Gutachten Nr.: 21-4728-01

Projekt: **Stadtbahn Linie 4**
Gleisbau
in Bielefeld

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

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

Dieses Gutachten enthält 90 Seiten Text und 229 Blatt Anlagen.

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

Dortmund, 16. März 2022

Sachbearbeiter: 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 und Vorgang 7

1.1 Situation 7

2 Untersuchungsschritte und -beschreibungen 18

2.1 Probennahme 18

2.2 Rammsondierungen nach EN ISO 22476-2 (2012) 21

2.3 Homogenbereiche nach DIN 18300 (2015) 22

2.4 Chemische Untersuchungen im Labor 23

2.4.1 Untersuchung für die Verwertung von Ausbauasphalt 24

2.4.2 Untersuchungen zur Wiederverwertung und Deponierung 26

2.5 Substanzielle Untersuchungen im Labor 27

2.5.1 Hinweise zur Bewertung der Asphaltstruktur (Bohrkerne) 27

2.5.2 Substanzbewertung der ungebundenen Materialien 28

3 Ergebnisse der Untersuchungen 29

3.1 Regionalgeologischer Überblick 29

3.2 Vorhandene Schichtdicken und Zusammensetzung des Oberbaus 31

3.2.1 Gebundener Oberbau (Bohrkerne) 31

3.2.2 Ungebundener Oberbau (Rammkernbohrungen und Schurf) 32

3.3 Schichtenfolge 34

3.4 Geotechnische Systemschnitte 45

3.5 Grundwasser 46

3.5.1 Untersuchungsergebnisse 46

3.5.2 Zusammenfassung Hydrogeologische Untersuchungsergebnisse 47

3.6 Grundwasserwassermessstelle 49

3.7 Bodenmechanische Kennwerte 49

3.8 Chemische Untersuchungen 52
3.8.1 Teer-/pechhaltige Bestandteile im Bindemittel 52
3.8.2 Chemische Untersuchungen gemäß LAGA und DepV 53
4 Gutachterliche Empfehlungen 59
4.1 Errichtung Gleistrasse 59
4.1.1 Bautechnische Hinweise Gleistrassenbau 59
4.1.2 Beschaffenheit der Abtragböden 65
4.1.3 Wiederverwertbarkeit Aushubmaterial der Abtragstrecken 66
4.1.4 Setzungsprognosen Gleistrasse 68
4.1.5 Bauzeitliche Wasserhaltung 71
4.1.6 Bauzeitliche Baugrubenböschungen 73
4.2 Dammbau Geländemulde 74
4.2.1 Geländeauftrag / Systemaufbau 74
4.2.2 Setzungsprognose Geländemulde 77
4.2.3 Nachweis der Böschungsbruchsicherheit 78
4.3 Gründungsempfehlungen 79
4.3.1 Gründungsempfehlung Haltestellen „Lange Lage“ und „Schloßhofstraße“ 79
4.3.2 Gründungsempfehlung Weichentragplatte 85
4.3.3 Gründungsempfehlung „Fahrleitungsmasten“ 86
4.3.4 Hinterfüllung von Stützelementen und Bauwerkshinterfüllungen 88
5 Weitere Hinweise 90

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Übersicht grober Geländeverlauf der Trasse (Auszug aus dem Geoportal NRW, Zugriff: 18.01.2022) 10
Abbildung 2: geplante Geländeprofilierung Bereich „Geländesenke“ (Ausschnitt Systemquerschnitt K - K), (vgl. Entwurfsplanung [5]) 11
Abbildung 3: Ausbildung Rasengleis (Ausschnitt Systemquerschnitt L - L), (vgl. Entwurfsplanung [5]) 13
Abbildung 4: Ausbildung Gleise Haltestelle „Schloßhofstraße“ (Ausschnitt Systemquerschnitt F - F), (vgl. Entwurfsplanung [5]) 14
Abbildung 5: Ausbildung Gleise Haltestelle „Lange Lage“ (Ausschnitt Systemquerschnitt M - M), (vgl. Entwurfsplanung [5]) 15
Abbildung 6: Ausbildung „Campusplatz“ (Ausschnitt Systemquerschnitt A - A), (vgl. Entwurfsplanung [5]) 16
Abbildung 7: Ausbildung Straßenquerung (Ausschnitt Systemquerschnitt J - J), (vgl. Entwurfsplanung [5]) 17
Abbildung 8: Zuordnung der Frostempfindlichkeitsklassen [ZTV E-StB 17] 29
Abbildung 9: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Auffüllungen 36
Abbildung 10: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Lösslehme 39
Abbildung 11: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Geschiebelehme 41
Abbildung 12: Isoliniendarstellung der Oberkante Grundgebirge Bereich geplante Haltestelle „Lange Lage“ (Bestandsgutachten PTM Geotechnik Arnsberg GmbH, Dietrich, 2021) 44
Abbildung 13: Systemskizze Regelquerschnitt Aufbau Gleistrasse 61
Abbildung 14: Systemskizze Regelquerschnitt Aufbau Baustraßen 64
Abbildung 15: Ermittlung abzuführender Wassermengen bei maximalen Bemessungswasserständen (Schmidt & Partner GmbH; vgl. [4]) 72
Abbildung 16: Ermittlung abzuführender Wassermengen bei mittleren Bemessungswasserständen (Schmidt & Partner GmbH; vgl. [4]) 73
Abbildung 17: Dammschüttung auf geneigter Aufstandsfläche (aus Rudolf Floss: Handbuch zur ZTVE-StB, 4. Auflage) 74

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Entnahmestellen der Bohrkerne und Rammkernbohrungen, Ansatzpunkte der Rammsondierung und Errichtung der Grundwassermessstelle....19
Tabelle 2: Einstufung von Asphaltausbaumaterialien in Abhängigkeit der Schadstoffgehalte....24
Tabelle 3: Abfallschlüsselnummern gemäß AVV....25
Tabelle 4: Zuordnungsklassen gemäß den LAGA-Bestimmungen....26
Tabelle 5: Abfallschlüsselnummern gemäß AVV....27
Tabelle 6: Gesamtstärken des gebundenen Oberbaus (Bohrkerne)....31
Tabelle 7: Bodenmechanische Laborprogramm (Rammkernbohrungen)....32
Tabelle 8: Grundwasserstände innerhalb der Bohrlöcher....46
Tabelle 9: Wasserstand der Grundwassermessstelle GWMS 11....49
Tabelle 10: Charakteristische Bodenkennwerte GK 2/3, Lockergesteine....50
Tabelle 11: Ergebnisse der Analyse auf teer-/pechhaltige Bestandteile....53
Tabelle 12: Probenzusammenstellung....54
Tabelle 13: Deklarationsanalyse nach LAGA-Bauschutt....56
Tabelle 14: Deklarationsanalyse nach LAGA-Boden (2004)....56
Tabelle 15: Deklarationsanalyse nach DepV....58
Tabelle 16: Aufbau Gleistrassse....60
Tabelle 17: Aufbau Baustraßen....63
Tabelle 18: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Streifenfundamente....82
Tabelle 19: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Einzelfundamente....82
Tabelle 20: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Streifenfundamente....84
Tabelle 21: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Einzelfundamente....84
Tabelle 22: charakteristische Pfahlkennwerte Bohrpfähle....87
Tabelle 23: charakteristische Pfahlkennwerte Rammpfähle....87
Tabelle 24: Gegenüberstellung Pfahltypen....88

