Gutachten Nr.: 21-4728-04

Projekt: **Stadtbahn Linie 4**
Kanalbau und Regenrückhaltebecken
in Bielefeld

Untersuchungs-auftrag: **Erweiterte Bestandsuntersuchung und Substanzbewertung**

Auftraggeber: **Bielefelder Beteiligungs- und Vermögensverwaltungs-GmbH**
Jahnplatz 5
33602 Bielefeld

Dieses Gutachten enthält 62 Seiten Text und 320 Blatt Anlagen.

Prüfberichte und Gutachten dürfen grundsätzlich nur ungekürzt vervielfältigt werden.
Die auszugsweise Wiedergabe und jede Veröffentlichung bedarf unserer schriftlichen Zustimmung.

Dortmund, 30. Juni 2022

Sachbearbeiterin: Dipl. Lök. N. Kosfeld, I. Stewen, M.Sc.,
Dipl. Ing. B. Dietrich, K. Schauerte, M.Eng.

INGENIEURGRUPPE PTM

- ASPHALTPRÜFSTELLE
- BAUSTOFFPRÜFUNGEN
- BAUGRUND
- GEOTECHNIK
- GEORADAR
- ZERSTÖRUNGSFREIE MESSUNGEN
- ERDBAULABORATORIUM
- ALTLASTEN
- DEPONIEWESEN
- FACHBAULEITUNGEN
- FACHPLANUNGEN
- ROHSTOFFGEOLOGIE
- HYDROGEOLOGIE
- FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG
- SEMINARE UND SCHULUNGEN

INGENIEURGESELLSCHAFT PTM DORTMUND MBH

frische luft 155
44319 dortmund
telefon: 0231/92 71210
fax: 0231/92 712122
e-mail: dortmund@ptm.net
internet: www.ptm.net

geschäftsführung:
sarah mörchen
dr. daniel gogolin

st.-nr. fa unna 316/5741/0813
ust.-id-nr.: de 8147 53 914
hbr 19971 ag dortmund

national bank ag dortmund
BIC: NBAGDE3E
IBAN: DE23 3602 0030 0008 5309 71

sparkasse arnsberg-sundern
BIC: WELADED1ARN
IBAN: DE86 4665 0005 0001 0267 72

prüfstelle nach rap-stra 15
anerkannt für die fachgebiete

- A1 · A3 · A4
- BB3 · BB4
- F2 · F3 · F4
- G3 · G4
- H1 · H3 · H4
- I1 · I2 · I3 · I4

mitglied im bundesverband unabhängiger prüfinstitute bup
ingenieurkammer nrw nr. 102497

WEITERE STANDORTE

- ARNSBERG
- BAUTZEN
- DANZIG
- HAMBURG
- JENA
- RIGA
- STADE
- TOSTEDT

Inhaltsverzeichnis

1 Auftrag, Vorgang und Situationsbeschreibung 6

2 Untersuchungsschritte und -beschreibungen 7

2.1 Probennahme 7

2.2 Rammsondierungen nach EN ISO 22476-2 (2012) 9

2.3 Homogenbereiche nach DIN 18300 (2015) 10

2.4 Chemische Untersuchungen im Labor 12

2.4.1 Untersuchungen zur Wiederverwertung und Deponierung 12

2.4.2 Betonaggressivität im Grundwasser 14

2.5 Substanzbewertung der ungebundenen Materialien 14

3 Ergebnisse der Untersuchungen 15

3.1 Vorhandene Schichtdicken und Zusammensetzung der ungebundenen Materialen (Rammkernbohrungen) 15

3.2 Schichtenfolge 18

3.3 Geotechnischer Schnitt 25

3.4 Grundwasserstand 25

3.5 Grundwasserwassermessstelle 26

3.6 Bodenmechanische Kennwerte 27

3.7 Chemische Untersuchungen 29

3.7.1 Chemische Untersuchungen gemäß LAGA und DepV 29

4 Gutachterliche Bewertung 38

4.1 Regenrückhaltebecken 38

4.1.1 Situation 38

4.1.2 Beschaffenheit der Abtragsböden 40

4.1.3 Geländeauftrag- und -abtrag 41

4.1.4 Wasserhaltung 43
4.1.5 Böschung Auslauf Regenrückhaltebecken 44
4.2 Kanalbau 45
4.2.1 Situation 45
4.2.2 Tragfähigkeit des Rohrauflagers 50
4.2.3 Lösbarkeit / Aushub der Böden 51
4.2.4 Wiederverwertbarkeit von Aushubböden 52
4.2.5 Bodenverbesserung durch Bindemittelzugabe 53
4.2.6 Grabensicherung 54
4.2.7 Wasserhaltung 55
4.2.8 Kanalgrabenverfüllung mit „Flüssigboden“ (ZFSV) 59
5 Weitere Hinweise 62

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Zuordnung der Frostempfindlichkeitsklassen [ZTV E-StB 17] 15
Abbildung 2: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Lösslehme 21
Abbildung 3: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Geschiebelehme 23
Abbildung 4: Querschnitt Regenrückhaltebecken Campus Nord 39
Abbildung 5: Detailschnitt Böschung Auslauf RRB 44
Abbildung 6: Anwendungsbereiche der Wasserhaltungsverfahren (Quelle: Prinz, H.; Strauß, R.: Ingenieurgeologie. (Springer Verlag)) 56
Abbildung 7: Tabelle zur Abschätzung anfallender Wassermengen (Quelle: Grundbau-Taschenbuch) 58

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Entnahmestellen Rammkernbohrungen, Ansatzpunkte der Rammsondierung und Errichtung der Grundwassermessstelle 7

Tabelle 2: Zuordnungsklassen gemäß den LAGA-Bestimmungen 12
Tabelle 3: Abfallschlüsselnummern gemäß AVV 14
Tabelle 4: Bodenmechanische Laborprogramm (Rammkernbohrungen) 16
Tabelle 5: Grundwasserstände und Besonderheiten innerhalb der Bohrlöcher 25
Tabelle 6: Wasserstand der Grundwassermessstelle GWMS 11 26
Tabelle 7: Charakteristische Bodenkennwerte GK 2/3, Lockergesteine 27
Tabelle 8: Probenzusammenstellung 30
Tabelle 9: Deklarationsanalyse nach LAGA-Bauschutt 33
Tabelle 10: Deklarationsanalyse nach LAGA-Boden (2004) 34
Tabelle 11: Deklarationsanalyse nach DepV 35
Tabelle 12: Expositionsklassen für Betonaggressivität von Wässern nach DIN 4030 – Probe 7 37
Tabelle 13: Expositionsklassen für Betonaggressivität von Wässern nach DIN 4030 – Probe 10 38
Tabelle 14: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt C - C (Anlage 2.15) 46
Tabelle 15: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt D - D (Anlage 2.16) 46
Tabelle 16: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt E - E (Anlage 2.17) 47
Tabelle 17: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt F - F (Anlage 2.18) 47
Tabelle 18: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt G - G (Anlage 2.19) 48
Tabelle 19: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt H - H (Anlage 2.20) 48
Tabelle 20: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt I - I (Anlage 2.21) 49
Tabelle 21: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt J - J (Anlage 2.22) 49

Tabelle 22: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt K - K (Anlage 2.23).....50
Tabelle 23: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt L - L (Anlage 2.24) 50

Anlagen

Anlage 1:	Lagepläne	(8 Blatt)
Anlage 2:	Rammkernprofile	(11 Blatt)
	Grundwassermessstelle	(1 Blatt)
	Geotechnische Schnitte	(12 Blatt)
Anlage 3:	Chemische Analyse Boden	(48 Blatt)
Anlage 4:	Analysenprotokolle GBA	(188 Blatt)
Anlage 5:	Probenentnahmeprotokoll	(7 Blatt)
Anlage 6:	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	(45 Blatt)

1 Auftrag, Vorgang und Situationsbeschreibung

Die Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH wurde von der Bielefelder Beteiligungs- und Vermögensverwaltungs-GmbH, beauftragt,

- den vorliegenden Bestand des ungebundenen Oberbaus für die Stadtbahn Linie 4 in Bielefeld zu erfassen,
- die anstehenden Böden in Homogenbereiche einzuteilen,
- eine Grundwassermessstelle in der Grünfläche zu erreichten,
- vorhandene Grundwassermessstellen zu beproben,
- eine Bewertung der Baugrundverhältnisse im Hinblick auf die geplante Maßnahme (Untergrund- und Grundwassersituation) und bautechnische Hinweise zum Kanalbau in Hinblick auf die Tragfähigkeit des Rohrauflagers, zur Verdichtung, zur Wasserhaltung und zum Verbau zu geben und
- eine Aussage über eine Wiederverwertung für die ungebundenen Schichten nach LAGA-Bauschutt / LAGA-Boden bzw. über eine Entsorgung gemäß den Vorgaben der Deponieverordnung zu treffen.

Für die Bestandsuntersuchung wurden die nachfolgend aufgeführten Untersuchungsschritte in situ durchgeführt:

- Begutachtung der Flächen und Festlegung der Probeentnahmestellen am 15.07.2021 und 26.07.2021
- Probenahme (Rammkernbohrungen, Rammsondierungen) am 28.07.2021, 29.07.2021, 03.08.2021, 04.08.2021, 05.08.2021, 09.08.2021, 10.08.2021, 11.08.2021 und 13.09.2021

Die gewonnenen Proben wurden labortechnisch für weitere Materialanalysen (chemisch und substantiell) untersucht. Die detaillierten Beschreibungen zu den einzelnen Arbeits- und Untersuchungsschritten werden in dem nachfolgenden Kapitel 2 erläutert.

2 Untersuchungsschritte und -beschreibungen

2.1 Probennahme

Zur Substanzbewertung des vorhandenen ungebundenen Aufbaus wurden an den in der nachfolgenden Tabelle 1 sowie in den Lageplänen (Anlage 1) aufgeführten Untersuchungspunkten Rammkernbohrungen und Rammsondierungen durchgeführt. Zur Beobachtung von Grundwasserschwankungen wurde die Bohrungen RKB 11 zu einer Grundwassermessstellen ausgebaut.

Tabelle 1: Entnahmestellen Rammkernbohrungen, Ansatzpunkte der Rammsondierung und Errichtung der Grundwassermessstelle

Proben-bezeichnung [RKB / DPH / GWMS] (*)	**Durchmesser RKB / DPH / GWMS** (*) [mm]	**Gewünschte Bohrtiefe** [m]	**Erzielte Bohrtiefe** [m]	**Gewerk**
RKB A1 / DPH A1	80 / 43	5,00 / 8,00	6,80 / 8,00	Kanaltrasse
RKB A2	80	5,00	4,70	
RKB A3 / DPH A3	80 / 43	5,00 / 5,00	4,30 / 5,00	Regenrückhaltebecken
RKB A4 / DPH A4	80 / 43	5,00 / 5,00	5,00 / 5,00	
RKB A5 / DPH A5	80 / 43	5,00 / 5,00	5,00 / 5,00	
RKB A6	80	5,00	5,00	Kanaltrasse
RKB A7	80	5,50	5,00	
RKB A8	80	5,50	5,00	
RKB A9	80	6,00	4,70	
RKB A10	80	5,00	5,00	
RKB A11	80	6,00	4,70	
RKB A12	80	5,50	5,30	
RKB A13	80	6,50	6,50	
RKB A14	80	5,00	5,00	Rand vom Regenrückhaltebecken
RKB A15	80	5,00	5,00	Kanaltrasse
RKB A16	80	5,50	4,60	
RKB A17	80	5,50	4,30	

Proben-bezeichnung [RKB / DPH / GWMS] (*)	**Durchmesser RKB / DPH / GWMS** (*) [mm]	**Gewünschte Bohrtiefe** [m]	**Erzielte Bohrtiefe** [m]	**Gewerk**
RKB A18	80	6,00	4,70	Kanaltrasse
RKB A19	80	6,00	5,30	
RKB A20	80	8,00	7,30	Böschungskopf
RKB A21	80	5,00	4,00	Böschungsfuß
RKB B1	80	4,50	4,00	Kanaltrasse
RKB B2	80	5,00	5,00	
RKB B3	80	5,50	5,50	
RKB B4	80	7,00	5,60	
RKB B5	80	7,00	4,70	
RKB E1	80	6,00	5,10	Kanaltrasse
RKB E2	80	3,50	3,50	
RKB E3	80	3,50	4,50	
RKB E4	80	3,50	3,50	
RKB E5	80	4,50	4,50	
RKB C1	80	5,00	5,00	Kanaltrasse
RKB C2	80	5,50	5,50	
RKB C3	80	5,50	5,50	
RKB N1	80	5,50	5,40	Kanaltrasse
RKB N2	80	5,50	5,50	
RKB N5	80	7,00	6,30	
RKB N6	80	6,00	5,30	
RKB F1	80	4,50	4,50	Kanaltrasse
RKB M7	80	4,00	4,00	Kanaltrasse
GWMS 11	60	6,50	6,00	-

(*) RKB = Rammkernbohrung; DPH = schwere Rammsondierung; GWMS = Grundwassermessstelle

Durch die durchgeführten Rammkernbohrungen werden nur punktuelle Aufschlüsse des ungebundenen Untergrundes dargestellt. Bei inhomogenen Bodenstrukturen können im angrenzenden Bereich der Entnahmestelle deutliche Abweichungen der Materialzusammensetzung und Schichtenfolge auftreten.

Die Einstufung der Materialien in Bodengruppen gemäß DIN EN 18196 erfolgt zunächst nach organoleptischer Analyse der Materialien. Im Anschluss wird eine Verifizierung der qualitativen Bewertung durch Nasssiebungen, Sieb-/Schlämmungen, Erfassung der Zustandsgrenzen (Atterberg), Proctordichte, Glühverlust, Wassergehalte und Wasseraufnahmevermögen (Enslin) im Zuge eines erweiterten Laborprogramms durchgeführt (vgl. Tabelle 4).

2.2 Rammsondierungen nach EN ISO 22476-2 (2012)

Nach EN ISO 22476-2 (März 2012) werden Rammsondierungen als indirekte geotechnische Untersuchung, zur Bestimmung der qualitativen Beurteilung der Bodenschichten hinsichtlich ihrer Lagerungsdichte bzw. ihrer Konsistenz durchgeführt. Für einen direkten und quantitativen Aufschluss über exakte Parameter wie Bodenzusammensetzungen, Schichtstärken, genaue Lagerungsdichten, Aussagen zur Tragfähigkeit und Frostsicherheit sind weitere in – situ Versuche, wie Plattendruckversuche und Schurfentnahmen / Rammkernbohrungen, aber auch Laborversuche, wie die Bestimmung der Korngrößenverteilung und Proctordichte notwendig.

Rammsondierungen werden allgemein und bis auf ein paar Ausnahmen in leichte (DPL), mittlere (DPM) und schwere (DPH) unterteilt. Die Auswahl der jeweiligen Sondiergeräte richtet sich nach dem jeweiligen zu erwartenden Untergrund sowie der geforderten Eindringtiefe.

Bei der Durchführung einer Rammsondierung erfolgt das definierte Einrammen bzw. Einschlagen der Rammsonde mit definierter Energie und Fallhöhe. Die Sonde wird dabei mittels eines definierten Fallgewichtes (DPL: 10 kg, DPH: 50 kg) in den Boden eingetrieben. Die Anzahl der Schläge pro 10cm Eindringtiefe (N_{10}) werden in einem

Rammdiagramm (siehe Anlage 2.1 und 2.5) dokumentiert. Die Auswertung erfolgt auf Grundlage von Erfahrungswerten.

