen ausgewählte Proben zu schichtbezogene Mischproben zusammengefasst.

Tabelle 5.8 SP-Test und Probenahmen in den Kernbohrungen

Aufschluss	SPT Anzahl	Anzahl gewonnener Bodenproben			
		Stutzen (ungestört)	1-L-Becher (gestört)	5-L-Eimer (gestört)	10- L- Eimer (gestört)
KB01/21	0	2	19	---	---
KB02/21	1	5	33	---	---
KB03/21	2	3	41	1	---
KB04/21	1	2	43	---	---
KB05/21	1	3	30	---	---
KB06/21	1	4	44	1	---
KB07/21	1	3	41	1	---
KB08/21	1	3	43	---	---
KB09/21	1	6	53	---	1
KB10/21	1	4	47	---	---
KB11/21	1	3	42	1	---
KB12/21	1	5	40	1	1
KB13/21	1	5	39	1	---
KB14/21	1	5	38	---	---

Im Bohrloch wurden SP-Tests zur Festigkeitsuntersuchung rolliger Bodenschichten durchgeführt. Die SP-Tests wurden in der Schicht S3.4, also den Sanden und Kiesen des GWL 3, verteilt über dessen Mächtigkeit durchgeführt. Die Daten der SP-Tests sind in Tabelle 5.9 zusammengefasst.

Tabelle 5.9 Ausführungsdaten der SP-Tests

Aufschluss	Ansatzhöhe [m NHN]	SP-Test			
		von [m u. GOK]	bis [m u. GOK]	von [m NHN]	bis [m NHN]
KB02/21	108,70	20,00	20,45	88,70	88,25
KB03/21	119,56	27,00	27,50	92,56	92,06
KB04/21	118,55	37,00	37,40	82,56	82,16
KB05/21	118,55	25,00	25,62	93,55	92,93
KB06/21	104,26	20,00	20,45	84,26	83,81
KB07/21	110,55	30,00	30,47	80,55	80,08
KB08/21	106,48	25,00	25,45	81,48	81,03
KB09/21	116,60	32,00	32,43	84,60	84,17
KB10/21	115,52	25,00	25,45	90,52	90,07
KB11/21	107,22	25,00	25,45	82,22	81,77
KB12/21	118,91	30,00	30,45	88,91	88,46
KB13/21	116,65	21,00	21,45	95,65	95,20
KB14/21	112,69	20,00	20,45	92,69	92,24
KB14/21	114,49	20,00	20,45	94,49	94,04

Aus den Schlagzahlen kann gemäß [U62] auf die Festigkeitseigenschaften und -kennwerte des Bodens geschlossen werden. Die Lagerungsdichte kann gemäß [U62] wie in Tabelle 5.10 angegeben aus den Schlagzahlen je 30 cm Eindringung eingeschätzt werden:

Tabelle 5.10 Ableitung der Lagerungsdichte aus den Schlagzahlen des SP-Tests

SPT Schlagzahl je 30 cm Eindringung $N_{30}$	Lagerungsdichte
< 4	sehr locker
4... 10	locker
10... 30	mitteldicht
30... 50	dicht
> 50	sehr dicht

Die aus den SP-Tests ableitbaren Lagerungsdichten sind in Tabelle 5.11 zusammengefasst.

Tabelle 5.11 Schlagzahlen und Abschätzung der Lagerungsdichte der SP-Tests

Aufschluss	Ansatz [m NHN]	Eindringung			N <sub>30</sub> (=N <sub>(15-30 cm)</sub> + N <sub>(30-45 cm)</sub> )	Lagerungs- dichte
		N <sub>(0-15 cm)</sub>	N <sub>(15-30 cm)</sub>	N <sub>(30-45 cm)</sub>		
KB02/21	88,70	4	10	23	33	dicht
KB03/21	92,56	2	2	3	5	locker
	82,56	3	8	22	30	mitteldicht
KB04/21	93,55	9	30	52	82	sehr dicht
KB05/21	84,26	7	9	13	22	mitteldicht
KB06/21	80,55	8	9	12	21	mitteldicht
KB07/21	81,48	14	8	17	25	mitteldicht
KB08/21	84,60	2	4	7	11	mitteldicht
KB09/21	90,52	3	4	7	11	mitteldicht
KB10/21	82,22	4	9	21	30	mitteldicht
KB11/21	88,91	3	5	12	17	mitteldicht
KB12/21	95,65	15	64	98	162	sehr dicht
KB13/21	92,69	8	26	30	56	sehr dicht
KB14/21	94,49	9	25	38	63	sehr dicht

Aus Tabelle 5.11 ist ersichtlich, dass die Sande und Kiese der Schicht S3.4 überwiegend mitteldicht bis sehr dicht gelagert sind, was u.a. durch die Schlagzahlen der Kernbohrungen bestätigt wird.

Aus den Schlagzahlen N<sub>30</sub> bzw. der Lagerungsdichte können gemäß [U62] die in Tabelle 5.12 angegebenen Festigkeitsparameter abgeleitet werden.

Tabelle 5.12 Ableitung von Festigkeitseigenschaften aus den SP-Tests

Aufschluss	Ansatzhöhe	bezogene Lagerungsdichte $I_D$	Trockenwichte $\gamma_c$	Reibungswinkel	Steifemodul $E_s$
	[m NHN]	[%]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[MN/m <sup>2</sup> ]
KB02/21	108,70	65... 85	18... 20	35... 37,5	80... 100
KB03/21	119,56	15... 35	14... 16	30... 32,5	30... 50
		35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB04/21	118,55	85... 100	> 20	> 37,5	> 100
KB05/21	104,26	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB06/21	110,55	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB07/21	106,48	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB08/21	116,60	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB09/21	115,52	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB10/21	107,22	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB11/21	118,91	35... 65	16... 18	32,5... 35	50... 80
KB12/21	116,65	85... 100	> 20	> 37,5	> 100
KB13/21	112,69	85... 100	> 20	> 37,5	> 100
KB14/21	114,49	85... 100	> 20	> 37,5	> 100

Die in Tabelle 5.12 abgeleiteten Festigkeitseigenschaften der Schicht S3.4 gehen in die Ableitung von Berechnungskennwerten und Schlussfolgerungen in Abschnitt 6 ein.