Anlagen

Anlage 1:	Lagepläne	(5 Blatt)
	Geologie	(1 Blatt)
Anlage 2:	Bohrkerndokumentation und -analyse	(3 Blatt)
Anlage 3:	Rammkern- / Schurfprofile	(5 Blatt)
	Geotechnischer Schnitt	(4 Blatt)
	Grundwassermessstelle	(1 Blatt)
Anlage 4:	Chemische Analyse Bohrkerne / Boden	(30 Blatt)
Anlage 5:	Analysenprotokolle GBA	(119 Blatt)
Anlage 6:	Probenentnahmeprotokoll	(4 Blatt)
Anlage 7:	Bodenmechanische Laboruntersuchungen	(46 Blatt)
Anlage 8:	Setzungsprognosen und -bemessungen / Pfahlbemessung	(10 Blatt)

Verwendete Unterlagen

[1] Geologische Karte von Nordrhein - Westfalen 1 : 100.000 (Blatt 3914, Bielefeld), Geologischer Dienst NRW, Zugriff: 2022

[2] Bodenkarte von NRW 1 : 50.000, Geologischer Dienst NRW, Zugriff: 2022

[3] Baugrundgutachten p/104767, Stadt Bielefeld, Stadtbahnverlängerung Linie 4 / Hochschulcampus - Variante 1.5 B -, igb Gey & John GbR, 2010

[4] Projekt Nr. 2302, Erstellung des hydrogeologischen Berichtes zur Straßenbahnverlängerung Linie 4; Schmidt und Partner GmbH, 2010

[5] Entwurfsplanung „Verkehrliche Erschließung Hochschulcampus Stadtbahnverlängerung Linie 4 und Umbau Dürerstraße, Ingenieurbüro Dipl.-Ing. H. Vössing

1 Auftrag und Vorgang

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

- den vorliegenden Bestand der ungebundenen Schichten für die Stadtbahn Linie 4 in Bielefeld zu erfassen,
- die anstehenden Böden in Homogenbereiche einzuteilen,
- eine Grundwassermessstelle in der Grünfläche zu erreichten,
- eine Beurteilung des Geländeauftrags und des Dammbaus sowie eine Bewertung zur Setzung vorzunehmen und
- eine Aussage über eine Wiederverwertung für die gebundenen Schichten nach RuVA-StB 01 sowie 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 (Bohrkerne, Rammkernbohrungen, Rammsondierungen, Grundwassermessstelle) am 21.07.2021, 22.07.2021, 28.07.2021, 29.07.2021, 03.08.2021, 04.08.2021, 09.08.2021, 10.08.2021 und 14.09.2021

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.

1.1 Situation

Die Stadt Bielefeld, Amt für Verkehr (660.3), Technisches Rathaus, August - Bebel - Straße 92, 33602 Bielefeld plant die Verlängerung der Stadtbahnlinie 4. Die geplante

Verlängerung beginnt dabei an der Haltestelle „Lohmannshof“ (Stadtteil Großdornberg) und führt übergeordnet Richtung Osten / Nordosten bis zu der Kreuzung Dürerstraße / Schloßhofstraße (Stadtteil Gellershagen) und besitzt eine Länge von rd. 1,3 km. Die übergeordnete Lage der geplanten Trasse ist in dem Übersichtslageplan der Anlage 1.1 (Maßstab 1 : 2.500) dargestellt. Neben der geplanten Verlängerung der Trasse ist außerdem die parallele Verlegung der Dürerstraße in Richtung Nordosten (Neue Dürerstraße) auf einer Länge von l = rd. 500 m vorgesehen. Darüber hinaus werden auch weitere Straßen neugebaut bzw. umgebaut. Außerdem werden im Zuge der Entwässerungsplanung zahlreiche Kanalbaumaßnahmen sowie die Errichtung eines Regenrückhaltebeckens erforderlich. Neben dem eigentlichen Trassenbau werden entlang der Strecke auch zahlreiche Sichtschutzwälle sowie eine Lärmschutzwand entstehen.

Aufgrund der Komplexität des geplanten Trassenausbaus wird das Baugrundgutachten daher in 6 Teilgutachten unterteilt. Folgende Einteilung wird dabei vorgenommen:

- Gutachten 21-4728-**01**: Gleistrasse mit Maststandorten und Station „Lange Lage“ und Station „Schloßhofstraße“
- Gutachten 21-4728-**02:** Sichtschutzwälle
- Gutachten 21-4728-**03:** Lärmschutzwand
- Gutachten 21-4728.**04:** Regenrückhaltebecken und Kanaltrassen
- Gutachten 21-4728-**05**: Straßenbau (Umbau, Rückbau und Neubau) und Platzgestaltungen
- Gutachten 21-4728-**06:** Chemische Nachanalysen

Bei dem Gutachtenteil .01 handelt es sich um das Hauptgutachten, welches sich mit dem Bau der eigentlichen Gleistrasse beschäftigt. Dieses enthält daher auch eine ausführliche Beschreibung der geplanten Baumaßnahme. Die Gutachtenteile .02 bis .06

gehen als Teilgutachten dann auf einzelne Teilbauwerke ein, welche im Zuge der geplanten Baumaßnahme ebenfalls entstehen werden. Die Unterteilung des Gesamtgutachtens in kleinere Teilgutachten wurde gewählt, um das komplexe Bauvorhaben für die weitere Planung übersichtlich zu gestalten.

Trassenverlauf und Topographie:

Die Trasse verläuft grob von der Station „Lohmannshof“ (Großdornberg) (Stationierung 25+365 bis zu der Station 25+880) in einem nach Norden gerichteten Bogen. Von da an bis zum Ende der Ausbaustrecke bei der Stationierung 26+600 verläuft die Trasse grob in nordöstliche Richtung. Dabei führt die Trasse überwiegend über Wiesen und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Untergeordnet werden im Trassenverlauf auch kleinere bewaldete Flächen, Feldwege sowie asphaltierte Straßenabschnitte passiert. Der genaue Trassenverlauf ist in den Lageplänen der Anlage 1 dargestellt.