Bei der leichten Rammsondierung (DPL) werden die jeweiligen Bodenschichten Kies, Sand, Schluff oder Ton unter anderem anhand der Reibung, des Geräusches und des Verhaltens des Sondiergerätes sowie der Betrachtung des Gestänges nach Versuchsdurchführung festgestellt.

Gerade bei den leichten Rammsondierungen (DPL) kann es zu gerätetechnischen und geotechnischen Einflüssen auf den Eindringwiderstand an der Sondierspitze kommen.

1. Gerätetechnische Einflüsse:
    - Spitzendurchmesser
    - Gestängelänge
2. Geotechnische Einflüsse:
    - Mantelreibung am Gestänge
    - Bodenart, Bodengruppe und Bodenbeschaffenheit
    - Schichtenfolge und Grenztiefen
    - Sondiertiefe
    - des eindringenden Grundwassers, gerade bei grobkörnigen Fraktionen und Sanden

2.3 Homogenbereiche nach DIN 18300 (2015)

Nach VOB/C DIN 18300 (August 2015) werden die Boden- und Felsarten gemäß dem Zustand vor dem Lösen in Homogenbereiche (HB) eingestuft. Der Homogenbereich definiert einen begrenzten Bereich bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für das jeweilige Baugewerk bzw. Bauverfahren vergleichbare Eigenschaften aufzeigt. Diese bodenmechanischen Eigenschaften werden auf der Grundlage von geotechnischen Feld- und Laboruntersuchungen ermittelt und mit Erfahrungswerten ergänzt. Des Weiteren sind die umweltrelevanten Parameter zu beachten.

Folgende bodenmechanische Eigenschaften und Kennwerte sind für Erdarbeiten (Boden) nach DIN 18300 (August 2015) relevant:

- Kornverteilungskurven nach DIN ISO 17892-4 (für Boden) und DIN EN 933-1 (für Baustoffgemische)
- Steine / Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1
- Bodengruppen nach DIN 18196
- Ortsübliche Bezeichnungen
- Dichte nach DIN 18125-2 / DIN EN ISO 17892-2
- Undränierte Scherfestigkeit nach DIN 4094-9 / DIN 18136 / DIN 18137-2
- Wassergehalt nach DIN EN ISO 17892-1
- Plastizitätszahl nach DIN 18122-1
- Konsistenzgrenzen, Konsistenzzahl nach DIN 18122-1 / DIN EN ISO 14688-1
- Lagerungsdichte nach DIN EN ISO 15488-2 / DIN 18126
- Organischer Anteil nach DIN 18128

Folgende bodenmechanische Eigenschaften und Kennwerte sind für Erdarbeiten (Fels) nach DIN 18300 (August 2015) relevant:

- Benennung nach DIN EN ISO 14689-1
- Ortsübliche Bezeichnungen
- Dichte nach DIN 18125-1 oder -2
- Verwitterung, Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689-1
- Druckfestigkeit nach DGGT Nr. 1
- Trennflächen nach DIN EN ISO 14689-1

Zuvor wurde die DIN 18300 (2012) verwendet, die eine Einstufung in 7 Bodenklassen nach dem Schwierigkeitsgrad der Bearbeitung (Lösen, Laden, Fördern, Einbauen und Verdichten) zusammenfasst.

2.4 Chemische Untersuchungen im Labor

Mit den chemischen Untersuchungen der Proben gemäß LAGA-Bestimmungen für Bauschutt(1) und Boden(2) sowie DepV(3) und Betonaggressivität im Grundwasser(4) wurde die Gesellschaft für Bioanalytik mbH (GBA), Bruchstraße 5c in 45883 Gelsenkirchen beauftragt. Die Ergebnisprotokolle liegen als Anlage 4 bei.

Nach Abgabe des Gutachtens werden die verbliebenen Bodenproben der Laborversuche 24 Monate aufbewahrt und dann, falls vom Auftraggeber nicht anders gewünscht, entsorgt.

2.4.1 Untersuchungen zur Wiederverwertung und Deponierung

Zwecks einer Aussage zur Wiederverwertbarkeit von Untergrundmaterialien / Böden / Bauschutt greifen die Beschlüsse der LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall). Im Jahre 1997 hat die LAGA in der Mitteilung 20 (LAGA M 20) s. g. Zuordnungskriterien (Z 0 bis Z 2) definiert in denen die Wiederverwertbarkeit von Boden und Bauschutt geregelt ist. Die Tabelle 2 führt die Zuordnungsklassen gemäß den LAGA-Bestimmungen und die zugehörigen Wiederverwertungen auf.

Tabelle 2: Zuordnungsklassen gemäß den LAGA-Bestimmungen

Z 0	Wiederverwertung im uneingeschränkten, offenen Einbau
Z 1.1	Wiederverwertung im eingeschränkten, offenen Einbau unter ungünstigen hydrologischen Standortbedingungen; z.B. Wegebau, Unterbau von Gebäuden, unterhalb durchwurzelter Bodenschichten
Z 1.2	Wiederverwertung im eingeschränkten, offenen Einbau unter günstigen hydrologischen Standortbedingungen; z.B. Standorte, bei denen der Grundwasserleiter nach oben durch ausreichend mächtige Deckschichten mit hohem Rückhaltevermögen gegenüber Schadstoffen überdeckt ist oder Standorte mit hohem Grundwasserflurabstand.
Z 2	Wiederverwertung im eingeschränkten Einbau definierten technischen Sicherungsmaßnahmen; z.B. bei einer Anlage von befestigten Flächen in Industrie- und Gewerbegebieten sowie sonstige Verkehrsflächen als Tragschicht unter wasserundurchlässiger Deckschicht

(1) Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20, 4. erw. Auflage, 6.11.1997.

(2) Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20; überarbeitete Endfassung vom 06.11.2003 (Allgemeiner Teil), Teile II (Boden) und III vom 05.11.2004.

(3) Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung, DepV) vom 16.07.2009, BGBl. I 2009; zuletzt geändert: 03.2016.

(4) Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte vom 06.2008.

	oder gebundener Tragschicht unter weniger durchlässiger Deckschicht. Der Abstand zwischen Unterkante des Schüttkörpers und maximalem Grundwasserstand sollte mindestens 2 m betragen.
> Z 2	Wiederverwertung nicht zulässig, Material muss Entsorgung zugeführt werden.

Die gewonnenen Materialien aus den Rammkernbohrungen werden zu repräsentative Einzel- und Mischproben zusammengestellt und homogenisiert.

In der Anlage 3.1 sind die Untersuchungsergebnisse den Zuordnungswerten der Einbauklassen Z 0 - Z 2 nach LAGA-Bauschutt (Boden mit einem Fremdanteil ≥ 10 %) gegenübergestellt.

In den Anlagen 3.2 bis 3.21 sind die Untersuchungsergebnisse den Zuordnungswerten der Einbauklassen Z 0 - Z 2 nach LAGA-Boden für die Bodenarten Sand bzw. Lehm/Schluff bzw. Ton gegenübergestellt.

Zur Bestimmung der Deponieklasse werden die Proben einer Deklarationsanalyse nach DepV unterzogen. Gemäß § 2 der DepV werden für die Ablagerung folgende Deponieklassen (DK) unterschieden:

- DK 0 - Deponie: Oberirdische Deponie für Inertabfälle (z. B. unbelasteter Boden und unbelasteter Bauschutt)
- DK I bis DK II – Deponie: Oberirdische Deponie für nicht gefährliche Abfälle
- DK III – Deponie: Oberirdische Deponie für nicht gefährliche und gefährliche Abfälle

In der deutschen Abfallverzeichnisverordnung (AVV) sind die Abfallarten nach der Herkunft und dem Entstehungsprozess in 20 Hauptgruppen unterteilt. Jeder Abfallart wird ein sechsstelliger Zahlencode (Abfallschlüsselnummer) zugeordnet. Des Weiteren werden die Abfälle als gefährliche Abfälle (durch einen Stern * gekennzeichnet) und als nicht gefährliche Abfälle klassifiziert. Diese Einstufung erfolgt über den Gehalt an gefährlichen Inhaltsstoffen oder Eigenschaften.

In den Anlagen 3.22 bis 3.34 sind die detektierten Schadstoffgehalte den Zuordnungswerten der Deponieklassen DK 0 – DK III gegenübergestellt und die jeweiligen Abfallschlüssel gemäß der AVV[5] aufgeführt. In der Tabelle 3 sind die relevanten Abfallschlüsselnummern aufgeführt.

Tabelle 3: Abfallschlüsselnummern gemäß AVV

Boden	17 05 04	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03* fallen
	17 05 03*	Boden und Steine, die gefährliche Stoffe enthalten

2.4.2 Betonaggressivität im Grundwasser

Unter dem Begriff Betonaggressivität bezeichnet man die Zersetzung von Betonbauteilen und dem darin verbauten Stahl. Hierbei sind bestimmte Wasserinhaltsstoffe, wie zum Beispiel der Härtegrad, des Grundwassers entscheidend.

Die Betonaggressivität von Wässern wird gemäß DIN 4030 - Teil 1[6] in drei Expositionsklassen unterteilt:

- XA1: schwach angreifend
- XA2: mäßig angreifend
- XA3: sehr stark angreifend

2.5 Substanzbewertung der ungebundenen Materialien

Die Einstufung der Materialien in Bodengruppen gemäß DIN EN 18196 erfolgt nach organoleptischer Analyse der Materialien. Falls eine eindeutige Feststellung der Bodengruppe nicht möglich ist, wird eine Siebanalyse nach DIN ISO 17892-4 (für Boden) und DIN EN 933-1 (für Baustoffgemische) empfohlen, sodass die Korngrößenanteile verifiziert werden können.

---

(5) Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV) vom 10.12.2001, BGBl. I S. 3379), zuletzt geändert: 22.12.2016

(6) Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase - Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte vom 06.2008.

Die folgende Abbildung 1 entsprechend den ZTV E-StB 17 führt die Bewertung der Frostempfindlichkeit in Abhängigkeit der Bodengruppe auf und bilden die Bewertungsgrundlage für die untersuchten Bodenproben.

	Frostempfindlichkeit	Bodengruppen (DIN 18196)
F1	nicht frostempfindlich	GW, GI, GE SW, SI, SE
F2	gering bis mittel frostempfindlich	TA OT, OH, OK ST, GT } 1) SU, GU } 1)
F3	sehr frostempfindlich	TL, TM UL, UM, UA OU ST*, GT* SU*, GU*

1) zu F1 gehörig , wenn bei
U ≥ 15,0 der Anteil der abschlämmbaren Bestandteile (d < 0,063 mm) ≤ 5,0 M.-% ist
oder bei
U ≤ 6,0 der Anteil der abschlämmbaren Bestandteile (d < 0,063 mm) ≤ 15,0 M.-% ist
Im Bereich 6,0 < U < 15,0 kann der für die Zuordnung zu F1 zulässige Anteil an Korn unter 0,063 mm linear interpoliert werden (s. Bild)

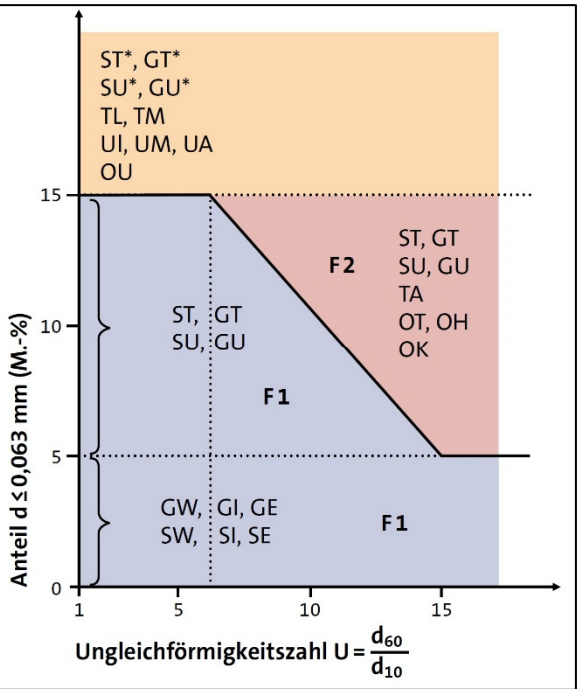


Abbildung 1: Zuordnung der Frostempfindlichkeitsklassen [ZTV E-StB 17]

3 Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Vorhandene Schichtdicken und Zusammensetzung der ungebundenen Materialen (Rammkernbohrungen)

Auf Grundlage von Rammkernbohrungen (RKB) wurde das ungebundene Material des Oberbaus analysiert. Die Schichtdicken und -zusammensetzungen sowie die vorgetroffene Bodengruppe und die entsprechende Einteilung in die Frostempfindlichkeitsklasse jeder Bohrung sind im Detail den Säulenprofilen der Anlage 2 zu entnehmen. Die Bodenansprache der einzelnen Schichten erfolgte organoleptisch.

Die Tabelle 4 listet das bodenmechanische Laborprogramm sowie die dafür verwendeten Einzelproben bzw. die hergestellten Mischproben auf.

Tabelle 4: Bodenmechanische Laborprogramm (Rammkernbohrungen)

Labor-Nr. (*)	**Zusammen-setzung** (RKB, Einbaulage)	**Teufe** von - bis [m]	**Bodengruppe** DIN 18196	**Untersuchungs-umfang**	**Analyse-Methode**
001	A2.2 A3.2 A4.2	0,34 – 3,00 0,54 – 3,80 0,47 – 4,60	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Glühverlust	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18 128
002	A14.2 A5.2 A6.2 A7.2	0,28 – 4,40 0,38 – 4,60 0,45 – 3,10 0,40 – 3,00	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Glühverlust	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18 128
003	A9.2 A10.2 A11.2	0,36 – 3,10 0,24 – 3,50 0,36 – 4,10	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Glühverlust Enslin	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18 128 DIN 18132
004	A17.2 A18.2 A19.2	0,58 – 3,00 0,26 – 3,00 0,21 – 0,38	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Enslin	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18132
005	B2.3 B3.2	0,90 – 2,70 0,90 – 2,60	GU (Auffüllung)	Sieb-/Schlämmung	DIN EN ISO 17892-4
006	A1.4 A2.3 A4.3	5,60 – 6,30 3,00 – 4,20 4,60 – 5,00	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
007	A6.3 – A6.4	3,10 – 5,00	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
008	A9.3 A10.3	3,10 – 4,50 3,50 – 4,70	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4

Labor-Nr. (*)	**Zusammen-setzung** (RKB, Einbaulage)	**Teufe** von - bis [m]	**Bodengruppe** DIN 18196	**Untersuchungs-umfang**	**Analyse-Methode**
				Enslin	DIN 18132
009	A17.3 A18.3	3,00 – 4,30 3,00 – 4,30	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
010	C1.3 C2.4 B4.3	2,40 – 3,00 2,90 – 3,20 1,00 – 3,00	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Enslin	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18132
011	E1.2 E3.2 E5.2	0,43 – 4,10 0,55 – 3,90 0,45 – 3,00	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
~~012~~	~~F1.2~~	~~0,33 – 3,80~~	~~SU~~	~~Nass- oder Trockensiebung Glühverlust~~	~~DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 128~~
033	N1.2 – N1.3 N5.2	0,10 – 1,30 0,40 – 0,80	SU	Nass- oder Trockensiebung Glühverlust	DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 128
034	N1.4 N2.2 N5.3	1,30 – 2,50 0,56 – 4,20 0,80 – 4,70	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Glühverlust Enslin	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18 128 DIN 18132
036	N1.6 N2.3 – N2.4	3,40 – 5,40 4,20 – 5,50	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Enslin	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18132
037	N5.5 N6.3	5,10 – 6,30 3,30 – 4,80	UL (Geschiebe-lehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
049	A2.1 A4.1 A6.1 A7.1 A9.1 A10.1 A11.1 A12.1	0,00 – 0,34 0,00 – 0,47 0,00 – 0,45 0,00 – 0,40 0,00 – 0,36 0,00 – 0,24 0,00 – 0,36 0,00 – 0,48	Oberboden	Wassergehalt Glühverlust	DIN 18 121 DIN 18 128

Labor-Nr. (*)	**Zusammen-setzung** (RKB, Einbaulage)	**Teufe** von - bis [m]	**Bodengruppe** DIN 18196	**Untersuchungs-umfang**	**Analyse-Methode**
050	B2.1 B4.1	0,00 – 0,20 0,00 – 0,60	Oberboden	Glühverlust	DIN 18 128
051	A13.1	0,00 – 0,38	Oberboden	Glühverlust	DIN 18 128
056	N2.1 N6.1 N4.1	0,00 – 0,56 0,00 – 0,30	Oberboden	Glühverlust	DIN 18 128

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen sind in der Anlage 6 dargestellt. Ebenfalls sind die Bohrprofile (RKB) daraufhin angepasst (siehe Anlage 2).