## 5.6 Erkenntnisse aus Grundwassermessstelle P19

Die Kernbohrung KB14/21 wurde zur Grundwassermessstelle P19 ausgebaut. Die Lage ist aus Anlage 1.2 ersichtlich. Der Ausbau der GWM ist in Anlage 3.2 dargestellt.

Die GWM P19 ist 34,0 m tief. Der verfiltrierte Bereich hat die Tiefe 32,0... 34,0 m u. GOK, bzw. 82,5... 80,5 m NHN.

Nach Abschluss der Bohr- und Ausbauarbeiten und in mehreren Folgenmessungen wurde der Wasserstand in der Messstelle im Zeitraum 09/2021 bis 12/2021 mit 27,50... 27,38 m u. ROK (86,84... 86,96 m NHN) erfasst. In der Stichtagsmessung des Grundwassermonitorings Herbst 2021 [U20] wurde der Wasserstand mit 27,30 m u. ROK erfasst.

Es wurde eine Wasserprobe für analytische Untersuchungen entnommen. Außerdem wurde die neuerrichtete Messstelle in das turnusmäßige Monitoringprogramm der Deponie aufgenommen. Im Herbstmonitoring 2021 zeigten sich keine Auffälligkeiten bei der aus P19 entnommenen Wasserprobe. Lediglich der Sulfatgehalt lag über dem Geringfügigkeitsschwellenwert gemäß

Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), jedoch unterhalb des Auslöseschwellenwerts, siehe [U20].

## 5.7 Bodenphysikalische Laborversuche und bautechnische Klassifikation

Die schichtspezifischen Ergebnisse der Laboruntersuchungen sowie die zugehörigen Laborprotokolle sind in Anlage 4 zusammengefasst. Ebenfalls in Anlage 4 erfolgt die Auswertung der Versuche unter Angabe eines Ergebnisintervalls und Mittelwerten.

Die Schichten S1.1 (Mutterboden) und S6 (Festgestein) sind für das Bauvorhaben von untergeordneter Bedeutung. Es wurden dementsprechend keine Proben für labortechnische Untersuchungen entnommen.

Die Klassifikation der erkundeten Baugrundsichten für bautechnische Zwecke ist in Tabelle 5.13 zusammengefasst.

Tabelle 5.13 bautechnische Klassifikation der Schichten

Schicht	S1.2	S2.1	S2.2	S2.3	S3.1	S3.2	S3.3	S3.4	S4	S5
Bodengruppe nach DIN 18196 <sup>1)</sup>	A+ [TL, UL, UM, SU]	ST*, TL, SU, SU*, UL, UM	TL, TM, UL, UM	UL, UM, SU*, SU, SE	SU*, UL, UM	SE, SW, SU (TL) (SU*)	ST, SU, ST*, TL, TM	SE, SW, SU, ST	TL - TA	ST*
Frostempfindlichkeitsklasse ZTVE	F3	F3	F3	F3	F3	F1 - F3	F3	F1, F2	F3	F3
Durchlässigkeit nach DIN 18130 <sup>2)</sup>	- bis --	- bis --	- bis --	o bis --	-	o bis --	--	o bis +	--	o bis -

Anmerkungen: 1) Klammerwerte: für die Schicht untypische Anteile und Beimengungen  
 2) ++ sehr stark durchlässig, + stark durchlässig, o durchlässig, - schwach durchlässig, -- sehr schwach durchlässig

Die Zuordnung der Baugrundsichten zu Homogenbereichen gemäß DIN 18300 und VOB 2016 erfolgt in Anlage 5.

## 5.8 Hydrogeologische Verhältnisse

Die erkundete Schichtenfolge im Bearbeitungsgebiet lässt sich nach ihren hydrogeologischen Eigenschaften in Anlehnung an [U22] wie in Tabelle 5.14 dargestellt einordnen.

Tabelle 5.14 Erkundete Schichtenfolge und hydrogeologische Eigenschaften

Schichtnummer	Kurzbezeichnung	Charakteristik
S1.1	Mutterboden	---
S1.2	Auffüllung	indifferent
S2.1	Löss, Feinsand	GWGL
S2.2	sandige Tone/ Schluffe	GWL (GWL 2), GWGL
S2.3	Sand, schluffig	
S3.1	Schluff, sandig	
S3.2	Sand	
S3.3	Geschiebemergel (Saale)	GWGL
S3.4	Sande/ Kiese (GWL 3)	Haupt-GWL (GWL 3)
S4	Geschiebemergel (Elster)	GWGL
S5	Grünsand	GWL, GWGL
S6	Festgestein	---

Anmerkung: GWL... Grundwasserleiter; GWGL... Grundwassergeringleiter

Im Bearbeitungsgebiet sind zwei Grundwasserleiter vorhanden, der GWL 2 und der GWL 3 (S3.4, siehe Abschnitt 5.1). Die beiden GWL werden durch die saalezeitlichen Geschiebemergel und ihre bindigen Begleitschichten (i.W. S3.3) voneinander getrennt. Der GWL 2 ist nur temporär wasserführend. Aufgrund seiner überwiegend gemischtkörnigen Ausbildung mit damit einhergehenden teilweise eher grundwassergeringleitenden Eigenschaften ist er für die Hydrodynamik von eher untergeordneter Bedeutung. Es wurde in den Kernbohrungen, siehe Abschnitt 5.5, und den Rammkernsondierungen, siehe Abschnitt 5.3, vereinzelt Schichtwasser angetroffen, dessen Teufenlage dem GWL 2 zugeordnet werden kann. In den RKS lag dieser Abschnitt im Bereich von 98... 102 m NHN, in den Kernbohrungen wurde lokal Schichtwasser im Teufenbereich von 96... 101 m NHN festgestellt. Von einer flächenhaften Wasserführung im GWL 2 ist dabei nicht auszugehen.