Topographisch verläuft das Gelände von der Station „Lohmannshof“ mit einer absoluten Höhe von rd. 113,6 mNN auf den ersten ca. 300 m relativ eben und fällt nur flach auf eine Höhe von rd. 113,0 mNN ab. Es schließt sich dann eine „Geländesenke“ an. Es handelt sich dabei vermutlich um ein Nebental des Babenhauser Baches, welcher nördlich der geplanten Trasse verläuft. Das Gelände fällt hier auf ca. 110,8 mNN ab. Das Gelände steigt dann bis zur neu geplanten Haltestelle „Lange Lage“ (ca. Hälfte der Ausbaustrecke) auf rd. 119,3 mNN an. Von der Haltestelle „Lange Lage“ bis zu der ebenfalls neu geplanten Haltestelle „Schloßhofstraße“ am Ende der Ausbaustrecke fällt das Gelände relativ kontinuierlich auf rd. 103 mNN wieder ab. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Schnitt aus dem Geoportal NRW mit dem grob abgeschätzten Höhenverlauf entlang der geplanten Trasse. Der detaillierte Geländeverlauf ist darüber hinaus in den geotechnischen Systemschnitten (Anlagen 3.6 bis 3.9) dargestellt.

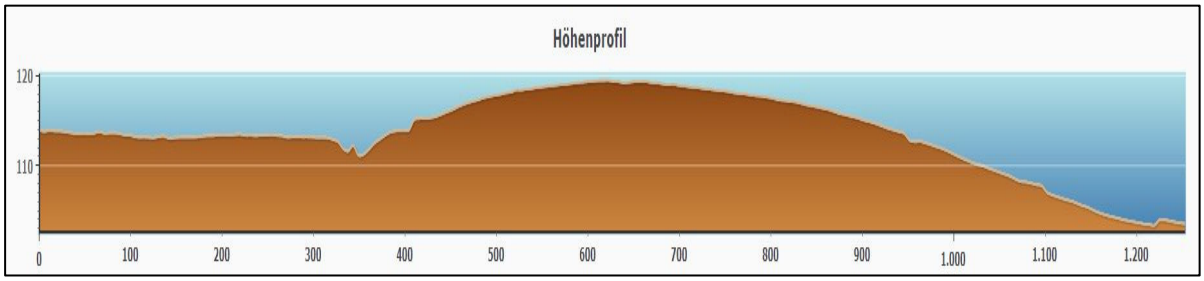


Abbildung 1: Übersicht grober Geländeverlauf der Trasse (Auszug aus dem Geoportal NRW, Zugriff: 18.01.2022)

Gemäß des uns zur Verfügung stehenden Trassenquerschnittes verläuft die Gradiente der Schienenoberkante im Abschnitt zwischen den Stationen 25+365 bis 25+680 mit einem Höhenniveau von rd. 113,5 mNN bis 112,5 mNN und liegt somit annähernd in **Geländegleichlage**.

Wie in dem Gutachten [3] bereits beschrieben wurde, wird zwischen den Stationen 25+680 bis ca. 25+730 eine annähernd Nord - Süd verlaufende und weiter nach Norden abfallende Geländesenke angetroffen. Aufgrund der Höhendifferenz sowie des zusätzlich nach Norden hin abfallenden Geländes werden hier in nördlicher Richtung Auftragsböschungen / Dammschüttungen mit Höhen von bis zu rd. 3,0 m erforderlich. Der nachfolgende Auszug aus dem Systemquerschnitt K-K (vgl. Planung Ingenieurbüro Vössing [5]) zeigt die geplante Situation im Bereich der Geländesenke. Entsprechend der vorliegenden Planung soll am Tiefpunkt der Geländesenke zusätzlich ein Durchlass DN 400 im Bereich des Bahndammes entstehen (vgl. Abbildung 2).

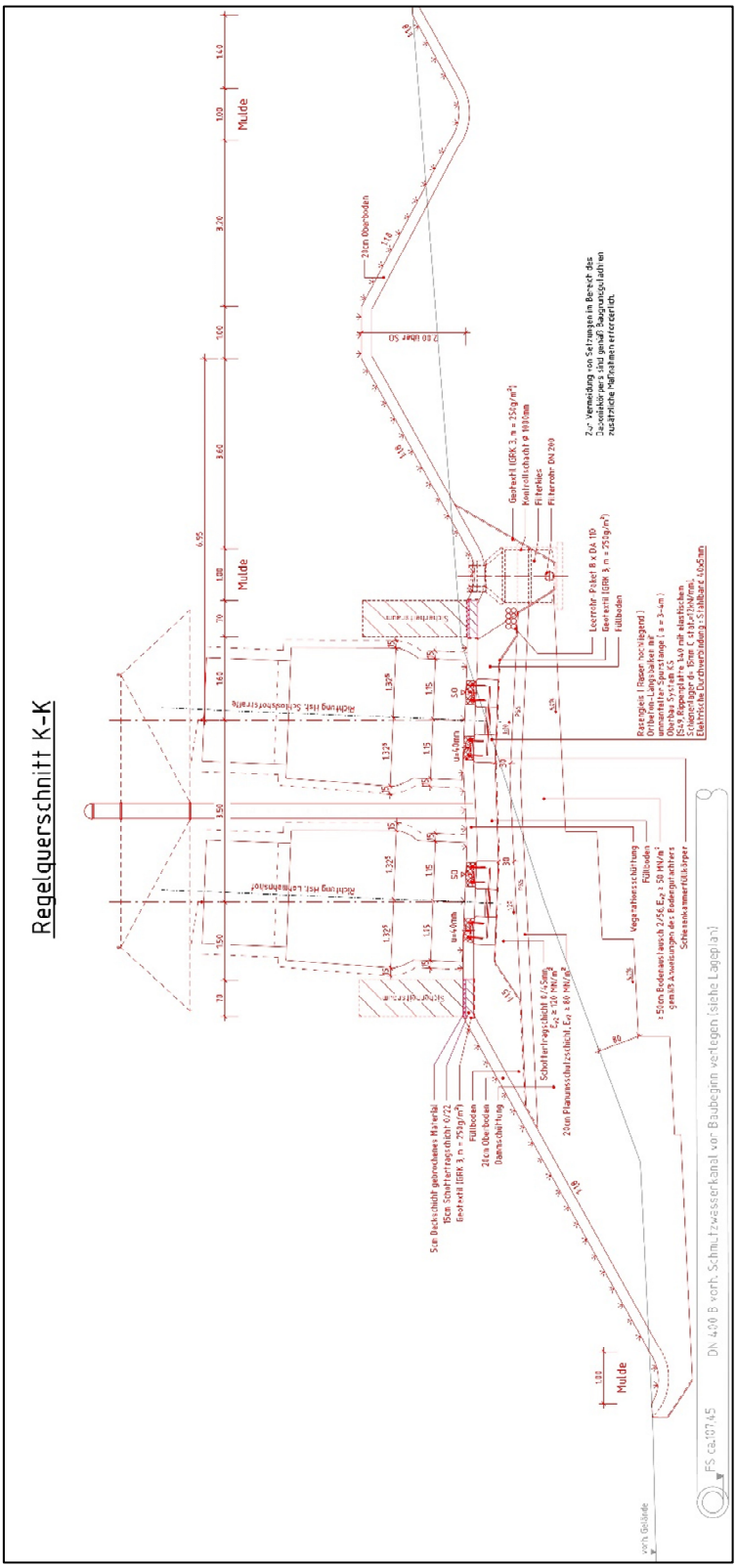


Abbildung 2: geplante Geländeprofilierung Bereich „Geländesenke“ (Ausschnitt Systemquerschnitt K - K), (vgl. Entwurfsplanung [5])