Bedingt durch eine zu geringe Menge an Probenmaterial konnte das Bodenlaborprogramm für die Laborprobe 012 nicht durchgeführt werden.

3.2 Schichtenfolge

Allgemein wird in allen Teilgutachten im Rahmen des Bauvorhabens „Stadtbahn Linie 4“ zwischen folgenden Baugrundschichten differenziert und einheitlich unterschieden:

Schicht I: Oberboden
Schicht II: Auffüllungen
Schicht III: fluviatile Talablagerungen
Schicht IV: Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit)
Schicht V: Geschiebelehme / -mergel (Saale - Kaltzeit)
Schicht VI: Beckenschluff (Saale - Kaltzeit)
Schicht VII: Tonmergel / Tonstein (Jura, Lias)

Eine ausführliche Beschreibung der regionalen Geologie ist in dem Teilgutachten 21-4728-01 enthalten. Die einheitliche Bodeneinteilung wird in allen Teilgutachten vorgenommen, um Verwechslungen im späteren Bauverlauf auszuschließen.

Im Rahmen des Baus des Regenrückhaltebeckens sowie der Kanaltrassen werden im Bereich der relevanten Bohrungen folgende Baugrundschichten angetroffen:

Schicht I: Oberboden

Schicht II: **Auffüllungen**
Schicht IV: **Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit)**
Schicht V: **Geschiebelehme / -mergel (Saale - Kaltzeit)**
Schicht VI: **Beckenschluff (Saale - Kaltzeit)**
Schicht VII: **Tonmergel / Tonstein (Jura, Lias)**

Im Rahmen dieses Gutachtenteils erfolgt daher auch nur die Beschreibung der für diesen Bereich relevanten angetroffenen Böden.

Zu Schicht I: Oberboden

Die Geländeoberfläche ist im Bereich der meisten Untersuchungspunkte mit einer variierend dicken Oberbodenschicht abgedeckt. Lediglich im Bereich der Untersuchungspunkte Nr. B 1, B 3 sowie F 1 wurde zuoberst keine Oberbodendecke angetroffen. Die Spanne der Schichtmächtigkeiten reicht gemäß den Bohrungen von 8 cm - 160 cm. Im Mittel ist von einer Oberbodenmächtigkeit von 30 cm bis 40 cm auszugehen. Grundsätzlich sind die Oberböden in der Regel natürlich. Aufgrund der teilweise recht hohen Schichtmächtigkeiten ist es jedoch wahrscheinlich, dass die Oberböden stellenweise auch aufgefüllt sind.

In der Regel setzen sich die Oberböden aus schwach schluffigen bis schluffigen, sehr schwach bis schwach kiesigen, schwach bis stark humosen Sanden sowie aus sehr schwach bis schwach tonigen, schwach bis stark sandigen, sehr schwach bis schwach kiesigen, schwach bis stark humosen Schluffen zusammen. Gemäß der DIN 18196 sind die Oberböden den Bodengruppen OU (organogene Schluffe) und OH (grob- bis gemischtkörnige Böden mit humosen Beimengungen) zuzurechnen. Der Organikanteil und der Wassergehalt variieren in Abhängigkeit der Jahreszeiten stark.

Zu Schicht II: Auffüllungen

Im Bereich der Untersuchungspunkte B 1 bis B 4 sowie M 7 wurden zuoberst bzw. unterhalb der organischen Oberbodendecke anthropogene Auffüllungen bis in variierende Untersuchungstiefen von 0,2 m bis 2,7 m unter GOK (Geländeoberkante) angetroffen. Die Zusammensetzung der Auffüllungen variiert sehr stark und ist als sehr

heterogen zu bewerten. Neben Felsbrüchen, Lehmen und Flusskiesen wurden auch Ziegelbruch, Fliesenbruch, Verfestigungen, Bausand Wurzeln und Blätter angetroffen.

Die Auffüllungen besitzen die Kornverteilungen von sandigen bis stark sandigen, sehr schwach schluffigen bis schluffigen Kiesen und von schwach kiesigen bis kiesigen, schwach sandigen bis sandigen, sehr schwach bis schwach tonigen, teils humosen Schluffen. Untergeordnet werden auch reine Sande und schwach sandige, schwach kiesige Tone angetroffen.

In Abhängigkeit der Wassergehalte besitzen die Lehmanteile teils weiche bis steife und teils auch halbfeste bis feste Konsistenzen. Gemäß der DIN 18196 sind die Böden den Bodengruppen GW (weitgestufte Kies - Sand Gemische), GU* (Kies - Schluff Gemische; 15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm), GU (Kies - Schluff Gemische; 5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm), UL (leichtplastische Schluffe) sowie untergeordnet auch SE (enggestufte Sande), TM (mittelplastische Tone) und OU (organogene Schluffe) zuzurechnen. Insgesamt ist die Zusammensetzung der angetroffenen Böden als sehr heterogen zu bewerten.

<u>Zu Schicht IV: Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit)</u>

Unterhalb der Oberbodenauflagen bzw. Auffüllungen folgen dann in der Regel quartäre Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit). Lediglich im Bereich der Untersuchungspunkte Nr. A 21, B 1 und B 2 wurden die Lösslehme nicht angetroffen. Die Lösslehme stehen bis in variierende Tiefen zwischen 1,7 m bis 5,6 m unter GOK an. Untergeordnet wurde im Bereich des Untersuchungspunktes F 1 auch eine Sandlinse angetroffen.

Neben der organoleptischen Bodenansprache wurde das Spektrum der Korngrößenverteilungen der Lösslehme anhand von kombinierten Sieb-/Schlämmanalysen ermittelt und stellt sich mit Verweis auf nachfolgende Abbildung wie folgt dar:

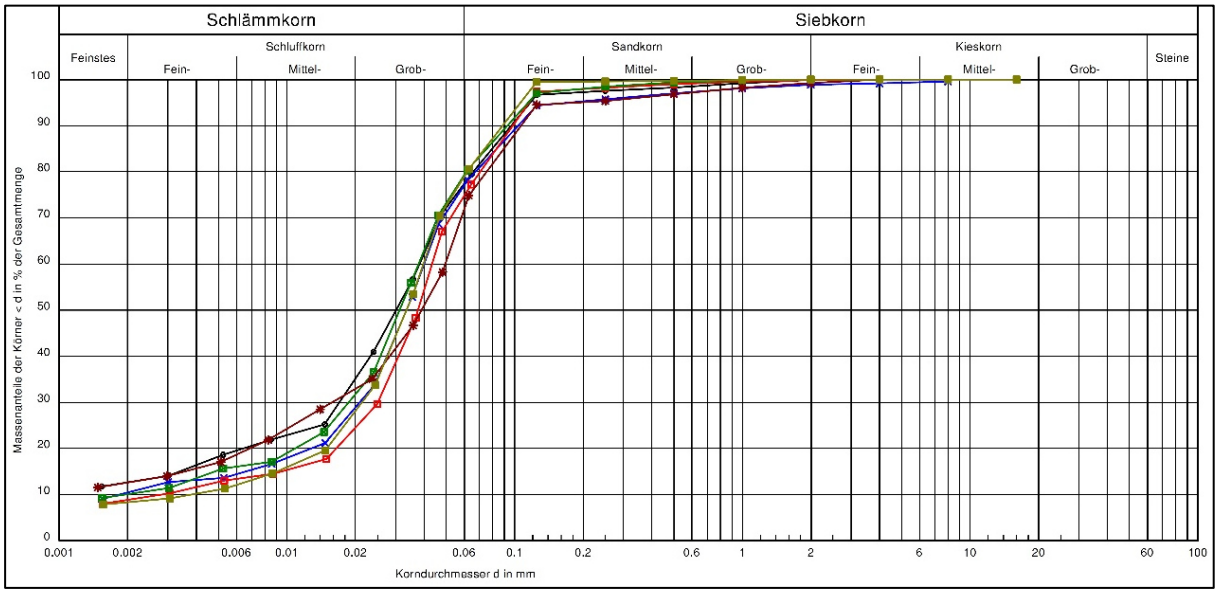


Abbildung 2: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Lösslehme

Die Lehme setzen sich überwiegend aus Schluffen mit schwach bis stark sandigen, sehr schwach bis schwach tonigen sowie sehr schwach bis schwach kiesigen Nebenanteilen zusammen. Die Bodengruppe nach DIN 18196 ist UL (leichtplastische Schluffe).

Das Spektrum der natürlichen Wassergehalte liegt zwischen

w = 17,4 - 22,6 Gew.-%

und der mittlere Wassergehalt liegt bei

$w_{m,Löss}$ = 21,2 Gew.-%.

Die Lösslehme besitzen in der Regel weiche bis überwiegend steife Konsistenzen. Unter dem Einfluss von Grundwasser wurden stellenweise auch breiige bis weiche Konsistenzen angetroffen.

Untergeordnet wurde im Bereich der Bohrung F 1 eine Sandlinse angetroffen. Diese setzt sich aus schwach schluffigen, sehr schwach bis schwach kiesigen Sanden zusammen. Gemäß der DIN 18196 ist sie der Bodengruppe SU (Sand - Schluff Gemische 5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm) zuzuordnen.

Das nach DIN 18123 ermittelte Wasseraufnahmevermögen nach Ensslin wurde an 3 Proben (siehe Anlagenteil 6.6) ermittelt und variiert zwischen

w_b = 40,9 und 87,4 Gew.-%.

Das Wasseraufnahmevermögen ist als niedrig bis hoch einzustufen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der untersuchte Boden keine gefährlichen quellfähigen Tonminerale aufweist. Quellfähige Tonböden werden von Schultze/Muhs in „Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten“ aus 1967, Seite 442 als bauwerksgefährdend angesehen, wenn sie ein Wasseraufnahmevermögen von deutlich mehr als 100 Gew.-% aufweisen. Zum Vergleich: Böden mit Montmorilonitteilchen können sogar Aufnahmevermögen von 300 – 700 Gew.-% aufweisen.

Zu Schicht V: Geschiebelehme / -mergel (Saale - Kaltzeit)

Unterhalb der Lösslehme bzw. der Auffüllungen folgen dann in der Regel quartäre (glaziale) Geschiebelehme über Geschiebemergel (Saale - Kaltzeit). Lediglich im Bereich der Untersuchungspunkte Nr. E 1 bis E 3 sowie G 2 wurde kein Geschiebelehm / -mergel angetroffen. Die Geschiebelehme / -mergel werden bis in variierende Tiefen von 3,5 m bis 8,3 m unter GOK angetroffen.

Die zuoberst anstehenden Geschiebelehme sind in der Regel entkalkt während der Geschiebemergel kalkhaltig ist. Das Spektrum der Korngrößenverteilungen der Geschiebelehme stellt sich mit Verweis auf nachfolgende Abbildung wie folgt dar:

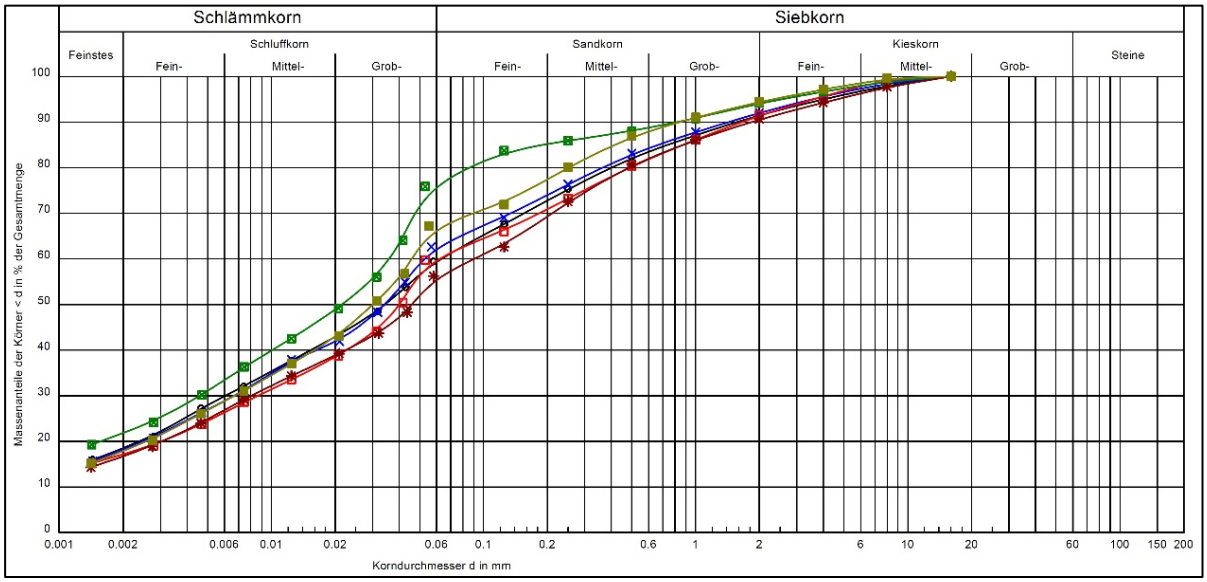


Abbildung 3: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Geschiebelehme

Anhand der ermittelten Zustandsgrenzen (siehe Anlagenteil 5) wird den Tonbestandteilen die prägende Bodeneigenschaft zugewiesen, so dass die Hauptbodenart Ton ist, der von schluffigen, sandigen und kiesigen Nebenanteilen in unterschiedlichen Mengenverhältnisse durchsetzt ist. Die Bodengruppen sind nach DIN 18196 TM (mittelplastische Tone) sowie untergeordnet auch TL (leichtplastische Tone).

Die natürlichen Wassergehalte liegen zwischen

w = 15,6 - 26,9 Gew.-%

und der mittlere Wassergehalt liegt bei

$w_{m,G\text{-}Lehm}$ = 21,3 Gew.-%.

Die Konsistenzen der Geschiebelehme variieren zwischen weich und überwiegend steif. Untergeordnet werden auch halbfest bis feste Konsistenzen sowie stellenweise unter Grundwassereinfluss auch breiige bis weiche Konsistenzen angetroffen.

Das nach DIN 18123 ermittelte Wasseraufnahmevermögen nach Ensslin wurde an 3 Proben (siehe Anlagenteil 6.6) ermittelt und variiert zwischen

w_b = 42,4 und 72,2 Gew.-%.

Das Wasseraufnahmevermögen ist als niedrig bis mittel einzustufen. Es ist davon auszugehen, dass der untersuchte Boden keine gefährlichen quellfähigen Tonminerale aufweist.