Der GWL 3 stellt im Bearbeitungsgebiet den Hauptgrundwasserleiter dar. Er besteht aus Sanden und Kiesen und zeigt eine gradierte Schichtung, d.h. er wird vom Hangenden zum Liegenden gröber. Sein Liegendstauer ist der elsterzeitliche Geschiebemergel. Der Wasserstand im GWL 3 wurde durch die Kernbohrungen aufgeschlossen und wird mit Hilfe der Messstellen im Umfeld der Deponie erfasst. Letztere werden regelmäßig im Rahmen des Grundwassermonitorings in einer Stichtagsmessung gemessen, siehe [U20].

Während der Bohrarbeiten im Zeitraum 06/2021 bis 09/2021 wurde im Bereich der Erweiterungsfläche ein Wasserstand in den 14 Bohrungen von 86,69 ... 87,78 m NHN (im Mittel: 87,11 m NHN) erfasst.

Dieser Wert korreliert mit den Ergebnissen der Stichtagsmessung, deren Messwerte Grundlage für die Ableitung der Grundwasserisohypsen in Anlage 1.3 bilden. Aus diesen ist ersichtlich, dass die Grundwasserströmung im Bereich der Deponie von Nordwest nach Südost gerichtet ist.

Das Gründungsplanum des neu geplanten Deponiekörpers befindet sich ca. 8 m über dem Wasserstand im GWL 3 und entspricht damit der Forderung der Deponieverordnung [U25] von mindestens einem Meter Abstand zwischen Planum und Grundwasserstand. Die Herstellung der Baugrube erfolgt im erdfeuchten Bereich. Ein Zufluss von Schichtenwasser in niederschlagsreichen Perioden ist nicht auszuschließen.

In Abbildung 5.2 sind die Ganglinien ausgewählter im GWL 3 ausgebauter GWM im Umfeld der Erweiterungsfläche dargestellt. Zur Lage der GWM siehe Anlage 1.3.

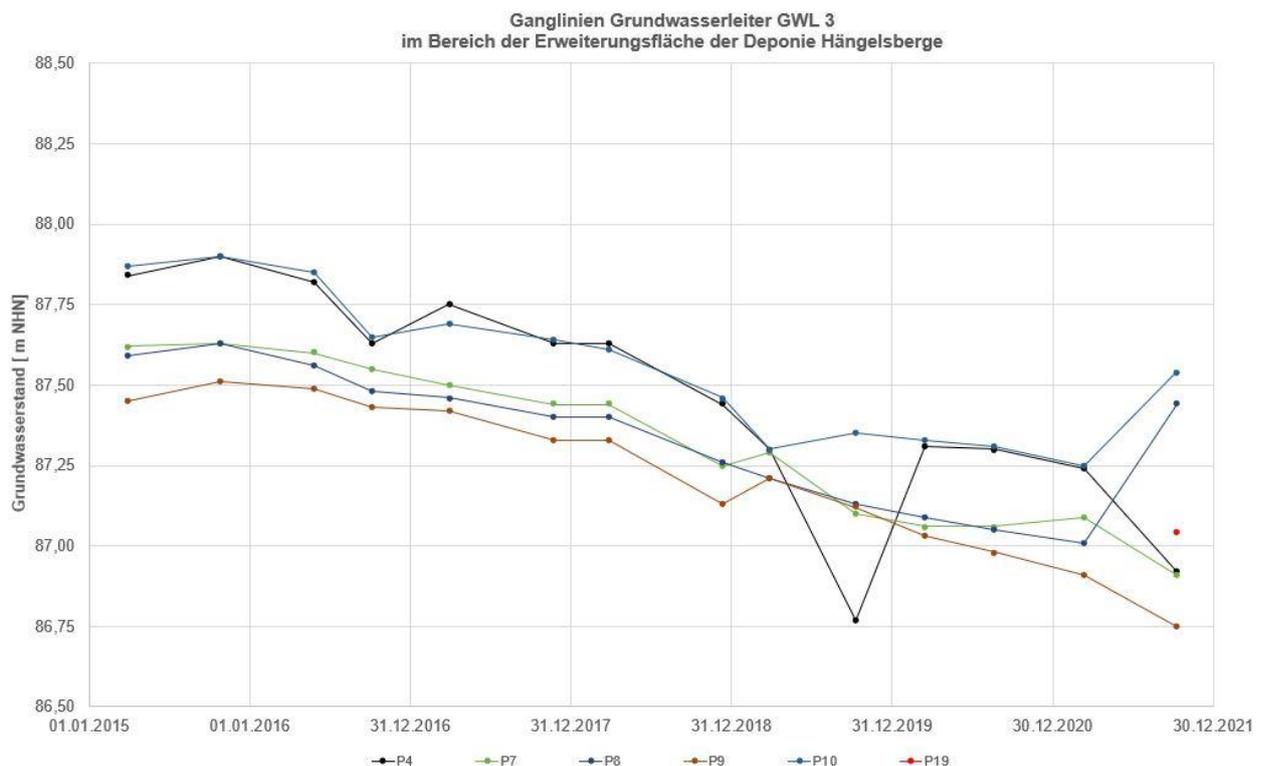


Abbildung 5.2 Ganglinien der GWM des GWL 3 in der Nähe der Erweiterungsfläche

In Abbildung 5.2 sind die GWM im Anstrom der Deponie (P4, P10) durch etwa 0,25 m höhere Wasserstände gekennzeichnet als die Messstellen im Abstrom. Die am weitesten östlich

gelegene GWM P9 hat entsprechend der vorherrschenden Grundwasserströmung, siehe Anlage 1.3, den niedrigsten Wasserstand. Im Zeitraum 2015 bis 2021 ist der Trend zur stetigen Abnahme des Wasserstands im GWL 3 zu erkennen [U18] [U20]. Dies korreliert mit der trockenen Witterung in diesem Zeitraum. Die jährliche Schwankungsbreite des Wasserstands betrug maximal ca. 48 cm (P8, 2020-2021), wobei der Wert des Pegels P4 in der Herbstmessung 2019 als untypisch eingeschätzt wird und bei der Bewertung nicht einbezogen wurde.