Zwischen den Stationen 25+730 bis 25+930 steigt die Gradiente der Trasse von 112,6 mNN auf 117,6 mNN an. Bis zu der Station 26+150 bleibt die Trassengradiente dann annähernd auf diesem Niveau. Die Trassengradiente verläuft in diesem Abschnitt im **Geländeeinschnitt.** Die Einschnitttiefen betragen zwischen 0,5 m bis 1,7 m unter Gelände. Die maximale Einschnitttiefe von t = 1,7 m wird dabei im Bereich der Station 25+980 erreicht.

Von der Station 26+150 bis zum Ausbauende der Trasse bei Station 26+600 fällt die Gradiente von rd. 117,6 mNN auf 103,7 mNN ab. In Bezug auf die derzeitige Geländeoberkante liegt die Gradiente dabei variierend zwischen +/- 1,0 m geringfügig ober- und unterhalb des Geländes.

Bezüglich der Aushubtiefen für den herzustellenden Bahnkörper setzt das Bestandsgutachten [3] unter Berücksichtigung eines Aufbaus aus Schiene, Betonbalken, Tragschicht und Planumsschutzschicht sowie einem in Abhängigkeit der Baugrundverhältnisse erforderlichen Mehraushubs von bis zu 0,5 m, einen erforderlichen flächigen Aushub von rd. 1,1 m bis maximal 1,6 m unter der Trassengradiente an. **Dieser Aufbau soll im Zuge des Gutachtens überprüft und gegebenenfalls optimiert werden.**

Trassenaufbau:

Grundsätzlich ist für den Ausbau der Trasse ein zweigleisiger Ausbau vorgesehen. Gemäß der vorliegenden Entwurfsplanung des Ingenieurbüros Dipl.-Ing. H. Vössing GmbH (vgl. [5]) sowie des Gutachtens [4] ist folgender Aufbau für die Gleise vorgesehen:

- Bereiche außerhalb der Haltestellen / Campusplatz / Straßenquerung:
  - Ausbildung als Rasengleis
  - Fixierung der Schienen auf Betonbalken (Balkenhöhe h = 40 cm)

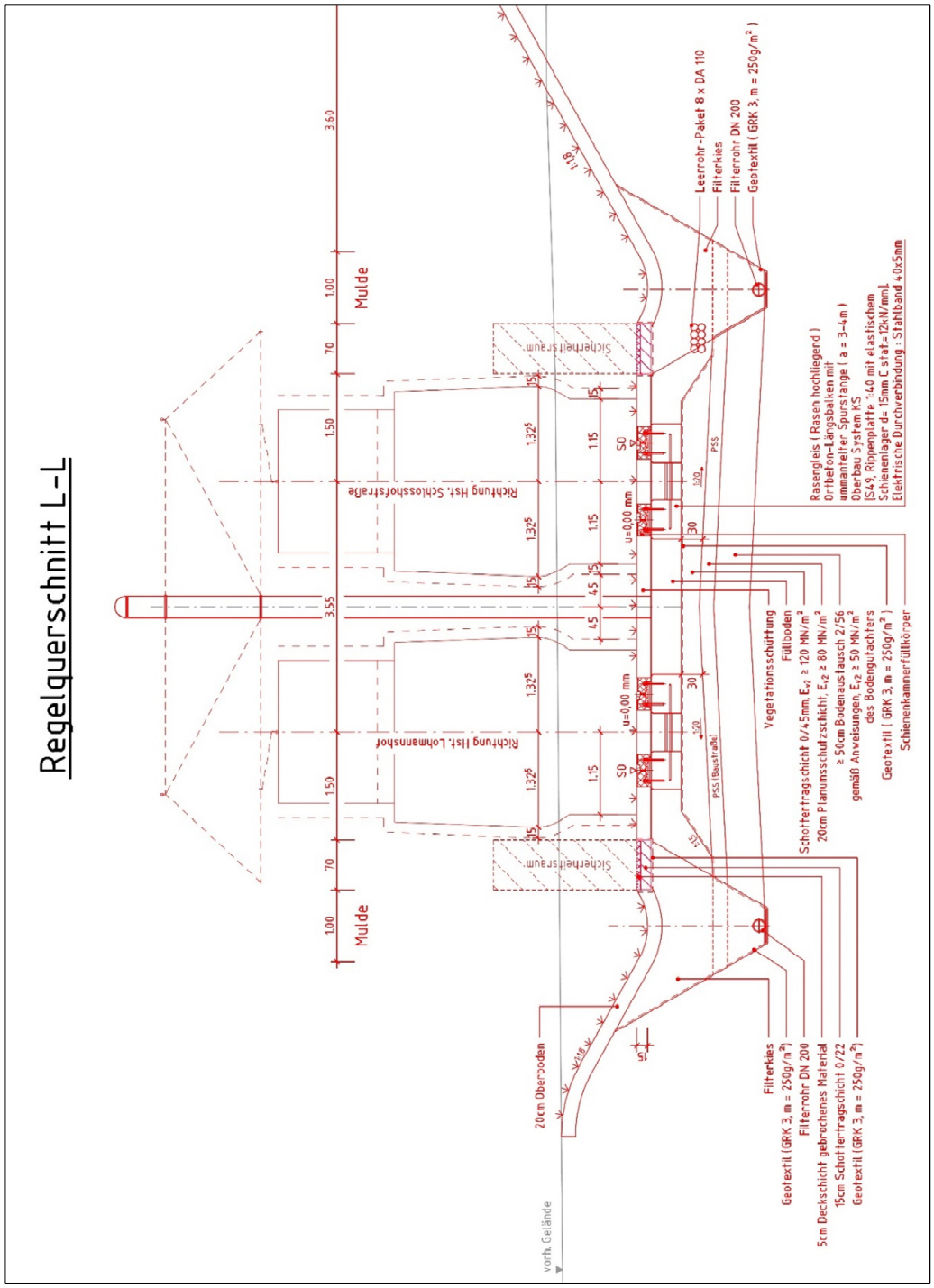


Abbildung 3: Ausbildung Rasengleis (Ausschnitt Systemquerschnitt L - L), (vgl. Entwurfsplanung [5])