Zu Schicht VII: Tonmergel / Tonstein (Jura, Lias)

Das Grundgebirge wird im Untersuchungsbereich aus Tonsteinen und Tonmergelsteinen des Lias/Jura gebildet. Die Oberfläche des in der Regel oberflächennah zu Ton zersetzten, dunkelgrauen Tonmergels bzw. Tonsteins wurde durch folgende Bohrungen erbohrt:

- Bohrung A 1: bis 6,8 m unter GOK
- Bohrung A 2: bis 4,7 m unter GOK
- Bohrung A 9: bis 4,7 m unter GOK
- Bohrung A 10: bis 5,0 m unter GOK
- Bohrung A 13: bis 6,5 m unter GOK
- Bohrung A 18: bis 4,7 m unter GOK
- Bohrung A 19: bis 5,3 m unter GOK
- Bohrung A 20: bis 7,3 m unter GOK
- Bohrung A 21: bis 4,0 m unter GOK
- Bohrung C 3: bis 5,5 m unter GOK
- Bohrung E 1: bis 5,1 m unter GOK
- Bohrung G 2: bis 5,1 m unter GOK

Oberflächennah ist der Tonmergel / -stein als vollständig zu Ton zersetzt zu beschreiben. Er besitzt demnach eine lockergesteinsartige Struktur mit einer Kornverteilung von schwach schluffigen bis schluffigen, schwach sandigen bis sandigen, sehr schwach bis schwach kiesigen Tonen. Sofern man sie einem Lockergestein gleichstellen will, entsprechen sie Tonen der Bodengruppe TM mit halbfesten bis festen Konsistenzen.

3.3 Geotechnischer Schnitt

Die vorstehend erläuterte, wechselnde Schichtenfolge ist in den geotechnischen Systemschnitten in den Anlagen 2.13 bis 2.24 zusammengefasst. Der Schichtenaufbau ist schematisch dargestellt, so dass entsprechend der Natur geologischer Körper zwischen den Bohrpunkten mit Abweichungen von den idealisierten Linien zu rechnen ist.

Zusätzlich sind die zukünftigen Kanaldeckel sowie Kanalsohlen der jeweiligen Kanaltrassen (Regenwasser bzw. Schmutzwasser), Angaben zu dem Stauziel sowie die Sohle der Regenrückhaltebeckens, die gemessenen Wasserstände nach Bohrende im Bohrloch und die Homogenbereiche eingetragen.

3.4 Grundwasserstand

Grundwasser wurde im Rahmen der Bohrungen in variierenden Tiefen von etwa 0,6 m bis 4,8 m unter Geländeniveau innerhalb der Lösslehme der Schicht IV sowie teils auch innerhalb der Geschiebelehme / -mergel der Schicht V erbohrt. Teilweise wurden, insofern der Wasserstand innerhalb des Bohrloches nicht mit Hilfe des Kabellichtlotes messbar war, die Grundwasserstände auch anhand von „zugefallenen“ Bohrlöchern oder besonders „nassen“ Böden abgeleitet. Die ermittelten Grundwasserstände entsprechen absoluten Grundwasserständen von 100,8 mNN bis 113,4 mNN. Die nachfolgende Tabelle gibt die entsprechenden Grundwasserhöhen für die entsprechenden Bohrungen detailliert an.

Tabelle 5: Grundwasserstände und Besonderheiten innerhalb der Bohrlöcher

Rammkernbohrung [n]	**Tiefe GW unter GOK** [m]	**Absolute GW-Höhe** [mNN]	**Besonderheit** (unter GOK / absolute Höhe)	**Baugrundschicht**
A 1	-	-	nass (3,1 m / 109,5 mNN)	Lösslehme
A 6	-	-	zugefallen (3,1 m / 112,4 mNN)	Geschiebelehme / -mergel
A 7	3,8	111,8	-	Geschiebelehme / -mergel
A 8	-	-	zugefallen (2,1 m / 113,1 mNN)	Geschiebelehme / -mergel
A 13	3,8	113,4	-	Lösslehme

Rammkern-bohrung [n]	**Tiefe GW unter GOK** [m]	**Absolute GW-Höhe** [mNN]	**Besonderheit** (unter GOK / absolute Höhe)	**Baugrundschicht**
A 15	4,8	110,2	-	Geschiebelehme / -mergel
A 21	0,6	104,4	-	Geschiebelehme / -mergel
E 2	-	-	feucht (2,3 m / 111,4 mNN)	Lösslehme
E 4	1,6	102,9	-	Lösslehme
E 5	2,0	101,9	-	Lösslehme
F 1	2,3	100,8	-	„Sandlinse“
G 5	3,3	108,6	-	Lösslehme
G 7	-	-	zugefallen (3,2 m / 104,8 mNN)	Lösslehme
G 9	-	-	zugefallen (1,8 m / 102,3 mNN)	Lösslehme
G 10	2,1	102,0	-	Lösslehme

(*) GW = Grundwasser; GOK = Geländeoberkante

Aufgrund der Feinkörnigkeit der überwiegend angetroffenen Lehme (Lösslehme / Geschiebelehme / -mergel) und der damit verbundenen geringen Wasserdurchlässigkeit ist außerdem jahreszeitlich bedingt mit Schichtenwasser und Staunässe zu rechnen.

3.5 Grundwasserwassermessstelle

Die Grundwassermessstelle GWMS 11 wurde am 13.09.2021 im Bereich der zukünftig geplanten Lärmschutzwand eingerichtet (siehe Lageplan 1.6). Der Aufbau des Pegels und die Verfüllung sind in der Anlage 2.12 dargestellt. Insgesamt wurde an zwei Tagen der Wasserstand gemessen (vergleiche Tabelle 6).

Tabelle 6: Wasserstand der Grundwassermessstelle GWMS 11

Datum [n]	**Grundwasserstand POK** [m]	**Grundwasserstand GOK** [m]	**Grundwasserstand GOK** [mNN]
13.09.2021	-	-	-
21.10.2021	3,00	2,20	101,3

(*) POK = Pegeloberkante; GOK = Geländeoberkante

3.6 Bodenmechanische Kennwerte

Die charakteristischen Bodenkennwerte sowie die Homogenbereiche werden aufgrund der Bohr- und Sondierergebnisse sowie regionaler Erfahrungen und einschlägiger Tabellenwerke wie folgt abgeschätzt:

Tabelle 7: Charakteristische Bodenkennwerte GK 2/3, Lockergesteine

Parameter		Schicht I:	Schicht II:	Schicht IV:	Schicht V:	Schicht VII:
1	Homogenbereich (DIN 18300 und 18319:2015-08) **Lösbarkeit**	DIN 18320 Landschaftsbauarbeiten	LÖS-A			LÖS-B
2	Homogenbereich (DIN 18300 und 18319:2015-08) **Einbaufähigkeit**	DIN 18320 Landschaftsbauarbeiten	EIN-A (Lehme: EIN-B)	EIN-B	EIN-C	EIN-E
3	Ortsübliche Bezeichnung	Oberboden	Auffüllungen	Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit)	Geschiebelehme / -mergel (Saale - Kaltzeit)	Tonmergel / Tonstein (Jura, Lias) hier: oberste Verwitterungsrinde in Form von Tonen
4	Bodengruppe (DIN 18196)	OU, OH	sehr heterogen: s. Kapitel 3.2	UL, (SU)	TM, (TL)	TM
5	Korngrößenverteilungen/Bodenarten	U, t'', s' - s*, g'' - g', h' - h* bis S, u' - u, g'' - g', h' - h*	U, t'' - t', s' - s, g' - g, h bis G, s - s*, u'' - u (S und T, s', g')	U, t'' - t', s' - s*, g'' - g' (S, u', g'' - g')	T, u' - u, s' - s*, g'' - g*	T, u' - u, s' - s, g'' - g'
6	Anteil Steine und Blöcke [%]	0 - 10	0 - 15	0 - 5	5 - 15	10 - 20
7	Anteil große Blöcke [%]	0 - 1	0 - 2	0 - 1	0 - 10	5 - 15
8	Dichte, feucht [g/cm³]	1,7 - 1,9	1,9 - 2,1	1,9 - 2,0	1,9 - 2,0	1,9 - 2,1
9	Undränierte Scherfestigkeit c_u [kN/m²]	-	sehr heterogen: s. Kapital 3.2	50 - 150	50 - 200	150 - 400
10	Wassergehalt [%]	5 – 15	10 - 30	15 - 25	15 - 30	20 - 40
11	Konsistenz	-	Lehmanteile: weich - steif; halbfest - fest	steif (breiig, weich)	steif (weich, halbfest - fest)	halbfest - fest
12	Konsistenzzahl I_c [-]	-	Lehmanteile: 0,50 - >1,00	0,75 - 1,20	0,60 - 1,00	> 1,00

Parameter		Schicht I:	Schicht II:	Schicht IV:	Schicht V:	Schicht VII:
13	Plastizitätszahl I_p [-]	-	Lehmanteile: 0,04 - 0,20	0,05 - 0,10	0,15 - 0,25	0,15 - 0,30
14	Lagerungsdichte bzw. Lagerung	-	-	-	-	-
15	Organischer Anteil v_{gl} [%]	3 - 10	0 - 5	0 - 3	0 - 2	-
16	Kalkgehalt [/]	-	-	-	Geschiebe-lehme: kalkfrei Geschiebemer-gel: kalkhaltig	kalkhaltig
17	Wichte γ_k [kN/m³]	15 - 17	18 - 20	18 - 19	18 - 19	18 - 20
18	Reibungs-winkel φ'_k [Grad]	-	27,5 - 32,5	27,5 - 30,0	25,0 - 27,5	25,0 - 30,0
19	Kohäsion c'_k [kN/m²]	-	0 - 5	3 - 5	8 - 10	10 - 20
20	Steifeziffer $E_{s,k}$ [MN/m²]	-	3 - 7	5 - 7	5 - 10	20 - 60
21	Probenbezeich-nung chemische Analysen	MP A1 MP A5 EP A12 EP A13 MP A9 MP E1 MP B1 MP N1 MP C1 EP F1	MP B2 MP B6 EP B7 MP B8 EP B12	MP A2 MP A6 MP A7 MP A10 MP E2 MP B4 MP B5 MP N2 MP C2 MP C3 EP F2	MP A3 MP A7 EP A14 MP A10 EP A11 MP E3 MP B3 MP B4 MP B5 EP B13 MP N3 MP C4 EP C5 EP F3	MP A8 MP A4 MP A15 MP E3
22	Einbauklasse nach LAGA (ungünstigst)	Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1+ Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1	Z 1.2 Z 1.2 Z 2 Z 2 Z 0	Z 0 Z 0 Z 1.1 Z 1.1 Z 0 Z 1.1 Z 0 Z 0 Z 0	Z 1.2 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 0+ Z 0 Z 1.1 Z 0	Z 1.2 Z 1.2 Z 1.1 Z 0+

Parameter		Schicht I:	Schicht II:	Schicht IV:	Schicht V:	Schicht VII:
		Z 0		Z 0 Z 1.1	Z 1.1 Z 1.1 Z 0 Z 1.1 Z 1.1	
23	Deponieklasse nach DepV	DK 0° DK 0° DK 0° DK 0° DK 0 DK 0° DK 0 DK 0 DK 0 DK 0	DK 0 DK 0 DK 0° DK I DK I	DK 0 DK 0 DK 0° DK 0° DK 0° DK 0° DK 0 DK 0 DK 0 DK 0 DK 0	DK 0° DK 0° DK 0° DK 0° DK 0° DK 0° DK 0° DK 0 DK 0° DK 0° DK 0 DK 0° DK 0°	DK 0° DK 0° DK 0° DK 0°

Zu Parameter: 3 - 5, 11: nach Bodenansprache

Zu Parameter 14: nach Schwerer Rammsondierung (DPH)

Restliche Parameter: Schätzwerte

() = Klammerwerte sind von geringer Bedeutung

3.7 Chemische Untersuchungen

Die ungebundenen Schichten und die Wasserproben wurden entsprechend der geltenden Vorschriften Deklarationsanalysen unterzogen. Die Ergebnisse werden dabei entsprechend der Art des untersuchten Materials und der Untersuchungsmethode getrennt in den nachfolgenden Unterkapiteln aufgeführt.

3.7.1 Chemische Untersuchungen gemäß LAGA und DepV

Hinsichtlich der Wiederverwertung und Deponierung der Ausbaumaterialien wurden für chemische Untersuchungen repräsentative Einzel- und Mischproben wie folgt zusammengestellt und homogenisiert (vgl. Tabelle 8):

Tabelle 8: Probenzusammenstellung

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
MP A1	A1.1 A2.1 A3.1 A4.1 A14.1 A5.1	0,00 – 0,42 0,00 – 0,34 0,00 – 0,54 0,00 – 0,47 0,00 – 0,28 0,00 – 0,38	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP A2	A1.2 A2.2 A3.2 A4.2 A14.2 A5.2 A20.2	0,42 – 3,10 0,34 – 3,00 0,54 – 3,80 0,47 – 4,60 0,28 – 4,40 0,38 – 4,60 1,60 – 4,30	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP A3	A1.3 – A1.4 A2.3 A3.3 A4.3 A14.3 A5.3 A20.3	3,10 – 6,30 3,00 – 4,20 3,80 – 4,30 4,60 – 5,00 4,40 – 5,00 4,60 – 5,00 4,30 – 6,80	Schluff / Ton	LAGA-Boden / DepV
MP A4	A1.5 A2.4 A20.4	6,30 – 6,80 4,20 – 4,70 6,80 – 7,30	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP A5	A6.1 A7.1 A8.1 A9.1 A11.1 A15.1 A16.1 A17.1 A18.1 A19.1 A10.1	0,00 – 0,45 0,00 – 0,40 0,00 – 0,33 0,00 – 0,36 0,00 – 0,36 0,00 – 0,44 0,00 – 0,24 0,00 – 0,58 0,00 – 0,26 0,00 – 0,21 0,00 – 0,24	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP A6	A6.2 A7.2 A8.2 A9.2 A11.2 – A11.3 A15.2 A16.2 A17.2 A18.2 A19.2 A10.2	0,45 – 3,10 0,40 – 3,00 0,33 – 1,70 0,36 – 3,10 0,36 – 4,70 0,44 – 4,00 0,27 – 1,30 0,58 – 3,00 0,26 – 3,00 0,21 – 0,38 0,24 – 3,50	Schluff / Ton	LAGA-Boden / DepV
MP A7	A6.3 – A6.4 A7.3 – A7.4 A8.3 A9.3 A15.3 – A15.4	3,10 – 5,00 3,00 – 5,00 1,70 – 5,00 3,10 – 4,50 4,00 – 5,00	Ton / Schluff	LAGA-Boden / DepV

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
	A16.3 A17.3 A18.3 A19.3 A10.3 – A10.4	1,30 – 4,60 3,00 – 4,30 3,00 – 4,30 0,38 – 4,90 3,50 – 5,00		
MP A8	A9.4 A18.4 A19.4	4,50 – 4,70 4,30 – 4,70 4,90 – 5,30	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP A9	A12.1 A13.2	0,00 – 0,48 0,00 – 0,38	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP A10	A12.2 A13.2 – A13.6	0,48 – 4,80 0,38 – 6,50	Schluff / Ton	LAGA-Boden / DepV
EP A11	A12.3	4,80 – 5,30	Ton	LAGA-Boden / DepV
EP A12	A20.1	0,00 – 1,60	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
EP A13	A21.1	0,00 – 0,13	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
EP A14	A21.2	0,13 – 1,10	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP A15	A21.3 – A21.4	1,10 – 4,00	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP B1	B2.1 B4.1 B5.1	0,00 – 0,20 0,00 – 0,60 0,00 – 0,58	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP B2	B2.2 – B2.3	0,20 – 2,70	Auffüllung Schluff, Felsbruch, Flusskies, Ziegelbruch <10% Auffüllung Kies, Felsbruch, Verfestigung <10%, Ziegelbruch <10%	LAGA-Boden / DepV
MP B3	B1.4 B2.4 B3.4	1,30 – 3,40 2,70 – 4,30 2,80 – 3,60	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP B4	B2.5 B3.5 B4.3 – B4.4 B4.6 B5.3 – B5.4	4,30 – 5,00 3,60 – 5,50 1,00 – 4,10 5,30 – 5,60 3,00 – 4,70	Ton / Schluff / Kies	LAGA-Boden / DepV
MP B5	B3.3 B4.5 B5.2	2,60 – 2,80 4,10 – 5,30 0,58 – 3,00	Schluff / Ton	LAGA-Boden / DepV
MP B6	B1.3 B3.1 – B3.2	0,93 – 1,30 0,00 – 2,60	Auffüllung Sand, Bausand Auffüllung Schluff, Felsbruch, Flusskies Auffüllung Kies,	LAGA-Boden / DepV