Die Messstelle P2 im Norden des Betriebsgeländes der Deponie Hängelsberge stellt die der Erweiterungsfläche nächstgelegene GWM des GWL 2 dar. Ihre Ganglinie ist in Abbildung 5.3 dargestellt.

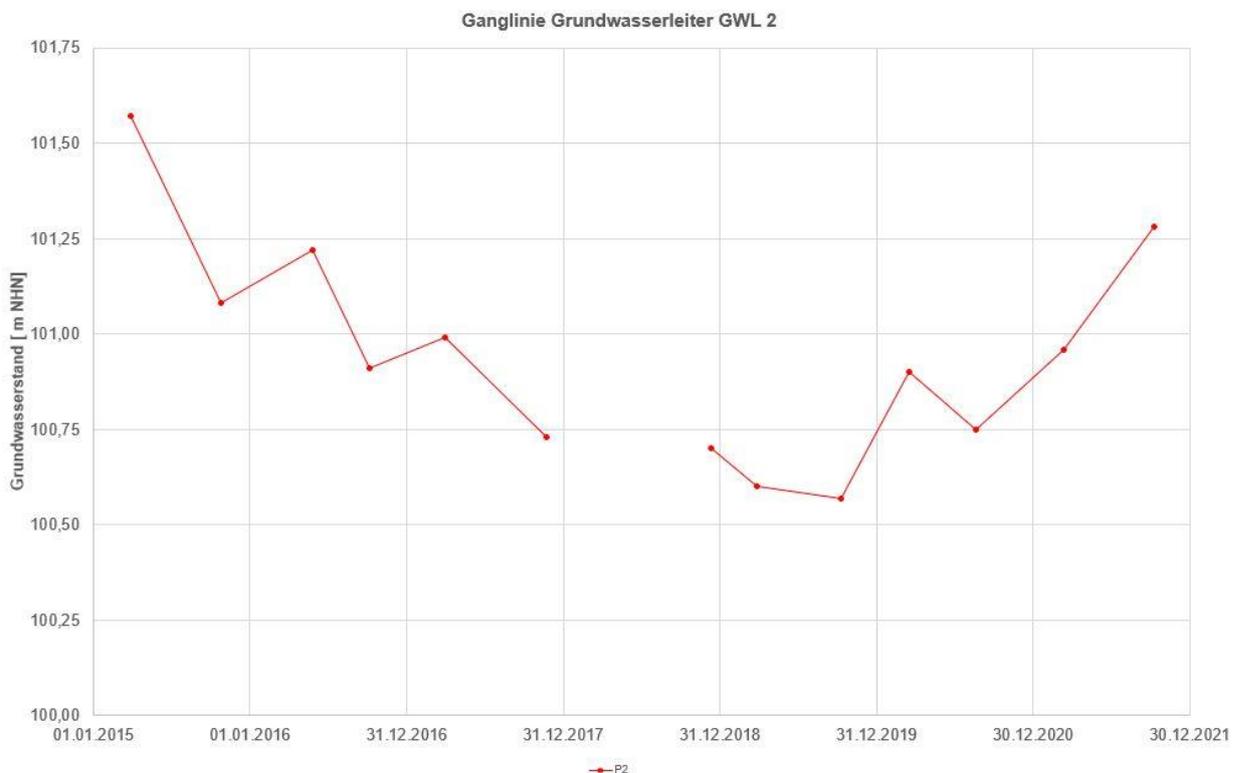


Abbildung 5.3 Ganglinie des GWL 2 in GWM P2

Auch in dieser Ganglinie zeichnet sich der Einfluss der trockenen Witterung der Jahre 2016 bis 2020 ab. Die maximale innerjährliche Schwankung im Zeitraum 2015 bis 12/2021 betrug ca. 60 cm [U18] [U20]. Da davon auszugehen ist, dass der GWL 2 aufgrund seiner oberflächennahen Teufenlage direkt durch Niederschlags-sickerwasser beeinflusst ist, ist diese Schwankungsbreite plausibel.

## 5.9 Ergebnisse der Umweltuntersuchungen

Aus dem Tiefenbereich des geplanten Aushubs wurden Proben entnommen, um Deklarationsanalysen gemäß LAGA Boden durchzuführen [U26]. Zusätzlich wurden die Deklarationsanalysen nach LAGA mit den Parametern nach Deponieverordnung [U25], Tabelle 2, Spalten 4 und 9 für die geologische Barriere und die Rekultivierungsschicht ergänzt. Die Ergebnisse werden in [U23] hinsichtlich eines Einsatzes als Baustoff für die Deponiebasis- und Deponieoberflächenabdichtungssysteme bewertet. In Tabelle 5.15 wird eine Zusammenfassung der Ergebnisse gegeben. Die Laboranalysedaten sind in Anlage 4 abgelegt.

Tabelle 5.15 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen nach LAGA und DepV

Aufschluss	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Klassifikation nach LAGA	DepV, Tab. 2	
			Sp. 4	Sp. 9
KB 02/2021	10,90 – 11,20	---	> Sp.4	---
KB 04/2021	4,00 - 5,00	Z 0	> Sp.4	< Sp. 9
KB 06/2021	1,00 - 2,00	Z 0	---	< Sp. 9
KB 08/2021	5,00 - 7,00	Z 0	---	< Sp. 9
KB 08/2021	8,00 - 11,00	Z 0	< Sp. 4	---
KB 09/2021	6,00 - 8,00	Z 1.1	---	< Sp. 9
KB 09/2021	10,00 - 14,00	Z 1.2	< Sp. 4	---
KB 10/2021	1,00 - 4,00	Z 1.2	---	< Sp. 9
KB 10/2021	6,00 - 10,00	Z 2	> Sp.4	---
KB 11/2021	3,00	---	---	< Sp. 9
KB 11/2021	14,10 - 15,20	Z 0	< Sp. 4	---
KB 12/2021	3,00	---	---	< Sp. 9
KB 13/2021	2,50	Z 0	---	< Sp. 9
KB 13/2021	5,80 - 10,30	Z 0	---	< Sp. 9

Die überschrittenen Parameter und die zugehörigen Messwerte sind in Tabelle 5.16 aufgeführt. Die Grenzwerte zur niedrigeren bzw. höheren Einstufungsklasse sind ebenfalls angegeben.