- <u>Bereiche Haltestellen:</u>
  - Fixierung der Schienen auf Betonbalken (Balkenhöhe h = 40 cm)
  - Räume zwischen den Balken: Versiegelung mit Betonpflaster

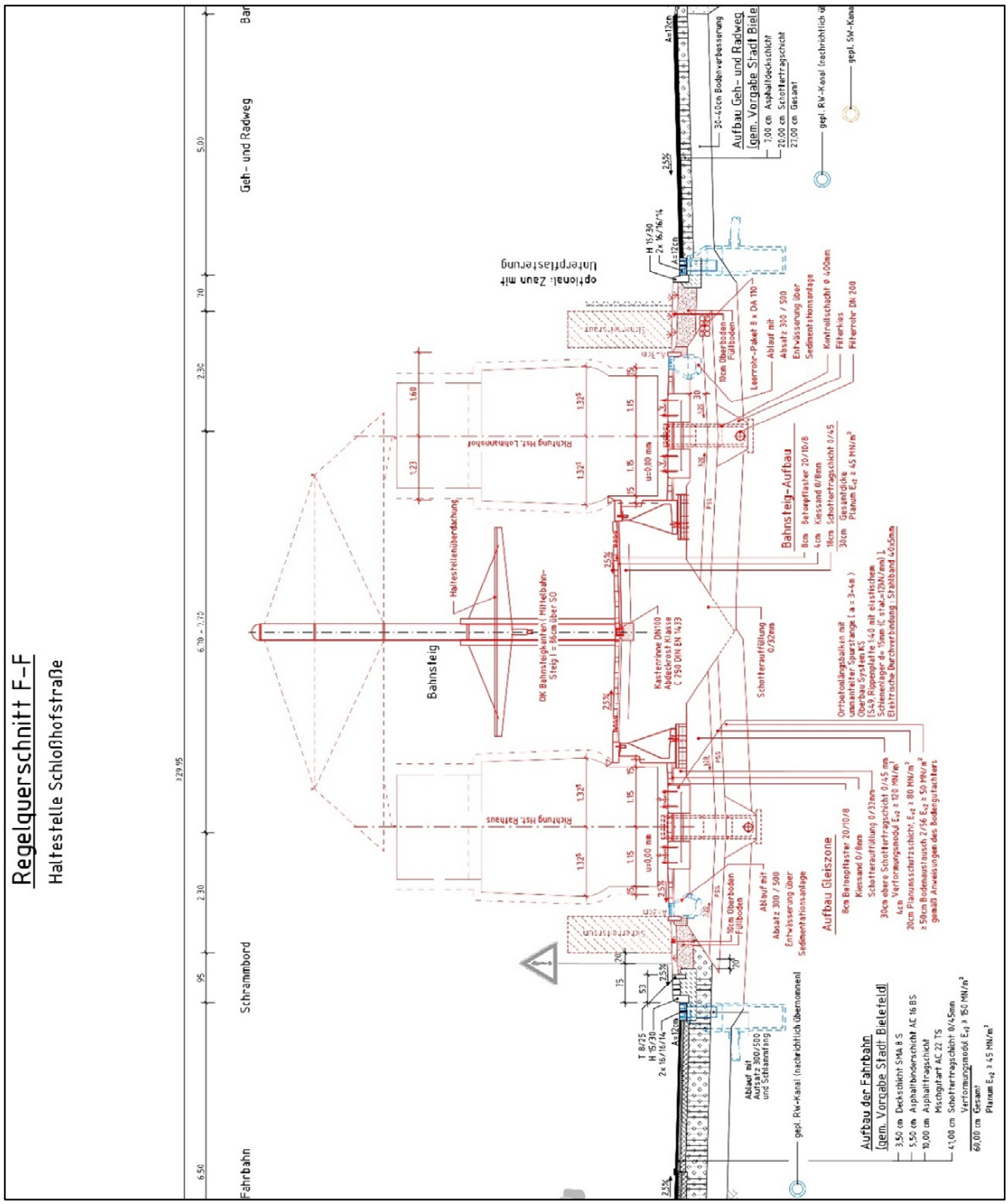


Abbildung 4: Ausbildung Gleise Haltestelle „Schloßhofstraße“ (Ausschnitt Systemquerschnitt F - F), (vgl. Entwurfsplanung [5])