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
			Felsbruch	
EP B7	B1.5 B4.2	3,40 – 4,00 0,60 – 1,00	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP B8	B1.2	0,48 – 0,93	Auffüllung Kies, Felsbruch, Ziegelbruch, Fliesenbruch <10%	LAGA-Bauschutt / DepV
EP B12	B1.1	0,00 – 0,48	Auffüllung Kies, Felsbruch	LAGA-Boden / DepV
EP B13	B1.5	3,40 – 4,00	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP E1	E1.1 E2.1 E3.1 E4.1 E5.1	0,00 – 0,43 0,00 – 0,38 0,00 – 0,55 0,00 – 0,32 0,00 – 0,45	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP E2	E1.2 E2.2 – E2.3 E3.2 – E3.3 E4.2 E5.2 – E5.3	0,43 – 4,10 0,38 – 3,50 0,55 – 4,50 0,32 – 2,40 0,45 – 4,00	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP E3	E1.3 – E1.4 E4.3 E5.4	4,10 – 5,10 2,40 – 3,50 4,00 – 4,50	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP C1	C1.1 C2.1 – C2.2 C3.1	0,00 – 1,00 0,00 – 1,20 0,00 – 0,09	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP C2	C1.2 C2.3 C3.2	1,00 – 2,40 1,20 – 2,90 0,09 – 3,60	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP C3	C1.3 C2.4	2,40 – 3,00 2,90 – 3,20	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP C4	C1.4 – C1.5 C2.5 C3.3 – C3.4	3,00 – 5,00 3,20 – 5,50 3,60 – 4,90	Schluff / Ton	LAGA-Boden / DepV
EP C5	C3.5	4,90 – 5,50	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP N1	N1.1 – N1.3 N2.1 N5.1 – N5.1 N6.1	0,00 – 1,30 0,00 – 0,56 0,00 – 0,80 0,00 – 0,30	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
MP N2	N1.4 N2.2 N5.3 N6.2	1,30 – 2,50 0,56 – 4,20 0,80 – 4,70 0,30 – 3,30	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP N3	N1.5 – N1.6 N2.3 – N2.4	2,50 – 5,40 4,20 – 5,50	Ton	LAGA-Boden / DepV

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
	N5.4 – N5.5 N6.3 – N6.4	4,70 – 6,30 3,30 – 5,30		
EP F1	F1.1	0,00 – 0,33	Schluff	LAGA-Boden / DepV
EP F2	F1.2	0,33 – 3,80	Sand	LAGA-Boden / DepV
EP F3	F1.3	3,80 – 4,50	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP M3	M7.1	0,00 – 0,23	Auffüllung Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP M5	M7.2	0,23 – 3,40	Schluff	LAGA-Boden / DepV
EP M6	M7.3	3,40 – 4,00	Ton	LAGA-Boden / DepV

(*) EP = Einzelprobe; MP = Mischprobe

3.7.1.1 LAGA-Bauschutt

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen nach LAGA-Bauschutt sind in der Anlage 3.1 den Zuordnungswerten Z 0 bis Z 2 gegenübergestellt. Daraus lässt sich folgende Zuordnungsklasse (siehe Tabelle 9) gemäß LAGA-Bauschutt ableiten.

Tabelle 9: Deklarationsanalyse nach LAGA-Bauschutt

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Zuordnungsklasse		Einbauklasse
	Feststoff	Eluat	
MP B8	$\sum PAK_{16}$	-	**Z 2**

3.7.1.2 LAGA-Boden

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen nach LAGA-Boden sind in den Anlagen 3.2 bis 3.21 den Zuordnungswerten Z 0 bis Z 2 gegenübergestellt. Es lassen sich folgende Zuordnungsklassen (siehe Tabelle 10) gemäß LAGA-Boden (2004) ableiten.

Tabelle 10: Deklarationsanalyse nach LAGA-Boden (2004)

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Zuordnungsklasse		Einbauklasse
	Feststoff	Eluat	
MP A1	TOC	-	**Z 1.1**
MP A2	-	-	**Z 0**
MP A3	Arsen	-	**Z 1.1**
MP A4	-	pH-Wert, Leitfähigkeit	**Z 1.2**
MP A5	TOC	-	**Z 1.1**
MP A6	-	-	**Z 0**
MP A7	Arsen, Nickel	-	**Z 1.1**
MP A8	-	Leitfähigkeit, Sulfat	**Z 1.2**
MP A9	TOC	-	**Z 1.1**
MP A10	-	-	**Z 0**
EP A11	TOC	-	**Z 1.1**
EP A12	TOC, Benzo$_{(a)}$pyren	-	**Z 1.1**
EP A13	TOC	-	**Z 1.1+**
EP A14	TOC	-	**Z 1.1**
MP A15	TOC	-	**Z 1.1**
MP B1	TOC	-	**Z 1.1**
MP B2	-	pH-Wert, Leitfähigkeit, Sulfat	**Z 1.2**
MP B3	-	-	**Z 0**
MP B4	Arsen	-	**Z 1.1**
MP B5	-	-	**Z 0**
MP B6	-	Sulfat	**Z 1.2**
EP B7	-	Sulfat	**Z 2**
EP B12	-	-	**Z 0**
EP B13	TOC	-	**Z 1.1**
MP E1	TOC	-	**Z 1.1**
MP E2	-	-	**Z 0**
MP E3	-	-	**Z 0+**

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Zuordnungsklasse		Einbauklasse
	Feststoff	Eluat	
MP C1	TOC	-	**Z 1.1**
MP C2	-	-	**Z 0**
MP C3	-	-	**Z 0**
MP C4	-	-	**Z 0**
EP C5	TOC, Arsen	-	**Z 1.1**
MP N1	TOC, Nickel	-	**Z 1.1**
MP N2	-	-	**Z 0**
MP N3	Arsen	-	**Z 1.1**
EP F1	-	-	**Z 0**
EP F2	TOC	-	**Z 1.1**
EP F3	TOC	-	**Z 1.1**
MP M3	-	-	**Z 0**
MP M5	TOC	-	**Z 2**
EP M6	-	-	**Z 0**

+ : Zulässige Anpassungen der Einbauklassen können den Anlagen 3.7 und 3.17 entnommen werden.

3.7.1.3 Deponieverordnung (DepV)

In den Anlagen 3.22 bis 3.34 sind die jeweils analysierten Schadstoffgehalte den Zuordnungswerten der DK 0 – DK III gegenübergestellt.

Die ableitbaren Deponieklassen - unter Berücksichtigung zulässiger Ausnahmeregelungen gemäß der DepV - für die durch die Proben jeweils repräsentierten Materialien können der nachfolgenden Tabelle 11 entnommen werden.

Tabelle 11: Deklarationsanalyse nach DepV

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Deponieklasse		Deponieklasse gem. DepV	Abfallschlüssel gem. AVV
	Feststoff	Eluat		
MP A1	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP A2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP A3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Deponieklasse		Deponieklasse gem. DepV	Abfallschlüssel gem. AVV
	Feststoff	Eluat		
MP A4	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP A5	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP A6	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP A7	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP A8	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP A9	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP A10	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP A11	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP A12	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP A13	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP A14	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP A15	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP B1	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP B2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP B3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP B4	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP B5	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP B6	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
EP B7	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP B8	Lipophile Stoffe	-	**DK I**	**17 05 04**
EP B12	Lipophile Stoffe	-	**DK I**	**17 05 04**
EP B13	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP E1	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP E2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP E3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP C1	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP C2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP C3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP C4	-	-	**DK 0**	**17 05 04**

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Deponieklasse		Deponieklasse gem. DepV	Abfallschlüssel gem. AVV
	Feststoff	Eluat		
EP C5	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP N1	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP N2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP N3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP F1	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
EP F2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
EP F3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP M3	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP M5	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP M6	-	-	**DK 0**	**17 05 04**

° : Zulässige Anpassungen der Deponieklassen, die z. T. einer behördlichen Zustimmung bedürfen, können den Anlagen 3.22 bis 3.34 entnommen werden.

3.7.1.4 Betonaggressivität

Die Grundwasserprobe Probe 7 und Probe 10 der jeweiligen Messstelle GWMS 7 bzw. GWMS 10 wurde auf betonangreifende Eigenschaften geprüft. Die Proben sind in keine Expositionsklasse nach DIN 4030 Teil 1 (06/2008) einzuordnen und sind somit als „nicht angreifend“ zu beurteilen (vgl. Tabelle 12 und Tabelle 13).

Tabelle 12: Expositionsklassen für Betonaggressivität von Wässern nach DIN 4030 – Probe 7

Parameter	Messwert Probe 7	XA1 (schwach angreifend)	XA2 (mäßig angreifend)	XA3 (sehr stark angreifend)
pH-Wert	7,7	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,0	< 4,5 – 4,0
Kohlendioxid	n.n.	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	n.n.	15 – 30	> 30 – 60	> 60 – 100
Magnesium	9,8	300 – 1000	> 1000 – 3000	> 3000
Sulfat	93	200 - 600	> 600 – 3000	> 3000 - 6000

Tabelle 13: Expositionsklassen für Betonaggressivität von Wässern nach DIN 4030 – Probe 10

Parameter	Messwert Probe 10	XA1 (schwach angreifend)	XA2 (mäßig angreifend)	XA3 (sehr stark angreifend)
pH-Wert	7,0	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,0	< 4,5 – 4,0
Kohlendioxid	n.n.	15 – 40	> 40 – 100	> 100
Ammonium	0,28	15 – 30	> 30 – 60	> 60 – 100
Magnesium	14	300 – 1000	> 1000 – 3000	> 3000
Sulfat	120	200 - 600	> 600 – 3000	> 3000 - 6000

4 Gutachterliche Bewertung

4.1 Regenrückhaltebecken

4.1.1 Situation

Im Zuge der Entwässerungsplanung / des Entwässerungskonzepts für den Bau der Stadtbahnlinie 4 sowie für den Ersatzneubau Campus Nord, wird im Nordwesten des Baufeldes ein entsprechendes Regenrückhaltebecken entstehen. Die geplante Lage des Regenrückhaltebecken ist in den Lageplänen der Anlage 1 dargestellt.

Gemäß der uns vorliegenden Planung wird das Regenrückhaltebecken eine Breite von b = rd. 32 m bis 37 m (inklusive der Böschungen bzw. Dämme) und eine Länge von l = rd. 80 besitzen. Der Einlauf in das Regenrückhaltebecken erfolgt am östlichen Rand des Beckens. Der Einlauf hat einen Durchmesser von DN 900. Der Auslauf erfolgt an dem südwestlichen Beckenende. Der Auslass hat einen Durchmesser von DN 600. Der Ein- und Auslauf des Beckens sind darüber hinaus über eine vierreihige Pflasterrinne miteinander verbunden. Das Becken wird ein Volumen von

$$\mathbf{V_{vorh.} = 1.245\ m^3}$$

besitzen und eine Fläche von A_s = rd. 900 m^2 einnehmen. Die nachfolgende Abbildung 4 zeigt einen Systemschnitt durch das geplante Becken.

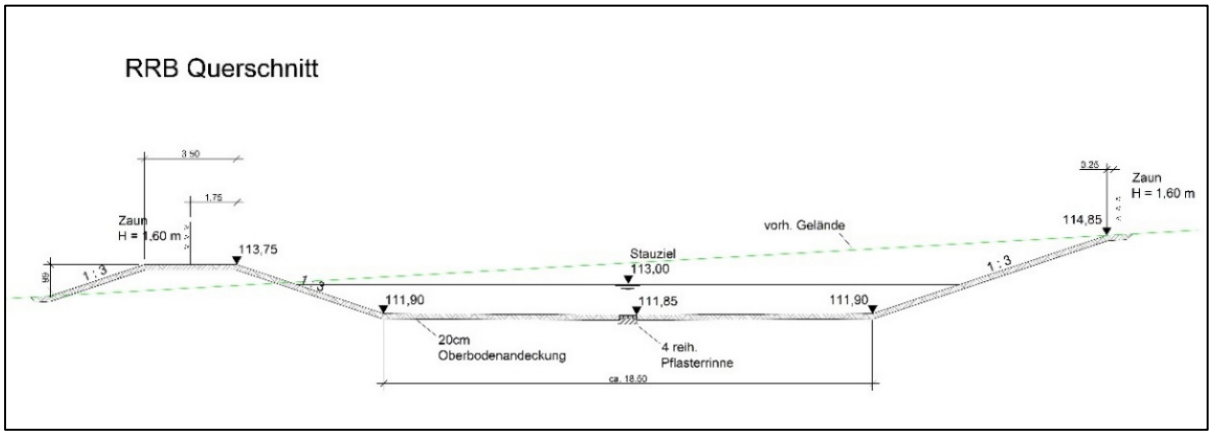


Abbildung 4:Querschnitt Regenrückhaltebecken Campus Nord

Die Sohle des Beckens wird auf einer Höhe von

$$H_{Sohle} = 111{,}90 \text{ mNN}$$

liegen. Die maximale Stauhöhe wird dann auf einer absoluten Höhe von

$$H_{Stauziel} = 113{,}00 \text{ mNN}$$

liegen, sodass das Becken um rd. t = 1,1 m maximal eingestaut wäre. Das Regenrückhaltebecken wird nicht im Dauerstau betrieben. Es muss nicht zwangsläufig wasserdicht sein.

Gemäß der vorliegenden Planung liegen die aktuellen Geländehöhen im Bereich des Regenrückhaltebeckens in einem Spektrum von

$$H_{Gelände,\ Bestand} = 112{,}5 \text{ mNN bis } 115{,}0 \text{ mNN.}$$

Dabei fällt das Gelände übergeordnet von Südosten nach Nordwesten hin ab. Das hat für den Bau des Regenrückhaltebeckens zur Folge, dass der südöstliche Beckenrand als Einschnittsböschungen ausgebildet wird und der nördliche bis nordwestliche Beckenrand teils als Dammböschungen / Auftragböschungen ausgebildet wird. Die Einschnitts- und Auftragsböschungen sind in der Abbildung 4 ebenfalls schematisch dargestellt. Sowohl die Einschnitts- als auch die Auftragsböschungen werden unter Neigungen von

β = 1 : 3 (entspricht rd. 18,4 °)

ausgebildet. Die Dammkrone wird eine Breite von b = rd. 3,5 m besitzen. Die Bereiche mit den Auftrags- und Einschnittsböschungen sind ebenfalls in den Lageplänen der Anlage 1 dargestellt. Die maximale Höhe der Dammböschungen wird bei rd. h = 1,0 bis 1,2 m liegen und die maximale Höhe der Einschnittsböschungen wird bei rd. 3 m liegen. Außerdem ist es vorgesehen das Regenrückhaltebecken mit einer 20 cm mächtigen Oberbodenandeckung auszustatten.