Tabelle 5.16 Überschreitungswerte und Grenzwerte nach LAGA und DepV

Aufschluss	Entnahmetiefe [m u. GOK]	Kriterium (LAGA, DepV)	Parameter	Einheit	Messwert	Grenzwert LAGA			
						Z0	Z1.1	Z1.2	Z2
KB02/21	10,90 – 11,20	Sp. 4	Sulfat	mg/l	1200 <sup>1)</sup>	---	---	---	---
			Gelöste Feststoffe gesamt	mg/l	2000 <sup>1)</sup>	---	---	---	---
KB04/21	4,00 – 5,00	Sp. 4	pH		9,1	---	---	---	---
KB09/21	6,00 – 8,00	LAGA	Arsen*	mg/kg TS	31,4	10	45	45	150
			Blei*	mg/kg TS	43	40	210	210	700
			Chrom*	mg/kg TS	89	30	180	180	600
			Kupfer*	mg/kg TS	46	20	120	120	400
			Nickel*	mg/kg TS	68	15	150	150	500
			Thallium*	mg/kg TS	0,7	0,4	2,1	2,1	7
KB09/21	10,00 – 14,00	LAGA	Sulfat*	mg/l	37	20	20	50	200
			TOC	Ma.-% TS	0,7	0,5	1,5	1,5	5
KB10/21	1,00 – 4,00	LAGA	Sulfat*	mg/l	41	20	20	50	200
			TOC	Ma.-% TS	0,8	0,5	1,5	1,5	5
KB10/21	6,00 – 10,00	LAGA	Sulfat*	mg/l	66	20	20	50	200
		LAGA	Nickel	mg/kg TS	18	15	150	150	500
		Sp. 4	Sulfat	mg/l	66 <sup>1)</sup>	---	---	---	---

\* Für Einstufung gemäß LAGA maßgeblicher Parameter

<sup>1)</sup> Nach DepV, Tab. 2 Spalte 4 beträgt der Grenzwert für Sulfat 50 mg/l, für den Gesamtgehalt an gelösten Feststoffen 400 mg/l

Aus der Auflistung ist ersichtlich, dass es sich in einigen Fällen um geringfügige Überschreitungen der Grenzwerte handelt.

Eine Überschreitung der für eine Einordnung als Z0-Material gültigen Schwellenwerte des Sulfatgehalts wird auf geogene Ursachen zurückgeführt, da in den untersuchten Sedimenten

Pyritanteile gefunden wurden. Durch Verwitterung dieses Minerals ( $\text{FeS}_2$ ) wird Schwefel freigesetzt, der sich durch Oxidation in Sulfat umwandeln kann.

## **6 GEOTECHNISCHE SCHLUSSFOLGERUNGEN**

### **6.1 Baugrundeignung**

#### **6.1.1 Geplante geologische Barriere**

Mit den Baugrunderkundungen wurde auch das Ziel verfolgt zu prüfen, ob im Niveau der geplanten geologischen Barriere der Erweiterungsfläche natürliche Bodenschichten anstehen, für welche eine Eignung gemäß Anforderungen der DepV gegeben ist.

Im Ergebnis der Untersuchungen konnte das Material des Geschiebemergels S3.3 gemäß der Eignungsprüfung in [U23] für einen Einsatz als geologische Barriere für die Deponieklassen I bis III in der in den Erkundungen aufgeschlossenen gewachsenen Ausbildung als grundsätzlich geeignet bewertet werden. Lokal festgestellte erhöhte Sulfatgehalte sind auf geogene Ursachen zurückzuführen und werden als tolerierbar eingeschätzt. Aus den Erkundungen und den daraus resultierenden Baugrundschnitten in Anlage 2 ist jedoch ersichtlich, dass das Material insbesondere im westlichen Bereich der Erweiterungsfläche nicht flächenhaft in der für die geplante Barriere notwendigen Teufe und Mächtigkeit ansteht.

Es wird daher als notwendig erachtet, den Aushub generell bis auf das Niveau der Unterkante der geplanten geologischen Barriere zu führen. Dabei anfallendes Material der Schicht S3.3 ist zu separieren und geschützt vor Austrocknung, Frost und Vernässung zu lagern. Anschließend kann die geologische Barriere unter Verwendung des gewonnenen Geschiebemergels der Schicht S3.3 technisch hergestellt werden. Im Rahmen von Probefeldern sind der Nachweis der Materialeignung unter Baustellenbedingungen zu erbringen, die optimalen Einbaubedingungen (Einhaltung optimaler Wassergehalt, Lagenstärken, Anzahl der Verdichtungsüberfahrten etc.) festzulegen und ein Qualitätsmanagementplan aufzustellen.

Alternativ kann auch geeignetes Liefermaterial zu Einsatz kommen. Der Eignungsnachweis nach DepV und BQS ist auch für Liefermaterial zu erbringen.

#### **6.1.2 Wiederverwendbarkeit des Aushubs**

Die Wiederverwendbarkeit des im Aushub anfallenden Bodenmaterials für unterschiedliche Zwecke wird in [U23] ausführlich diskutiert. Der Bericht [U23] fasst die Ergebnisse der Eignungsuntersuchungen der im Projekt anfallenden Aushubmassen in Vorbereitung einer ressourcenschonenden und hochwertigen Verwertung zusammen. Die Ergebnisse sind in Kurzfassung nachfolgender Tabelle 6.1 zusammengestellt.