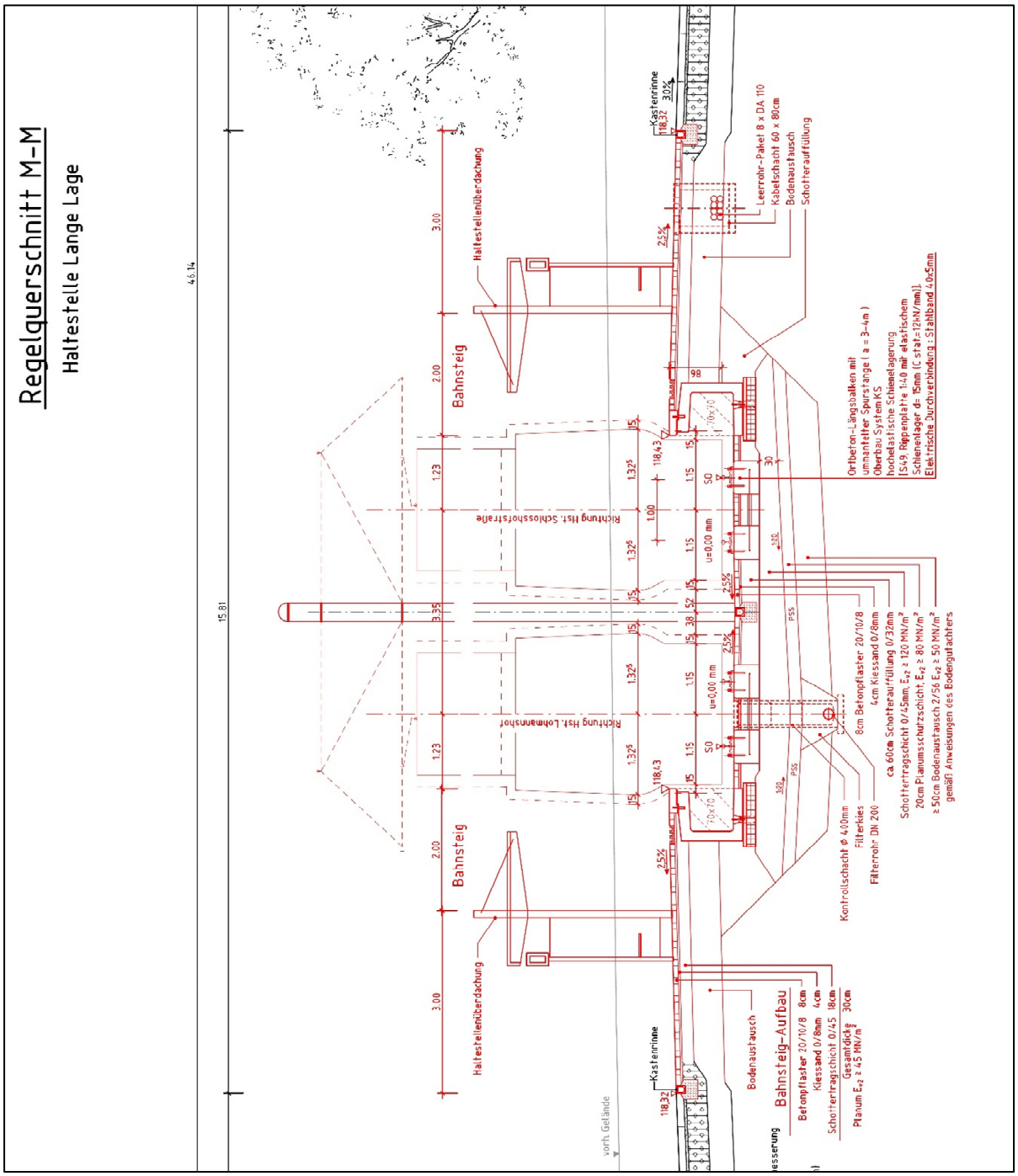


Abbildung 5: Ausbildung Gleise Haltestelle „Lange Lage“ (Ausschnitt Systemquerschnitt M - M), (vgl. Entwurfsplanung [5])

- <u>Bereich Campusplatz:</u>
  - Fixierung der Schienen auf Betonplatten (2,2 m x 0,3 m)
  - Gleiseindeckung: Betonrechteckpflaster

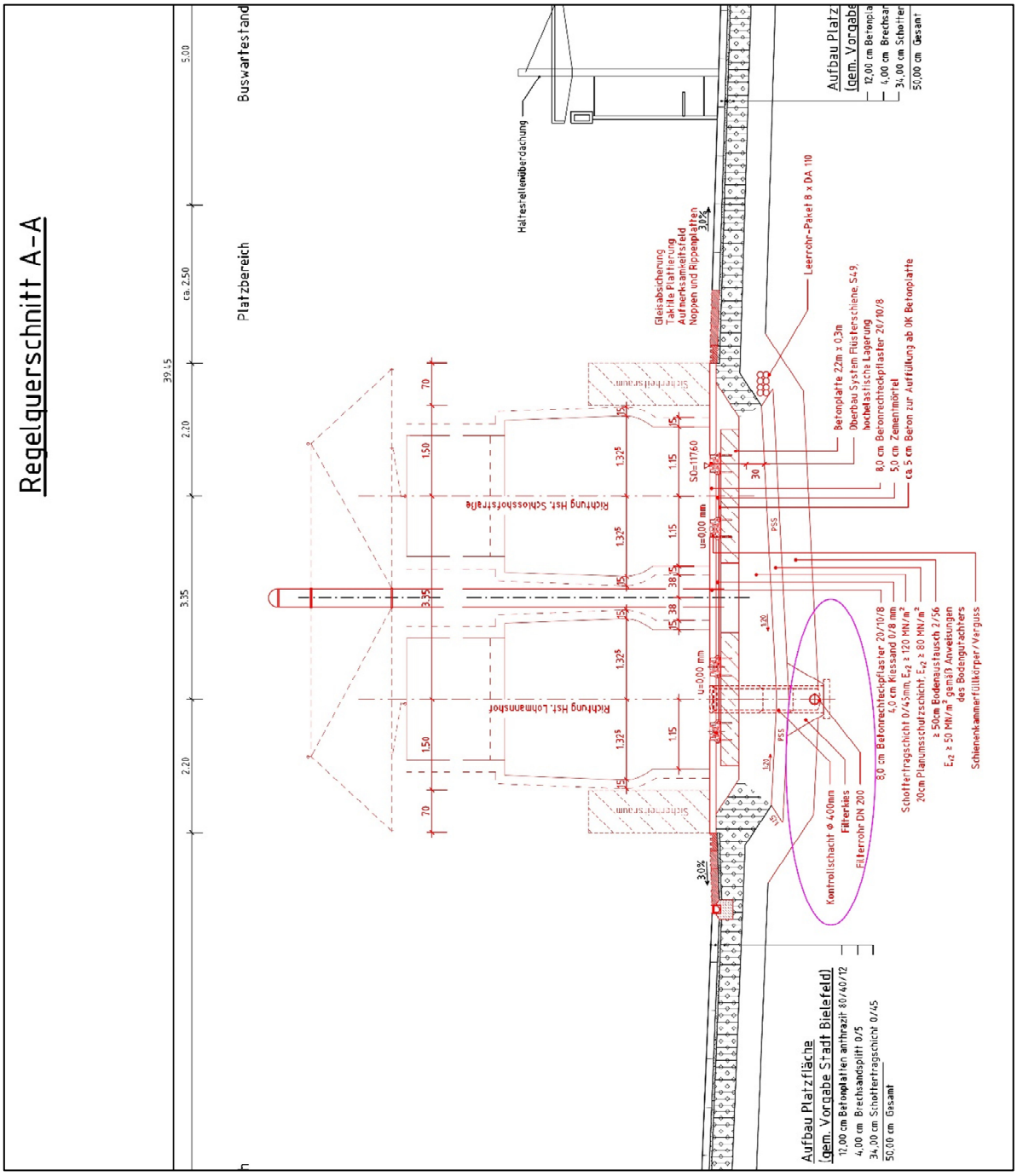


Abbildung 6: Ausbildung „Campusplatz“ (Ausschnitt Systemquerschnitt A - A), (vgl. Entwurfsplanung [5])

- <u>Bereich Straßenquerung:</u>
  - Fixierung der Schienen auf Betonbalken (Balkenhöhe h = 40 cm)
  - Durchlaufen der Betonbalken
  - Gleiseindeckung mit Gummigroßflächenplatten