4.1.2 Beschaffenheit der Abtragsböden

In den Anlagen 2.13 und 2.14 sind die für den Bau des Regenrückhaltebeckens relevanten geotechnischen Systemschnitte dargestellt. Folgende Bereiche sind dargestellt:

- **Geotechnischer Systemschnitt A - A (Anlage 2.13)**
  (Längsschnitt Regenrückhaltebecken)
  Bohr- / Sondierprofile: DPH/RKB A 3 - DPH/RKB A 4 - DPH/RKB A 5
- **Geotechnischer Systemschnitt B - B (Anlage 2.14)**
  (Querschnitt Regenrückhaltebecken)
  Bohr- / Sondierprofile: RKB A 15 - DPH/RKB A 4 - DPH/RKB A 14

Der Schichtenaufbau ist schematisch dargestellt, so dass entsprechend der Natur geologischer Körper zwischen den Bohrpunkten mit Abweichungen von den idealisierten Linien zu rechnen ist. Zusätzlich ist in den beiden Schnitten die Sohle des Regenrückhaltebeckens eingetragen. Mit Verweis auf die Profile der Anlagen 2.13 und 2.14 wird die künftige Beckensohle auf einem Höhenniveau von H_{Sohle} = 111,90 mNN vollständig im Bereich der

Lösslehme (Schicht IV)

liegen.

Im Zuge der Auskofferungsarbeiten fallen somit Oberböden der Schicht I sowie die Lösslehme der Schicht IV an.

Die Oberbodenschicht mit Mächtigkeiten von rd. 30 cm bis 50 cm muss vor Aufnahme der Tiefbauarbeiten abgeschoben und seitlich zwischengelagert werden, um sie später einer Wiederandeckung zuzuführen.

Darunter folgen dann die Lösslehme der Schicht IV. Die detaillierte Beschreibung der Böden ist dem Kapitel 3.2 zu entnehmen. Grundsätzlich empfehlen wir, im gesamten Baufeld des Regenrückhaltebeckens die Böden bis zu einem Niveau von 111,7 mNN (entspricht Sohlniveau abzüglich 20 cm Oberbodenandeckung) aufzunehmen und die einzelnen Böden selektiv nach ihren Beschaffenheiten zu gewinnen.

Oberböden lassen sich aufgrund der hohen Organikbestandteile für den planmäßigen Erdbau nicht wiederverwerten. Sie können jedoch für die geplante 20 cm mächtige Andeckung des Regenrückhaltebeckens mit Oberboden wiederverwertet werden. Die Lösslehme der Schicht IV sind für den Dammbau wiederverwertbar.

4.1.3 Geländeauftrag- und -abtrag

Die Planung des Regenrückhaltebeckens sieht Dammböschungen von 1 : 3 (18,4°) vor. Wie bereits beschrieben wurde, werden die maximalen Höhen der Dammböschungen bei rd. h = 1,0 bis 1,2 m liegen und die maximalen Höhen der Einschnittsböschungen werden bei rd. 3 m liegen. Die maximalen Böschungshöhen werden H = 3,0 m betragen, sodass teils ein Geländeabtrag mit Einschnittsböschungen erfolgt und teils hingegen ein Geländeauftrag und Dammbau erfolgt.

Die Einschnittsböschungen dürfen unter einer Neigung von 1 : 3 (β = 18,4°) frei abgeböscht werden.

Im nördlichen bis nordwestlichen Untersuchungsbereich wird ein bis zu rd. 1,0 m bis 1,2 m hoher Damm notwendig sein. Um die Standsicherheit der Dämme sowohl luft- als auch wasserseits zu gewährleisten, empfehlen wir, die Lösslehme unter Bindemittelzugabe zu verfestigen, um ihnen eine sicherheitsfördernde technische Kohäsion von mindestens c'_k = 20 kN/m² zu verleihen.

Die Anlage 6.2 enthält bespielhaft Proctorkurven gemäß der DIN 18127 für die Lösslehme. Gemäß den bestimmten Wassergehalten gemäß der DIN 18121 der Anlage 6.1 besitzen die Lösslehme Wassergehalte in einem Spektrum von w = 17,4 % bis 22,6 %. Der 97 % - Grenzwassergehalt (nasse Seite) bei einem Mindestverdichtungsgrad von D ≥ 97 % der einfachen Proctordichte D_{Pr} liegt bei w = 15,3 % bis 20,1 %, was auf eine Bodenverbesserung mit einer voraussichtlichen Bindemittelzugabe in einer Menge von 2 - 4 Gew.-% schließen lässt. Geeignete Bindemittel sind Mischbinder in einem Verhältnis von z.B. 50 % Weißfeinkalk + 50 % Zement. Bei regnerischen Verhältnissen sind die Bindemittelart und -menge abweichend von vorgenannten Empfehlungen zu wählen.

Vor Aufnahme der Bauarbeiten muss durch die Bauunternehmung eine Eignungsprüfung erstellt werden, um in Abhängigkeit der natürlichen aktuellen Wassergehalte die tatsächliche erforderliche Bindemittelzugabemenge festzulegen. Wir empfehlen darüber hinaus, die Bodenverbesserung mit Bindemittel in einem Probebau zu prüfen.

Die Vermischung des Bindemittels mit dem Boden kann entweder mit einer Fräse oder mit einem Schaufelseparator vorgenommen werden. Die homogenisierten Baustoffe sind mit Proctorenergie dünnlagig (d ≤ 30 cm) im Überprofil einzubauen. Nach Erreichen der Dammendhöhe sind die im Überprofil erstellten Böschungspartien mit einer glatten Baggerschneide abzuziehen.

Die Verdichtungsqualität der bindemittelverbesserten Dammbaulagen ist durch Lastplattendruckversuche nach DIN 18134 zu prüfen. Es ist ein Mindestverformungsmodul von

$$\mathbf{E_{v2} = 40\ MN/m^2}$$

zu fordern.

Die Böschungsoberflächen sind mit Oberboden wieder anzudecken und zum Schutz vor Erosion unverzüglich zu bepflanzen.

Die verwendeten Lösslehme sind mit geschätzten Durchlässigkeitsbeiwerten von k_f = 10^{-6} bis 10^{-7} m/s als gering durchlässig zu bewerten. Sie sind vergleichbar einer „geologischen Barriere“ im Deponiebau und sind als ausreichend dicht im Falle eines kurzzeitigen Einstaus zu bewerten, sofern dem Becken auch eine geringe, natürliche Versickerung zugestanden wird.

Die Lösslehme sind jedoch der Frostempfindlichkeitsklasse F 3 zuzurechnen und somit als stark frostempfindlich zu bewerten. Infolge von Frost - Tau - Wechsel kann es somit zum Aufbrechen der Beckenoberflächen und im Laufe der Jahre zu Massenverlagerungen zur Beckensohle kommen.

Sofern die Massenumlagerungen nicht hingenommen werden können, bietet es sich an, die Böschungen gegen Erosionen und standsicherheitsmindernde Strömungskräfte durch eine 60 cm mächtige Schotterschicht über einem Vlies (300 g / m^2) zu sichern. Ein geeignetes Mineralstoffgemisch sind beispielsweise Hartsteinbruch der Körnungen 0/32 mm oder 0/45 mm mit einem maximalen Feinteilgehalt von 5 Gew.-%.

Alternativ zur Schotterabdeckung bietet sich auch eine 40 cm dicke beckenauskleidende Bodenverbesserung gemäß Dammbauspezifikation an.

Insbesondere empfehlen wir, unterhalb der vierreihigen Pflasterrinne, welche durch das Regenrückhaltebecken führt, zur Gewährleistung der Frostsicherheit ebenfalls eine 60 cm mächtige Tragschicht anzuordnen.

4.1.4 Wasserhaltung

Bei den im Rahmen der Untergrunderkundungen festgestellten Grundwasserverhältnissen ist davon auszugehen, dass sich die Sohle des Regenrückhaltebeckens oberhalb des Grundwassergeschehens befindet bzw. geringfügig in Schichtenwasser, Hangwasser oder Staunässe einbindet. In diesem Fall ist eine offene Wasserhaltung (Pumpgesenke und Leitungen) vorzusehen, die gleichzeitig die Funktion der Tagwasserhaltung übernimmt.

Sofern Schichtenwasser aus Böschungen austritt, ist dieses durch Sickerpackungen (Schotter 16/32 m, in Vliesen 300 g/m^2 gehüllt) zu fassen und dem Beckenablauf zuzuführen.

4.1.5 Böschung Auslauf Regenrückhaltebecken

Zwischen den Haltungen RRB-A2 mit einer geplanten Deckelhöhe von D = 112,55 mNN und der Haltung RRB-A3 mit einer geplanten Sohlhöhe von S = 104,78 mNN liegt eine rd. 7 m bis 8 m hohe Böschung. Die Situation ist grob in dem geotechnischen Systemschnitt E - E skizziert. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Detailschnitt durch die bestehende Böschung mit Eintragung der geplanten Böschung.

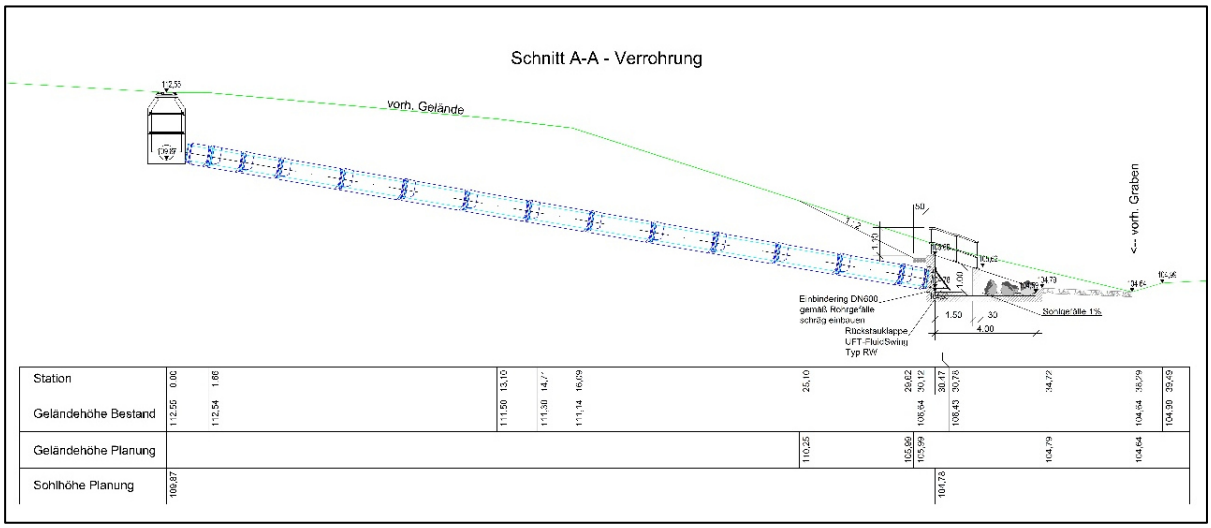


Abbildung 5: Detailschnitt Böschung Auslauf RRB

Gemäß des vorliegenden Vermessungsschnittes beträgt die Neigung des Bestandsgeländes zwischen rd. 5 ° und 20 °. Lediglich die Fußböschung soll zukünftig eine Neigung von

β = 1 : 2 (rd. 26,6°)

versteilt werden. Die Einschittsböschung wird dann ca. eine Höhe zwischen 2 m und 3 m besitzen.

Bei den im Bereich der Böschung anstehenden Böden handelt es sich weitestgehend um Lösslehme und Geschiebelehme / -mergel (vgl. Anlage 2.17). Unter Voraussetzung dieser Böden wird die Einschnittsböschung mit einer Neigung von 1 : 2 in der Regel standsicher sein, weil die Ersatzreibungswinkel der Lehme deutlich über dem maximalen Neigungswinkel der Böschung liegen. Die Böschung ist nach der Herstellung zum Schutz vor Erosion unverzüglich zu bepflanzen. Böschungen ab Höhen von > 5 m sind grundsätzlich rechnerisch nachzuweisen.

4.2 Kanalbau

4.2.1 Situation

Im Zuge der Erweiterung der Stadtbahn Linie 4 in Bielefeld werden ebenfalls zahlreiche Regenwasser- und Schmutzwasserkanäle im Baufeld neu hergestellt. Die detaillierte Planung für den Kanalbau ist ebenfalls in den Lageplänen der Anlage 1 dargestellt. Dabei sind die Regenwasserkanäle blau gekennzeichnet und die Schmutzwasserkanäle braun gekennzeichnet.

In den Anlagen 2.15 bis 2.24 sind geotechnische Systemschnitte der Kanaltrassen in Kombination mit den Untersuchungsergebnissen dargestellt. Nachfolgend werden die jeweiligen Trassenabschnitte kurz beschrieben und charakterisiert:

Tabelle 14: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt C - C (Anlage 2.15)

Geotechnischer Systemschnitt C - C (Anlage 2.15):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RW-011 bis IRP-RW-05 Schmutzwasserkanal: Haltung IRP-SW-02 bis IRP-SW-02
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB A 15 - RKB A 16 - RKB A 17 - RKB A 18 - RKB A 19
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 113,26 mNN bis 112,96 mNN (rd. 0,5 m bis 3,0 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 112,75 mNN bis 111,25 mNN (rd. 2,0 m bis 3,0 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 300 bis DN 900 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	lediglich im Bereich der Bohrung RKB A 15 auf einem Niveau von 110,20 mNN ➔ kein Einschnitt durch Kanalsohlen in das Grundwasser

Tabelle 15: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt D - D (Anlage 2.16)

Geotechnischer Systemschnitt D - D (Anlage 2.16):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-NH-02 bis IRP-RW-05 Schmutzwasserkanal: Haltung IRP-SW025 bis IRP-SW02
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB A 6 - RKB A 7 - RKB A 8 - RKB A 9 - RKB A 11
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal:113,4 mNN bis 112,14 mNN (rd. 1,0 m bis 3,5 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 112,95 mNN bis 111,28 mNN (rd. 2,5 m bis 3,5 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 300 bis DN 900 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	RKB A6: zugefallen bei 3,1 m (112,1 mNN) -> vermutlich GW RKB A7: GW bei 3,8 m (111,8 mNN) RKB A8: zugefallen bei 2,1 m (113,1 mNN) -> GW möglich ➔ Einschnitt durch Kanalsohlen (Schmutzwasser + Regenwasser) in das Grundwasser um rd. 0,5 m bis 1,5 m

Tabelle 16: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt E - E (Anlage 2.17)

Geotechnischer Systemschnitt E - E (Anlage 2.17):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung RRB-A3 bis RRB-A1
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB A 21 - RKB A 20 - DPH/RKB A 1 - RKB A 2 - DPH/RKB A 3
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 113,26 mNN bis 112,96 mNN (rd. 0,5 m bis 3,5 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 600
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	RKB A21: GW bei 0,6 m (104,4 mNN) RKB A1: „nass“ bei 3,1 m (109,5 mNN) -> GW möglich ➔ bei jahreszeitlich bedingten hohen GW - Ständen sind geringfügige Einschnitte in das GW möglich

Tabelle 17: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt F - F (Anlage 2.18)

Geotechnischer Systemschnitt F - F (Anlage 2.18):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RW-05 bis IRP-RW-07 Schmutzwasserkanal: Haltung SW 311 (Bestand) bis IRP-SW04
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB A 10 - RKB A 19 - RKB A 12 - RKB E 1 - RKB A 13
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 112,96 mNN bis 113,66 mNN (rd. 0,5 m bis 3,5 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 105,95 mNN bis 112,90 mNN (rd. 2,0 m bis 4,5 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 800 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) untergeordnet Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	RKB A13: GW bei 3,9 m (113,4 mNN) ➔ Einschnitt durch Kanalsohlen (Schmutzwasser) in das Grundwasser um rd. 0,5 m