Tabelle 6.1 Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse

Schicht	Verwertungsmöglichkeiten
S1.1 - Mutterboden	<ul style="list-style-type: none"> <li>nach Aufbereitung durch Fräsen als Mutterboden</li> </ul>
S1.2 - Auffüllung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rekultivierungsschicht für Deponien</li> <li>technische Funktionsschicht für Photovoltaik auf Deponien</li> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> </ul>
S2.1 - Löss, Feinsand	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rekultivierungsschicht für Deponien</li> <li>technische Funktionsschicht für Photovoltaik auf Deponien</li> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> </ul>
S2.2 - sandige Schluffe/ Tone	<ul style="list-style-type: none"> <li>geologische Barriere der Deponieklasse DK 0 nach DepV,</li> <li>Rekultivierungsschicht für Deponien,</li> <li>Gassperre,</li> <li>technische Funktionsschicht für Photovoltaik auf Deponien</li> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> </ul>
S2.3 - Sand schluffig	<ul style="list-style-type: none"> <li>bedingt als Rekultivierungsschicht für Deponien</li> <li>technische Funktionsschicht für Photovoltaik auf Deponien</li> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> <li>u.U. Dränschicht für Oberflächenabdichtungssystem</li> </ul>
S3.1 - Schluff, sandig	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rekultivierungsschicht für Deponien</li> <li>technische Funktionsschicht für Photovoltaik auf Deponien</li> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> </ul>
S3.2 - Sand	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> <li>Dränschicht für Oberflächenabdichtungssystem</li> </ul>
S3.3 - Geschiebemergel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gassperre</li> <li>geologische Barriere der Deponieklasse DK 0 bis DK III nach DepV,</li> <li>mineralische Oberflächenabdichtung DK 0 bis DK III nach DepV,</li> <li>bei Zustimmung der Behörde zur Unterschreitung der Anforderungen an den Tongehalt als mineralische Basisabdichtung der DK 0 bis DK III</li> <li>Verfüllmaterial, Geländeprofilierungen</li> </ul>

Ergänzend zu den in der DepV geforderten Parametern wurden hauptsächlich an der Baugrundsicht S3.3 auch die Parameter Schrumpfgrenze, Wasseraufnahmevermögen und Quellvermögen untersucht, welche über den Tonmineralgehalt hinaus weitere Informationen zum Schadstoffrückhaltevermögen von Abdichtungskomponenten liefern und insbesondere für den Einsatz als Abdichtungsschicht in Sonderabfalldeponien von Interesse sind. Nachfolgende Bandbreite wurde in den Laboruntersuchungen ermittelt:

Wasseraufnahmevermögen $w_A$ nach DIN 18132:	40,5 bis 57,5 %
Schrumpfgrenze $w_S$ nach Schultze/Muhs:	9,8 bis 35,5 %
max. Quellhebung:	0,0 bis 0,318 %

Details sind den Laborprotokollen in Anlage 4.1 zu entnehmen.

### 6.1.3 Eignung als Baugrund

Unterhalb der geplanten Deponiebasis stehen die Schichten S3.3, S3.4, S4, S5 und S6 an.

Der Geschiebemergel der Schicht S3.3 und die unterlagernde Schicht aus Sanden und Kiesen S3.4 werden aufgrund ihrer überwiegend steifen bis halbfesten Konsistenz bzw. dichten bis sehr dichten Lagerung als geeigneter Baugrund eingeschätzt. Die Eignung des Geschiebelehm-/mergels setzt voraus, dass die vorhandene steife bis feste Konsistenz erhalten bleibt und nicht durch Wasserzutritt, Frost oder mechanische Auflockerung verändert wird. Im Falle der Schicht S3.4 wird auch die nahezu horizontale Lagerung und flächenhaft gleichmäßige Mächtigkeit als günstig eingeschätzt.

Gleiches gilt für den elsterzeitlichen Geschiebemergel S4.

Die Schicht der Rupelsande S5 ist aufgrund ihrer Tiefe und geringen Mächtigkeit für das Bauvorhaben von untergeordneter Bedeutung.

Das Vorkommen des Festgesteinshorizonts S6 ist aufgrund seiner setzungsbegrenzenden Eigenschaft allgemein als positiv für die Gründung zu bewerten.

## 6.2 Baugrundverhältnisse und Gründungsempfehlungen

Die Baugrundverhältnisse der geplanten Deponieerweiterung sind im Wesentlichen als günstig einzuschätzen. Der Baugrund weist sich durch nahezu horizontale Schichtung und einheitliche Schichtmächtigkeiten aus. Relevante Störungen konnten im Zuge der Baugrunderkundung nicht festgestellt werden. Aus der Auswertung der Erkundungs- und Labordaten ergeben sich überwiegend hohe Lagerungsdichten in rolligen Bereichen und geeignete Konsistenzen der bindigen Horizonte.

Im Teufenbereich der geplanten Basisabdichtung bzw. der geologischen Barriere ist davon auszugehen, dass der dort i.A. anstehende Geschiebemergel bereichsweise Verbreitungslücken und glazigene Fehlstellen aufweist. Dementsprechend ist die Barrierschicht mit  $d \geq 1,00$  m technologisch aufzubauen, wobei das Aushubmaterial des Geschiebemergels Verwendung finden kann. Der Aushub der Baugrube ist entsprechend bis auf das Niveau der Unterkante der geplanten geologischen Barriere zu führen. Vorteil des technologischen Aufbaus der Barriere ist, dass durch lagenweise verdichteten Einbau eine einheitlich hohe Lagerungsdichte erzielt werden kann.

Für den Untergrund der geologischen Barriere ist eine geeignete Lagerungsdichte nachzuweisen. Aus den Baugrunderkundungen ist zu erwarten, dass diese i. W. vorhanden ist. Ggf. kann es nötig sein, zusätzliche Verdichtungsmaßnahmen oder Bodenaustausch in bindigen Schichten mit ungeeigneter Konsistenz vorzunehmen.