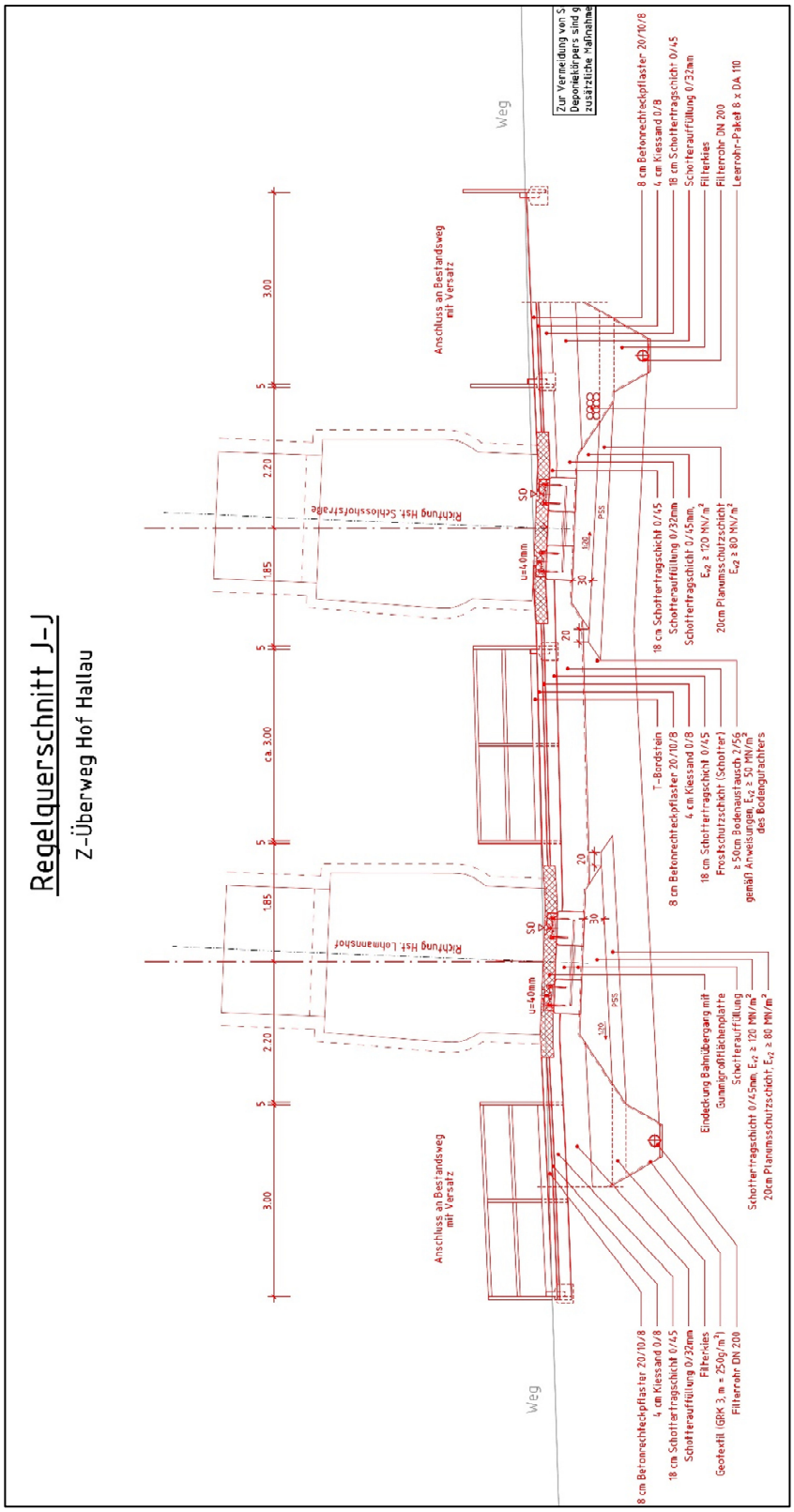


Abbildung 7: Ausbildung Straßenquerung (Ausschnitt Systemquerschnitt J - J), (vgl. Entwurfsplanung [5])

- Schienenfixierung auf Betonbalken / Betonplatten entspricht Fester Fahrbahn (FF) gemäß dem Regelwerk für Bahn
- Unter Betonbalken: Schottertragschicht 0/45 (Mächtigkeit d = 30 cm)
- Unter Schottertragschicht: Planumsschutzschicht (PSS) (Mächtigkeit d = 20 cm)

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass für den geplanten Gleiswechsel im Bereich der Haltestelle „Schloßhofstraße“ eine **Weichentragplatte**, von der Ausbildung her als „Feste Fahrbahn“, vorgesehen ist.

Außerdem werden entlang der Trasse zahlreiche Fahrleitungsmasten entstehen, welche grundsätzlich als Mittelmasten in Abständen von ca. 25 m bis 50 m ausgebildet werden sollen. Genaue Angaben zu anfallenden Lasten lagen uns zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht vor.

Aufbau Stationen „Lange Lage“ und „Schloßhofstraße:

Die geplanten Haltestellen „Lange Lage“ und „Schloßhofstraße“ werden als Hochbahnsteige ausgeführt. Dabei wird die Haltestelle „Lange Lage“ als Seitenbahnsteig und die Haltestelle „Schloßhofstraße“ als Mittelbahnsteig ausgebildet. Die Hochbahnsteige werden als Fertigteilkonstruktionen ausgebildet. Gemäß [4] werden dabei Winkelstützelemente auf Unterbetonsockeln aufgelagert. Die Dachstützen werden voraussichtlich mittels Köcherfundamenten gegründet. Die Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen die Situation im Bereich der Haltestellen. Weitere Details zu der Planung liegen uns zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor.

2 Untersuchungsschritte und -beschreibungen

2.1 Probennahme

Zur Substanzbewertung des vorhandenen gebundenen sowie ungebundenen Aufbaus und zur Bestimmung von Straßenpech wurden an den in der nachfolgenden Tabelle 1 sowie in den Lageplänen (Anlage 1) aufgeführten Untersuchungspunkten Asphaltbohrkerne entnommen und Rammkernbohrungen / Rammsondierungen durchgeführt.

Zur Beobachtung von Grundwasserschwankungen wurde die Bohrungen RKB 11 zu einer Grundwassermessstellen ausgebaut.

Bedingt durch die Lage einer Gasleitung musste der Bohransatzpunkt G4 auf den Rand der Ackerfläche Richtung Westen verlegt werden. Die Entnahme eines Bohrkernes aus dem Straßenkörper konnte durchgeführt werden.