Tabelle 18: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt G - G (Anlage 2.19)

Geotechnischer Systemschnitt G - G (Anlage 2.19):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RW16 bis IRP-RW08 Schmutzwasserkanal: Haltung IRP-SW12 bis IRP-SW05
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB B 1 - RKB B 2 - RKB B 3 - RKB B 4 - RKB B 5 - RKB N 6
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 115,65 mNN bis 113,80 mNN (rd. 1,5 m bis 4,5 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 114,90 mNN bis 113,51 mNN (rd. 2,0 m bis 5,0 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 250 bis DN 700 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	untergeordnet Auffüllungen (Schicht II) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	Es wurde kein Grundwasser angetroffen ➔ kein Einschnitt durch Kanalsohlen in das Grundwasser

Tabelle 19: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt H - H (Anlage 2.20)

Geotechnischer Systemschnitt H - H (Anlage 2.20):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RW085 bis IRP-RW08 Schmutzwasserkanal: Haltung IRP-SW-055 bis IRP-SW05
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB C 1 - RKB C 2 - RKB C 3
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 115,50 mNN bis 113,80 mNN (rd. 1,5 m bis 3,5 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 115,00 mNN bis 113,51 mNN (rd. 2,0 m bis 4,0 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 400 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	Es wurde kein Grundwasser angetroffen ➔ kein Einschnitt durch Kanalsohlen in das Grundwasser

Tabelle 20: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt I - I (Anlage 2.21)

Geotechnischer Systemschnitt I - I (Anlage 2.21):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RWS001 bis IRP-RWS111
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB E 1 - RKB E 2 - RKB E 3 - RKB E 4 - RKB E 5 - RKB F 1
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 115,15 mNN bis 100,36 mNN (rd. 1,0 m bis 3,0 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 250 bis DN 300
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) untergeordnet auch Sandlinse angetroffen (RKB F 1)
Grundwasser:	RKB E 2: „feucht“ ab 2,3 m (111,4 mNN) RKB E 4: GW bei 1,6 m (102,9 mNN) RKB E 5: GW bei 2,0 m (101,9 mNN) RKB F 1: GW bei 2,3 m (100,8 mNN) ➔ Einschnitt durch Kanalsohlen (Regenwasser) in das Grundwasser um rd. 0,5 m bis 1,5 m (insbesondere im Bereich RKB E 5 und RKB F 1)

Tabelle 21: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt J - J (Anlage 2.22)

Geotechnischer Systemschnitt J - J (Anlage 2.22):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RW074 bis IRP-RW07 Schmutzwasserkanal: Haltung IRP-SW045 bis IRP-SW04
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB N 1 - RKB N 2 - RKB A 13
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 115,95 mNN bis 113,66 mNN (rd. 3,0 m bis 4,0 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 105,45 mNN bis 112,90 mNN (rd. 3,5 m bis 4,5 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 300 bis DN 500 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	RKB A13: GW bei 3,9 m (113,4 mNN) ➔ Einschnitt durch Kanalsohlen (Schmutzwasser) in das Grundwasser um rd. 0,5 m

Tabelle 22: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt K - K (Anlage 2.23)

Geotechnischer Systemschnitt K - K (Anlage 2.23):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RW104 bis IRP-RW10 Schmutzwasserkanal: Haltung IRP-SW074 bis IRP-SW07
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB N 5 - RKB N 4 - RKB B 5
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 115,36 mNN bis 114,40 mNN (rd. 4,0 m bis 4,5 m unter aktueller GOK) Schmutzwasserkanal: 114,81 mNN bis 114,05 mNN (rd. 4,5 m bis 5,0 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 400 bis DN 500 Schmutzwasserkanal: DN 250
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Untergeordnet Lösslehme (Schicht IV) Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)
Grundwasser:	Es wurde kein Grundwasser angetroffen ➔ kein Einschnitt durch Kanalsohlen in das Grundwasser

Tabelle 23: Zusammenfassung Untersuchungen Kanaltrasse Geotechnischer Systemschnitt L - L (Anlage 2.24)

Geotechnischer Systemschnitt L - L (Anlage 2.24):	
Untersuchungsbereich:	Regenwasserkanal: Haltung IRP-RWS100 bis IRP-RWS111
Untersuchungspunkte im Schnitt:	RKB G 2 - RKB M 7 - RKB G 5 - RKB G 7 - RKB G 9 - RKB G 10 - RKB F 1
Verlegetiefen der Kanäle (Sohlen):	Regenwasserkanal: 115,00 mNN bis 100,60 mNN (rd. 0,5 m bis 1,5 m unter aktueller GOK)
Durchmesser der geplanten Kanäle:	Regenwasserkanal: DN 250 bis DN 300
Angetroffene Böden auf dem Sohlniveau:	Lösslehme (Schicht IV) untergeordnet auch Sandlinse angetroffen (RKB F 1)
Grundwasser:	RKB G 5: GW bei 3,3 m (108,6 mNN) RKB G 7: „zugefallen“ ab 3,2 m (104,8 mNN) RKB G 9: „zugefallen“ ab 1,8 m (102,3 mNN) RKB G 10: GW bei 2,1 m (102,0 mNN) RKB F 1: GW bei 2,3 m (100,8 mNN) ➔ Einschnitt durch Kanalsohlen (Regenwasser) in das Grundwasser um rd. 0,5 m bis 1,0 m (insbesondere im Bereich RKB F 1)

4.2.2 Tragfähigkeit des Rohrauflagers

Bei den unter Kapitel 4.2.1 beschriebenen Tiefenlagen der Kanalleitungssohlen werden die Rohrauflager überwiegend innerhalb der **Lösslehme der Schicht IV** sowie

innerhalb der **Geschiebelehme der Schicht V** liegen. Diese stellen aufgrund ihrer Feinkörnigkeit sowie ihrer teils ungünstigen Konsistenzen und der damit verbundenen Wasserempfindlichkeit und Verformungswilligkeit einen unzureichend tragfähigen Baugrund dar. Hier wird eine 10 cm dicke Bettungsschicht nach EN 1610 nicht ausreichend sein, so dass wir empfehlen, das Rohrauflager auf insgesamt

d = 30 cm

zu verstärken. Geeignete Mineralstoffe für das Rohrauflager sind Hartsteinbrüche der Körnung 0/32 mm oder 0/45 mm mit maximal 5 Gew.-% Feinanteil. Sie sind in ein Geotextil einzuschlagen, um den Eintrag von Feinanteilen aus den Umgebungsböden in die Rohrbettung hinein zu unterbinden. Neben der Erhö-hung der Tragfähigkeit des Rohrauflagers wird durch den Bodenaustausch auch die Verdichtbarkeit der Erdstoffe im Bereich der Leitungszone und des darüber liegenden Grabenraumes verbessert.

Generell sind die Vorgaben des Arbeitsblattes ATV-DVWK / A 127 der Deut-schen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. sowie die EN 1610 (Verlegung und Prüfung von Abwasserleitungen und -kanälen) zu beachten. Wir empfehlen die Kanalsohlen durch die Unterzeichner gutachterlich abnehmen zu lassen.

4.2.3 Lösbarkeit / Aushub der Böden

Die **Oberbodenschicht (Schicht I)** mit Mächtigkeiten von rd. 30 cm bis 50 cm muss vor Aufnahme der Tiefbauarbeiten abgeschoben und seitlich zwischengelagert werden, um sie später einer Wiederandeckung zuzuführen.

Unter der Voraussetzung der bereits beschriebenen Grabentiefen werden nach Abschieben der organischen Oberbodendecke die

- **Auffüllungen der Schicht II (untergeordnet)**
- **Lösslehme der Schicht IV**
- **Geschiebelehme / -mergel der Schicht V**

angeschnitten. Es handelt sich dabei überwiegend um leicht bis schwer lösbare Lockergesteine, die nach ehemaliger DIN 18300 den Bodenklassen 3 bis 4 (bei fester Konsistenz auch 5) angehören. Die Einteilung in Homogenbereiche bezogen auf die Lösbarkeit ist der Tabelle 7 zu entnehmen. Die beschriebenen Böden lassen sich als ein Homogenbereich (LÖS-A) zusammenfassen.

4.2.4 Wiederverwertbarkeit von Aushubböden

Einleitung:

Bezüglich der Verdichtungsanforderung an die Kanalgrabenverfüllung gelten die Vorgaben der ZTVE-StB. Kanalgrabenverfüllungen müssen mit einem Mindestverdichtungsgrad von 97 % der Proctordichte eingebaut werden. Auf Rohplanumsniveau von Verkehrsflächen wird zusätzlich gefordert:

$$\mathbf{E_{v2} \geq 45\ MN/m^2.}$$

Die anstehenden Entnahmeböden erfüllen wegen ihrer hohen Wassergehalte diese Anforderungen nicht. Deshalb sind sie abzufahren und es sind für die Wiederverfüllung Ersatzmineralstoffe (Hartsteinbrüche) der Körnungen 0/32 mm, 0/45 mm oder 0/56 mm mit einem maximal zulässigen Feinteilgehalt (d ≤ 0,063 mm) von 10 Gew.-% zu verwenden. Die Verdichtungskontrollen müssen über leichte Rammsondierungen (DPL gemäß EN ISO 22476-2) sowie Lastplattendruckversuche nach DIN 18134 ($E_{v2} \geq 45$ MN/m^2) erfolgen.

Sofern Kanäle durch Grünflächen verlaufen, über denen keine Verkehrsflächen angelegt werden, können die Entnahmeböden auch mit ihren natürlichen Wassergehalten und Proctorenergie eingebaut werden. Von der Forderung nach 97 % D_{Pr} darf dann abgewichen werden.

Alternativ können die Entnahmeböden auch Bindemittel verbessert werden (analog Dammbauspezifikationen).

Bezüglich der chemischen Wiederverwertbarkeit der Entnahmeböden verweisen wir auf die Angaben des Kapitels 3.7.1.1 sowie 3.7.1.2.

Die **Oberböden der Schicht I** eignen sich generell nicht für einen qualifizierten Einbau und können generell später zu einer Wiederandeckung in den Bereichen, in welchen kein Straßen- und Wegebau oberhalb der Kanäle stattfindet, wiederverwertet werden.

Die **gemischtkörnigen, anthropogenen Auffüllungen der Schicht II** (Bereich Bohrungen B 1 bis B 3) (Bodengruppen GU, GW) sind generell für eine Wiederverwertung geeignet.

Die oberflächennah anstehenden, **anthropogenen Lehme** (Bodengruppen UL) sowie die überwiegend anstehenden **Lösslehme der Schicht IV** sind aufgrund ihrer hohen Wassergehalte **ohne zusätzliche bodenverbessernde Maßnahmen** generell für eine qualifizierte Wiederverfüllung der Kanalgräben mit einem Mindestverdichtungsgrad von D ≥ 97 % der einfachen Proctordichte D_{Pr}, wie sie im Allgemeinen üblich sind bzw. gefordert werden, **nicht wiederverwendbar**.

Die **Geschiebelehme der Schicht V** eignen sich aufgrund ihrer hohen Wassergehalte ebenfalls nicht für eine qualifizierte Wiederverfüllung der Kanalgräben. Aufgrund ihrer hohen Tongehalte sowie der überwiegend steifen bis halbfesten Konsistenzen eignen sie sich **nicht für bodenverbessernde Maßnahmen**, wie z.B. die Zugabe von Bindemittel. Wir empfehlen, diese Böden abzufahren.

4.2.5 Bodenverbesserung durch Bindemittelzugabe

An den anthropogenen Lehmen (Bodengruppe UL) sowie den überwiegend anfallenden Lösslehmen kann auch eine Bodenverbesserung durch Bindemittelzugabe erfolgen.

Die Anlage 6.2 enthält bespielhaft Proctorkurven gemäß der DIN 18127 für die Lösslehme. Gemäß den bestimmten Wassergehalten gemäß der DIN 18121 der Anlage 6.1 besitzen die Lösslehme Wassergehalte in einem Spektrum von w = 17,4 % bis 22,6 %. Der 97 % Grenzwassergehalt bei einem Mindestverdichtungsgrad von

D ≥ 97 % der einfachen Proctordichte D_{Pr} liegt bei w = 15,3 % bis 20,1 %, was eine Bodenverbesserung mit einer voraussichtlichen Bindemittelzugabemenge von 2 - 4 Gew.-% Weißfeinkalk (CaO) erfordert.

Vor Aufnahme der Bauarbeiten muss durch die Bauunternehmung eine Eignungsprüfung erstellt werden, um in Abhängigkeit der natürlichen Wassergehalte die erforderliche Bindemittelzugabemenge festzulegen. Wir empfehlen darüber hinaus, die Bodenverbesserung mit Bindemittel in einem Probebau zu prüfen. Es ist ein Mindestverdichtungsgrad von

D = 97 % der Proctordichte D_{Pr}

bzw.

E_{v2} ≥ 45 MN/m².

zu erfüllen.

Sofern geplant ist, Lösslehme bis auf Erdplanumsniveau des Straßenoberbaus einzubauen (in Abhängigkeit der Empfehlungen des Gutachtens 21-4728.05), empfehlen wir grundsätzlich diese durch Bindemittelzugabe zu verbessern. Denn nur auf bindemittelverbesserten Lehmen ist der laut ZTVE-StB geforderte Mindestverformungsmodul E_{v2} = 45 MN/m² erreichbar.

4.2.6 Grabensicherung

Zur Herstellung der Leitungsgräben können diese mit Normverbau (Tafelbauverfahren) aufgefahren werden. In diesem Zusammenhang verweisen wir auf die DIN 4124 sowie die EN 1610.

Sofern die Leitungsgräben nicht mit einem Normverbau gesichert, sondern frei abgeböscht werden sollen, gelten folgende Böschungsneigungen in Abhängigkeit der Grabentiefen t:

- t ≤ 1,25 m: vertikale Grabenwände
- t = 1,25 – 1,75 m: oberste 50 cm unter 45°, untere 1,25 m vertikal
- t ≥ 1,75 m: 45°-Böschung

Für die Gestaltung der Leitungsgräben gelten die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften und die DIN 4124. Böschungen ab > 5 m Höhe sind grundsätzlich nachzuweisen.