Das Aushubniveau liegt vollständig oberhalb des Wasserspiegels des ständig wasserführenden GWL 3. Das sporadisch wasserführende GWL 2 liegt vollständig im auszuhebenden Teufenbereich. Hier ist ggf. mit saisonal oder nach starken Niederschlagsereignissen auftretendem Schichtenwasser zu rechnen.

Das Festgestein wurde durch die Kernbohrungen ebenfalls erreicht. Es wird als die Setzungen begrenzend und damit ebenfalls als günstige Rahmenbedingung für den Baugrund eingeschätzt.

Hinsichtlich der Herstellung des Planums für die geologische Barriere werden folgende Ausführungshinweise gegeben:

- Verdichtung des Erdplanums (Basis der Barriere) mit einer Grundtragfestigkeit von  $D_{Pr} \geq 95\%$ , bei lokalem Vorhandensein schlecht tragfähiger Böden, sind diese auf einer Mächtigkeit von ca. 0,4 m auszutauschen,
- ggf. Wintersicherung des hergestellten Planums durch eine frostsichere Abdeckung (0,8 m) berücksichtigen.

### 6.3 Schutz- und Sicherungsmaßnahmen

Im Bereich der Erweiterungsfläche existiert keine Bebauung.

Es sind jedoch folgende zu schützende bzw. vor durch die Baumaßnahme verursachte Schäden zu bewahrende bauliche Anlagen im Umfeld der Erweiterungsfläche vorhanden:

- die Betriebsstraße an der Ostseite der Erweiterungsfläche,
- die Böschungen der Bestandsdeponie,
- Elemente der Sickerwasser- und Gasfassung der Bestandsdeponie und
- die Basisabdichtung der Bestandsdeponie.

Die Betriebsstraße und die Bestandsböschungen sind durch tägliche Begehungen auf Schäden zu untersuchen (Risse und andere Anzeichen von Geländebewegungen). Bei Auftreten sind ggf. Sofortmaßnahmen wie Aushubstopp und die Herstellung zusätzlicher Anstützungen einzuleiten.

Technische Komponenten der Abdichtungen an der Basis des bestehenden Deponiekörpers wie Kunststoffdichtungsbahnen sind gegen Beschädigung durch ausreichende Überdeckung zu schützen. Ist ein Freilegen dieser Komponenten notwendig, hat dieser händisch zu erfolgen.

Gleiches gilt für die Elemente der Sickerwasser- und Gasfassung der bestehenden Deponie.

Mineralische Dichtungsschichten der Bestandsdeponie aus bindigen Bodenmaterialien sind vor Witterung und Frost durch eine Abdeckung und Überschüttung mit geeignetem Material von  $d \geq 80$  cm zu schützen.

## 6.4 Berechnungsgrundlagen

### 6.4.1 Charakteristische Rechenwerte - Scherfestigkeit

In Tabelle 6.2 sind die aus den Laborversuchen und den in-situ-Versuchen und Sondierungen abgeleiteten Berechnungskennwerte der erkundeten Schichten zusammengefasst. Sie werden durch Erfahrungs- und Literaturwerte [U64] [U65] ergänzt.

Tabelle 6.2 charakteristische Kennwerte und einaxiale Druckfestigkeit

Schicht	Wichte, erdfeucht $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte u. Auftrieb $\gamma'_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Reibungswinkel $\phi'_k$ [°]	Kohäsion $c'_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Einaxiale Druckfestigkeit $q_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
S1.2	21,0	12,0	25,0	5,0	
S2.1	19,0	10,0	25,0	8,0	
S2.2	21,5	12,0	23,0	10,0	
S2.3	20,0	11,0	34,0	0,0	
S3.1	21,5	12,0	27,0	10,0	
S3.2	17,0	9,5	32,0	0,0	
S3.3	21,5	12,0	28,0	20,0	0,7
S3.4	18,0	10,5	36,0	0,0	
S4	20,0	11,0	29,0	25,0	0,9
S5	21,0	11,0	25,0	5,0	

Die Schicht S6 „Festgestein“ ist für die Standsicherheitsberechnungen der Deponieböschungen aufgrund ihrer Teufenlage nicht relevant.

### 6.4.2 Charakteristische Rechenwerte - Steifemodule

Für die Schichten im Liegenden der geologischen Barriere wurden Kompressionsversuche zur Bestimmung der lastabhängigen Entwicklung des Steifemoduls in Laboruntersuchungen durchgeführt. Der Steifemodul  $E_s$  als Wert der Zusammendrückbarkeit des Bodens und damit seiner Setzungsanfälligkeit ist spannungsabhängig. In Tabelle 6.3 wird deshalb die in Laborversuchen an mehreren Proben ermittelte Bandbreite sowie Mittelwerte der ermittelten Steifemodule abhängig von den untersuchten Laststufen zusammengefasst.

Tabelle 6.3 Auswertung Kompressionsversuche Schichten S3.3, S4 und S5

Stat. Auswertung	Steifemodule $E_s$ Erstbelastung					Steifemodule $E_s$ Wiederbelastung			
	[MN/m <sup>2</sup> ]					[MN/m <sup>2</sup> ]			
	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\sigma$ [kN/m <sup>2</sup> ]
	0	100	200	400	800	100	200	400	800
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	100	200	400	800	1600	200	400	800	1600
<b>S3.3</b>									
Min	1,9	6,4	9,0	15,6	28,4	28,9	27,0	38,8	50,3
Max	7,8	10,9	17,9	37,7	47,7	94,6	114,8	170,7	173,9
Mittel	5,1	8,9	12,5	23,4	34,4	53,8	59,9	87,9	98,6
<b>S4</b>									
Min	5,6	10,1	12,4	19,7	31,7	40,7	27,9	49,3	74,7
Max	9,7	15,4	18,9	30,2	46,4	46,1	59,8	76,1	110,7
Mittel	7,0	12,8	16,6	25,4	38,1	43,4	45,2	63,5	94,9
<b>S5</b>									
	5,2	7,3	13,2	18,4	32,9	89,7	98,6	141,4	138,6

Die Schichten im Hangenden der Schicht S3.3 (Geschiebemergel, geologische Barriere) sind für die Setzungen der Deponie von untergeordneter Bedeutung, da sie nur in den abgeböschten Randbereichen der Ablagerungsfläche eine verringerte Auflast erfahren. Für sie wurden Steifemodule aus den Drucksondierungen abgeleitet. Des Weiteren gingen Erfahrungswerte und Literaturangaben [U64] [U65], sowie Berechnungskennwerte aus [U13] in die Auswertung ein. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.4 zusammengefasst. Aufgrund der geringeren Schichtmächtigkeiten - verglichen mit dem Liegenden der Schicht 3.3 - wird ein konkreter Berechnungskennwert des Steifemoduls empfohlen.