4.2.7 Wasserhaltung

Grundwasser wurde mit Verweis auf die Tabellen des Kapitels 4.2.1 in folgenden Teilbereichen angetroffen:

- **Schnitt D - D:** Einschnitt durch Kanalsohlen (Schmutzwasser + Regenwasser) in das Grundwasser um rd. 0,5 m bis 1,5 m
- **Schnitt E - E:** bei jahreszeitlich bedingten hohen GW - Ständen sind geringfügige Einschnitte in das GW möglich
- **Schnitt F - F:** teilweiser Einschnitt der Kanäle in das Grundwasser um rd. 0,5 m
- **Schnitt I - I:** teilweiser Einschnitt der Kanäle in das Grundwasser um rd. 0,5 m bis 1,5 m
- **Schnitt J - J:** teilweiser Einschnitt der Kanäle in das Grundwasser um rd. 0,5 m
- **Schnitt L - L:** teilweiser Einschnitt der Kanäle in das Grundwasser um rd. 0,5 m bis 1,0 m

Zusammenfassend werden die Kanäle also abschnittsweise um rd. 0,5 m bis 1,5 m in das Grundwasser einbinden. Im Zuge des Kanalbaus sind die Grundwasserstände bis rd. 0,5 m unter der Grabensohle abzusenken, sodass sich unter Berücksichtigung von jahreszeitlich bedingten Schwankungen (unter Berücksichtigung eines Sicherheitsaufschlags von 0,5 m) Absenkmaße in einem Spektrum von

t = 1,0 m bis 2,5 m

wahrscheinlich sind. Kanalbau im Herbst und Winter kann zu deutlich höheren Grundwasserständen führen. Im Zuge der Wasserhaltung sind mit Verweis auf die geotechnischen Systemschnitte insbesondere die Lösslehme sowie teils auch die Geschiebelehme / -mergel und die schwach verlehmten Sande (Bodengruppe SU) zu entwässern. Aufgrund der Feinkörnigkeit dieser Böden und der geringen Wasserdurchlässigkeit empfehlen wir, den Grabenaushub in den beschriebenen Teilbereichen durch flankierende Wasserhaltungsmaßnahmen in Form einer

geschlossenen Wasserhaltung (Vakuumentwässerung)

zu sichern.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Anwendungsbereiche von Wasserhaltungsverfahren. Für die beschriebenen überwiegend anstehenden Lösslehme (Schluffe mit hohen Sandanteilen) und schwach verlehmten Sanden ist bei geschätzten mittleren Wasserdurchlässigkeitsbeiwerten in einem Spektrum von $k_f = 10^{-4}$ bis 10^{-6} m/s (vgl. rot markierter Bereich) wie bereits beschrieben die Vakuumentwässerung das geeignete Verfahren.

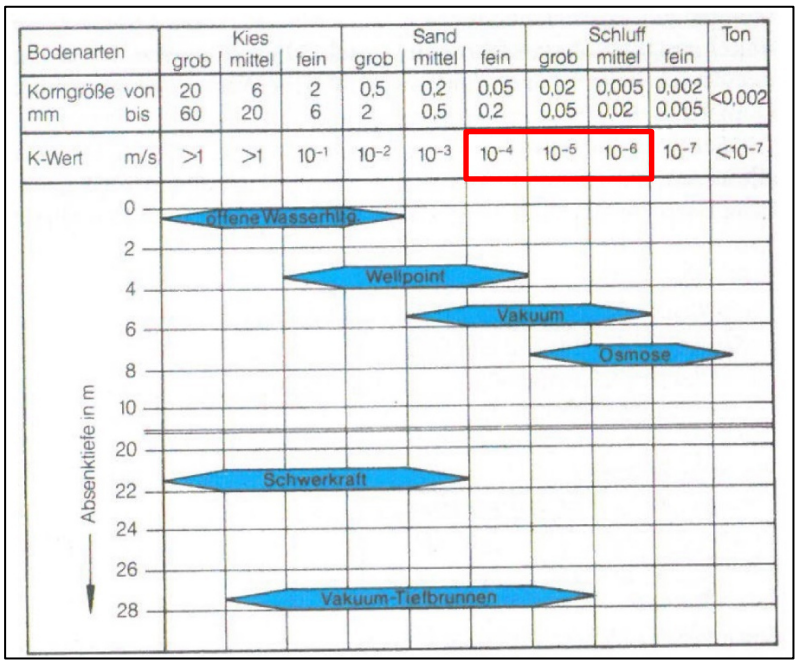


Abbildung 6: Anwendungsbereiche der Wasserhaltungsverfahren (Quelle: Prinz, H.; Strauß, R.: Ingenieurgeologie. (Springer Verlag))

Für die geschlossene Wasserhaltung (Vakuumverfahren) sind entsprechende Vakuum-Flachbrunnen beidseitig des Grabens einzubringen und an Saugleitungen anzuschließen. Der Abstand der Vakuumbrunnen sollte dabei ein Maß von a = 1,25 m nicht überschreiten, die Filteroberkante muss mindestens 3 m unter Aushubsohle liegen. Der Abstand der Filter zum Verbau sollte mindestens 60 cm betragen. Außerdem ist je 50 m Vakuumanlage eine entsprechend leistungsstarke Pumpe anzuordnen. Die Grundwasserabsenkung muss bis 0,5 m unter das Grabensohlniveau erfolgen.

Die Abschätzung der durch die Vakuumanlage zu fördernde Wassermenge erfolgt hier in Anlehnung an das Grundbau-Taschenbuch, Teil 2, Geotechnische Verfahren. In der folgenden Abbildung 7 (Quelle: Grundbau-Taschenbuch) sind die erfahrungsgemäß anfallenden Wassermengen in Abhängigkeit der Bodenarten, Durchlässigkeitskoeffizienten bzw. Entwässerungsmöglichkeiten eingetragen.

Unter Berücksichtigung eines mittleren Wasserdurchlässigkeitsbeiwertes für die anstehenden Böden von k_f = 1 x 10^{-6} m/s (rote Markierung) sowie einer Grundwasserabsenkung von s = 1 bis 3 m ergibt sich je lfdm. Filtergalerie für ein Wasseranfall von:

- **bis 1 m:** **q_v = rd. 0,56 m³/h je Meter**
- **bis 2 m:** **q_v = rd. 0,63 m³/h je Meter**
- **bis 3 m:** **q_v = rd. 0,70 m³/h je Meter.**

Die Tabellenwerte wurden aufgrund der beidseitigen Absaugung der Kanalgräben mit dem Faktor 2 multipliziert und anschließend reduziert sich der Wasserandrang wegen der gegenseitigen Beeinflussung auf das 0,7 - fache. (Vgl. Abbildung 7, Anmerkung Nr. 2).

Tabelle 11. Bodenarten, Körnungen, Durchlässigkeitskoeffizienten, Entwässerungsmöglichkeiten, anfallende Wassermengen[1]) (nach [55])

Bodenarten		Ton	Schluff fein	Schluff mittel	Schluff grob	Sand fein	Sand mittel	Sand grob	Kies fein	Kies mittel	Kies grob
Korngröße von / bis in mm		< 0,002	0,002 / 0,005	0,005 / 0,02	0,02 / 0,05	0,05 / 0,2	0,2 / 0,5	0,5 / 2	2 / 6	6 / 20	30 / 60
Durchlässigkeits-koeffizient k	cm/s	10^{-8}–10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	> 1	> 1	> 1
	m/s	10^{-10}–10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}		
Fließgeschwindigkeit cm/s		0,000001	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	> 1	> 1	> 1
Wasseranfall in m^3/h je lfd. m Filtergalerie[2]) bei Wasser-Absenkung von … m	1	0,03	0,3	0,4	0,9	2,2	3	6,3			
	2		0,3	0,45	1,1	2,5	3,6	7,1			
	3		0,4	0,5	1,3	2,8	4,4	8,1			
	4		0,4	0,6	1,5	3,2	5,2	9,3			
	5		0,4	0,6	1,7	3,7	6,5	10,8			
	6		0,4	0,6	1,9	4,3	8	12,5			
	7		0,4	0,6	2,1	5	9,4	14,5			
	8		0,4	0,6	2,3	5,8	11,1	17			
	9	0,2	0,4	0,6	2,5	6,7	13	20			

C. *Spülfilter-Verfahren*
1. Vakuumverfahren
2"-Filter beidseitig einspülen, 0,6–1 m Abstand (bei Ton und bei eingelagerten Schichten mit Sandschüttung).
Max. Absenktiefe 8,5 m.

A. *Offene Wasserhaltung*
1. Wenn der Boden stabil ist.

C. *Spülfilter-Verfahren*
2. Schwerkraftverfahren
Je nach Wasseranfall und Filterkapazität ein- oder beidseitig einspülen, 1–4 m Abstand, 5–30 m^3/h je Filter (bei eingelagerten Schichten mit Sandschüttung).
Max. Absenktiefe 7,5 m.

B. *Bohrloch-Verfahren*
1. Gebohrte Brunnen mit Schlitzbrükkenfiltern, als Flachbrunnen mit Absaugung für Absenktiefen bis zu 7 m, als Tiefbrunnen mit Unterwasserpumpen für größere Absenktiefen.

A. *Offene Wasserhaltung*
2. Wenn nur max. 0,5 m abzusenken sind.

A. *Offene Wasserhaltung*
3. Bei entsprechendem Verbau.

[1]) Die angegebenen Wassermengen sind Anhaltswerte und gelten für die durch d_{10} charakterisierten Bereiche.
[2]) Der Wasserandrang tritt bei einseitig abgesaugten Gräben auf. Bei beidseitiger Absaugung oder allseitig mit Filtern umgebenen Baugruben vermindert sich die Wassermenge wegen der gegenseitigen Beeinflussung auf das 0,7fache.

Abbildung 7: Tabelle zur Abschätzung anfallender Wassermengen (Quelle: Grundbau-Taschenbuch)

In den übrigen Bereichen des Kanalbaus ist ein geschlossener Grundwasserspiegel bei den beschriebenen Verlegetiefen voraussichtlich nicht zu erwarten. Aufgrund der geringen Wasserdurchlässigkeit der anstehenden Böden muss jedoch mit Stau- und Schichtenwasser gerechnet werden, das den aufzufahrenden Gräben jedoch nur in geringen Mengen zufließen wird.

Es ist eine offene Wasserhaltung zur Fassung und Ableitung von Bodenwasser und Schichtenwasser von den Grabensohlen vorzuhalten. Die Wasserhaltung muss sich ansonsten auf die kontrollierte Fassung und Ableitung von Tagwasser und Niederschlägen einstellen. Die empfohlene Auflagerverstärkung übernimmt gleichzeitig die

bauzeitliche Dränfunktion. Eine Extra – Dränschicht / Packung ist somit nicht erforderlich.

4.2.8 Kanalgrabenverfüllung mit „Flüssigboden“ (ZFSV)

Alternativ zu der bereits beschrieben konventionellen Wiederverfüllung der Kanalgräben mit dem anfallenden Erdaushub und dem lagenweisen Einbau und Verdichtung der Baustoffe, sollen die Kanalgräben gemäß den Angaben der Stadt Bielefeld möglicherweise auch im „Flüssigbodenverfahren“ (ZFSV) wiederverfüllt werden. Sofern möglich sollen die anfallenden Aushubböden (überwiegend Lösslehme, teils Geschiebelehme / -mergel, (untergeordnet auch Auffüllungen) als Flüssigboden wiederverwertet werden.

Generell sind bei der Verwendung von Flüssigböden die „Hinweise für die Herstellung und Verwendung von zeitweise fließfähigen selbstverdichtenden Verfüllbaustoffen im Erdbau“ (H ZFSV) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) zu berücksichtigen.

Im Zuge des Kanalbaus sind zusätzlich die DIN EN 1610 und das Arbeitsblatt DWA-A 139 zu beachten. Die eingesetzten Rohre und Schächte einschließlich der Dichtungen sind auf ihre Verträglichkeit mit den chemischen und bodenmechanischen Eigenschaften der ZFSV nachzuweisen und zu prüfen. Es ist eine Rohrstatik anzufertigen, welche die Besonderheiten der Lastfälle vor und nach dem Einbau der ZFSV berücksichtigt (vgl. H ZFSV).

Gemäß der H ZFSV eignen sich für die Herstellung von ZFSV Böden als Baustoffe, welche im Allgemeinen auch für die Bodenbehandlung mit Bindemittel gemäß ZTV E-StB geeignet sind.

Folgende kritische Anmerkungen seitens PTM sind zu berücksichtigen:

1. Flüssigböden werden im Leitungsbau üblicherweise dann eingesetzt, wenn schlecht zugängliche Hausanschlussbereiche verfüllt werden müssen oder Er-

schütterungen aus Verdichtungsgeräten wegen unmittelbar angrenzender erschütterungsempfindlicher Bauwerke vermieden werden müssen. Beide Anforderungen liegen hier nicht vor.

2. Ein eindeutiges Regelwerk, das die Qualität und Quantität von Zusatzstoffen (Zement, Kalk, Betonit etc.) regelt, gibt es nicht. Das FGSV - Papier ist lediglich eine grobe Orientierung.
3. Optimale Böden für die Erstellung von Flüssigböden sind Sande mit geringen Feinanteilen.
4. Die Aufbereitungstechnik ist im Vergleich zu einer alternativen konventionellen Technik für eine Bodenverbesserung mit z.B. Schaufelseperator sehr aufwendig.
5. Zusätzlich ist mit einem hohen Aufwand für die Herstellung der Auflagebänke für die Rohre, der Ausrichtung der Rohre sowie für die notwendigen Auftriebssicherungen zu rechnen. Darüber hinaus werden umfangreiche Absperrmaßnahmen notwendig, um eine unkontrollierte Ausbreitung des Flüssigbodens zu verhindern.
6. Das Flüssigbodenverfahren lässt bei der Ausschreibung nur einen sehr begrenzten Wettbewerb zu.
7. Eine Qualitätssicherung durch den bauherrenseitigen Baugrundgutachter ist praktisch nicht möglich.
8. Der Einfluss von Schichtwasser oder Grundwasser auf Flüssigboden ist ungewiss.

Sofern die Möglichkeit eines Flüssigbodeneinsatzes trotz der vorgenannten Anmerkungen seitens des Bauherrn in Erwägung gezogen werden soll, müsste der Ausführungserfolg durch die Bauunternehmung im Zuge eines umfangreichen Probebaus, einer Eignungsprüfung mit Darlegung aller verwendeter Zuschlagstoffe und Vorlage eines überzeugenden Qualitätssicherungsprogrammes belegt werden. Ein eventuell in Frage kommender Erdstoff könnte der Lösslehm der Schicht IV sein, der selektiv zu gewinnen ist.

Grundsätzliche Anforderungen gemäß H ZFSV sind:

Rohrauflager (Auflagebank) und Haltungsbänke müssen aus dem ZFSV steif/plastischer Konsistenz hergestellt werden, welche im verfestigten Zustand gleiche Bettungseigenschaften wie der umgebende ZFSV aufweist, um eine gleichmäßige Rohrbettung zu gewährleisten. Das Rohrauflager muss so hergestellt werden, dass eine hohe Stabilität des Auflagers, Lagegenauigkeit und Setzungsfreiheit unter Berücksichtigung der Herstellungsangaben der ZFSV gewährleistet werden. Die Rohre sind in ausreichenden Abständen gegen Lageveränderungen und Auftrieb zu sichern. Die Verbauelemente müssen noch im fließfähigen Zustand gezogen werden, um eine hohlraumfreie Verfüllung zu gewährleisten und um eine gute Verzahnung mit dem anstehenden Boden zu gewährleisten.

5 Weitere Hinweise

Sämtliche im Baugrundbericht genannten Höhen und Höhenbezüge sind im Zuge der Maßnahme bauseits zu prüfen. Bei Unstimmigkeiten mit dem Baugrundbericht bitten die Unterzeichner um unverzügliche Benachrichtigung.

Baugrundaufschlussuntersuchungen basieren zwangsläufig auf punktförmigen Aufschlüssen, so dass Abweichungen von den vorstehend beschriebenen Verhältnissen zwischen den Untersuchungsstellen nicht völlig ausgeschlossen werden können. Die Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH behält sich daher eine Überprüfung der Situation im Zuge förmlicher Abnahmen der Aushubsohlen, gegebenenfalls auch ergänzende Ausführungshinweise, vor.

Der Baugrundbericht gilt für die in Abschnitt 2 angegebenen Objekte im Zusammenhang mit den Projektdaten. Eine Übertragung der Untersuchungsergebnisse auf andere Projekte ist ohne Zustimmung der Ingenieurgesellschaft PTM Dortmund mbH nicht zulässig.

INGENIEURGESELLSCHAFT **PTM** DORTMUND MBH

.....	.....
Dipl. Lök. Natascha Kosfeld	Isabel Stewen, M. Sc.
.....	.....
Dipl. Ing. Burghard Dietrich	Kristin Schauerte, M. Eng.