Ebenfalls in Tabelle 6.4 enthalten sind die Werte für die Schicht S3.4, die aus den Ergebnissen der SP-Tests abgeleitet wurden.

Tabelle 6.4 Steifemodule und charakteristische Steifemodule

Schicht	$E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]	Quelle	empfohlener Wert $E_s$ [MN/m <sup>2</sup> ]
S1.2	5... 50	[U13], DS	8
S2.1	5... 15	[U13], [U64], [U65]	6
S2.2	1... 15	[U13], [U64], [U65]	15
S2.3	20... 100	[U13], DS	30
S3.1	2,5... 20	[U13], [U64], [U65]	20
S3.2	15... 80	DS	40
S3.3	s. Tabelle 6.3		30
S3.4	50... 100	SPT	50/100*
S4	s. Tabelle 6.3		40
S5	s. Tabelle 6.3		25
S6	Schätzwert		250

\* Anmerkung: Aufgrund der Ergebnisse des SP-Tests wird eine Teilung der Schicht vorgeschlagen, wobei das obere Drittel den höheren  $E_s$  zugewiesen bekommen sollte.

In den Bohrungen wurde die Schicht S6 „Festgestein“ lediglich oberflächlich mittels Felsbohrkrone aufgeschlossen. Aus dem Bohrverhalten ist auf kompaktes Gestein zu schließen. Es wird daher angenommen, dass das Festgestein inkompressibel ist.

## 6.5 Baugrube und Wasserhaltung

Bei der Herstellung von Baugruben ist die DIN 4124 zu beachten. Aufgrund der zu erwartenden inhomogenen Schichtenfolge in den Baugrubenböschungen mit wechselnden bindigen und nichtbindigen Materialien wird eine generelle Böschungneigung von  $\beta \leq 45^\circ$  empfohlen, was einer Neigung von 1 : 1 entspricht und durch die aktuell geplanten Baugrubenböschungneigungen von 1 : 2... 1 : 3 (18,4°... 26,6°) erfüllt wird. Durch die Böschungshöhen > 5 m ist entsprechend DIN 4124 die Standsicherheit nachzuweisen. Die Böschungen sind vor Witterungseinflüssen und Frost zu schützen. Bodenerosionen sind zu unterbinden und nicht zulässig.

Ist der empfohlene Böschungswinkel aus Platzgründen nicht einhaltbar ist ggf. ein Verbau notwendig. Als Verbaumaßnahmen bei tiefen Baugruben sind Trägerbohlwände oder Spundwände geeignet.

Für Wasserhaltungen sind offene Wasserhaltungen zur Fassung von in die Baugruben gelangendes Oberflächenwasser und zur Fassung von Schichtenwasser geeignet. Neben dem Vorsehen eines Entwässerungsgrabens zur Fassung von Niederschlagswässern im Böschungsschulterbereich wird im Bereich der Böschungssohlen umlaufenden Rigolen und die Herstellung von verbaut ausgeführten Pumpensümpfen empfohlen.

Im Bereich des GWL 2 kann es bei stärkerem Wasserandrang erforderlich werden zusätzlich eine Vakuumanlage vorzuhalten und bei Bedarf zu installieren.

## **6.6 Versickerung**

Die Zusammenfassung der Ergebnisse der Feldversuche in den Versickerungsbrunnen gemäß 4.1.5 erfolgt in [U21]. Die Ergebnisse sind für die Bemessung neuer Versickerungsanlagen zu berücksichtigen.

## **6.7 Bedarf an weiteren geotechnischen Untersuchungen vor Bauausführung**

Die ausgeführten geotechnischen Standorterkundungen erfüllen vollumfänglich die Empfehlungen von Untersuchungsabständen und -tiefen nach DIN EN 1997-2 Anhang B.3 [U29] bzw. DIN 4020 [U30] und GDA E 1-1 [U60]. Nach Auswertung der vorliegenden Ergebnisse der Feld- und Laboruntersuchungen konnten alle planungsrelevanten geotechnischen Sachverhalte und die notwendigen Berechnungskennwerte für Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit abgeleitet werden. Vor Errichtung der einzelnen Bauabschnitte der Erweiterungsfläche werden nach unserer Einschätzung keine weiteren geotechnischen Erkundungen des Baugrundes erforderlich.

Bei einer Wiederverwendung von Aushubmassen als geologisch-technische Barriere oder Dichtungsschicht sind Eignungsuntersuchungen gemäß den betreffenden BQS-Standards durchzuführen.

## 7 WEITERE HINWEISE

Bei Aushub und Bau der Basisabdichtung kann es witterungsbedingt zu Wasseranfall im GWL 2 kommen. Die Menge des Wasseranfalls ist nicht quantifizierbar. Die bereits aufgelegte Dichtung ist gegen Aufschwimmen durch zeitnahe Überschüttung zu sichern. Keinesfalls ist sie in der niederschlagsreichen Jahreszeit über längeren Zeitraum unabgedeckt zu belassen. Ggf. kann sie mit einer Sandsackauflage gesichert werden.

CDM Smith Consult GmbH  
August 2023

i.V.   
Dipl.-Ing. Grit Renker

erstellt:

i.A.   
Martin Lehmann M.Sc.