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

Proben-bezeichnung [BK / RKB / DPH / GWMS] (*)	**Durchmesser BK / RKB / DPH / GWMS** (*) [mm]	**Gewünschte Bohrtiefe** [m]	**Erzielte Bohrtiefe** [m]	**Gewerk**
RKB G1 / DPH G1	80 / 43	10,00 / 12,00	6,30 / 8,70	Gleistrasse neuer Verlauf
RKB G2 / DPH G2	80 / 43	10,00 / 12,00	5,10 /10,40	
RKB G3 / DPH G3	80 / 43	10,00 / 12,00	6,20 / 12,00	
BK G4 RKB G4 / DPH G4	100 / 80 / 43	10,00 / 12,00	6,00 / 12,00	
RKB G5 / DPH G5	80 / 43	10,00 / 12,00	7,20 / 9,00	
BK G6 / RKB G6 / DPH G6	100 / 80 / 43	10,00 / 12,00	8,10 / 12,00	
RKB G7 / DPH G7	80 / 43	10,00 / 12,00	7,90 / 12,00	
RKB G8 / DPH G8	80 / 43	10,00 / 12,00	7,70 / 12,00	
RKB G9 / DPH G9	80 / 43	10,00 / 12,00	8,30 / 12,00	
RKB G10 / DPH G10	80 / 43	10,00 / 12,00	9,00 / 12,00	
SCH Q1/1	-	-	0,70	Sichtschutzwall
RKB Q1/2 / DPH Q1/2	80 / 43	6,00 / 6,00	6,00 / 6,00	
RKB Q2 / DPH Q2	80 / 43	Bis Bohrwiderstand	12,30 / 13,30	Gleistrasse alter Verlauf
RKB Q3 / DPH Q3	80 / 43	6,00 / 6,00	6,00 / 6,00	Sichtschutzwall
RKB Q4 / DPH Q4	80 / 43	Bis Bohrwiderstand	8,80 / 15,00	Gleistrasse alter Verlauf
RKB Q5 / DPH Q5	80 / 43	6,00 / 6,00	6,00 / 6,00	Sichtschutzwall

Proben-bezeichnung [BK / RKB / DPH / GWMS] (*)	**Durchmesser BK / RKB / DPH / GWMS** (*) [mm]	**Gewünschte Bohrtiefe** [m]	**Erzielte Bohrtiefe** [m]	**Gewerk**
RKB Q6 / DPH Q6	80 / 43	Bis Bohrwiderstand	5,00 / 6,50	Gleistrasse alter Verlauf
RKB Q7 / DPH Q7	80 / 43	6,00 / 6,00	6,00 / 6,00	Sichtschutzwall
RKB Q8 / DPH Q8	80 / 43	Bis Bohrwiderstand	6,10 / 12,30	Gleistrasse alter Verlauf
RKB N3	80	Bis Bohrwiderstand	8,70	Haltestelle Lange Lage
RKB N4	80		7,80	
GWMS 11	60	6,50	6,00	-

(*) BK = Bohrkern; RKB = Rammkernbohrung; SCH = Schurf; DPH = schwere Rammsondierung; GWMS = Grundwassermessstelle

Durch die durchgeführten Rammkernbohrungen und den Schurf 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 nach organoleptischer Analyse der Materialien ohne eine Siebanalyse, sodass die Korngrößenanteile lediglich qualitativ geschätzt werden und abweichen können. Eine Verifizierung ist mittels eines erweiterten Laborprogramms (Siebung / Schlämmung) möglich.

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 Sieb-/Schlämmungen, Erfassung der Zustandsgrenzen (Atterberg), Proctordichte, Glühverlust, Wassergehalte und Wasseraufnahmevermögen (Enslin) im Zuge eines erweiterten Laborprogramms durchgeführt (vgl. Tabelle 7).

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 3) 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 RuVA-StB 01/05[(1)], LAGA-Bestimmungen für Bauschutt[(2)] und Boden[(3)] sowie DepV wurde die Gesellschaft für Bioanalytik mbH (GBA), Bruchstraße 5c in 45883 Gelsenkirchen beauftragt. Die Ergebnisprotokolle liegen als Anlage 5 bei.

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

---

(1) Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/pechtypischen Bestandteilen sowie für die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau (RuVA-StB 01/Fassung 2005)

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

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

2.4.1 Untersuchung für die Verwertung von Ausbauasphalt

An den entnommenen Bohrkernen aus der Straßenkonstruktion wurde jeweils ein Nachweis auf teer-/pechhaltige Bestandteile im Bindemittel mittels Farbindikationsverfahren gemäß dem FGSV-Arbeitspapier 27/2[(4)] durchgeführt.

Die Ergebnisse dieser qualitativen Untersuchung sind zumindest stichprobenartig durch quantitative chemische Untersuchungen auf PAK im Feststoff und Phenole im Eluat entsprechend den RuVA-StB 01/05 zu bestätigen.

Bei Bestätigung der qualitativ negativ geprüften Einbaulagen/Bohrkerne können diese nach RuVA-StB 01 der Verwertungsklasse A zugeordnet werden und im Heißmischverfahren wiederverwertet werden.

Positiv getestete Einbaulagen sind in Abhängigkeit von der PAK- und Phenol-Konzentration in die Verwertungsklassen B und C einzustufen und können nur im Kaltmischverfahren wiederverwertet werden. Die Tabelle 2 führt die Einstufungen nach RuVA-StB 01 sowie die resultierenden Verwertungsverfahren auf.

Tabelle 2: Einstufung von Asphaltausbaumaterialien in Abhängigkeit der Schadstoffgehalte

Verwertungsklasse nach RuVA-StB 01		Verwertungsverfahren
A	< 25 mg/kg PAK < 0,1 mg/l Phenole	Heißmischverfahren
B	> 25 mg/kg PAK < 0,1 mg/l Phenole	Kaltmischverfahren
C	PAK-Gehalt ist anzugeben > 0,1 mg/l Phenole	

Die Untersuchungen gemäß RuVA-StB 01 sowie die detaillierten Bewertungen und Grenzwertkriterien liegen als Anlage 4.1 vor.

(4) Prüfung von Straßenbaumaterial auf carbostämmige Bindemittel – Schnellverfahren, FGSV AP 27/2, 2000

Ab dem 01.01.2018 wird von dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur empfohlen, auf den Wiedereinbau von Baustoffgemischen mit teer-/pechhaltigen Bestandteilen (Verwertungsklasse B und C gemäß RuVA-StB 01) in Bundesfernstraßen zu verzichten. Des Weiteren gilt dies für die Verwendung in Straßenkörper, wie zum Beispiel als Verfüllmaterial in Widerlagern von Brücken oder zur Herstellung von Dammschüttungen und Lärmschutzwällen.

Die thermische Verwertung (z.B. bei der Zementherstellung) oder die thermische Behandlung (vollständige Verbrennung der Schadstoffe und Wiederverwendung der enthaltenen Gesteinskörnungen) werden empfohlen.

Zusätzlich sind in der Anlage 4.1 die Konzentrationen von Benzo$_{(a)}$pyren und $\sum$PAK$_{16}$ den Grenzwerten nach BMU-Hinweis gegenübergestellt und die jeweiligen Abfallschlüssel gemäß der AVV[(5)] aufgeführt. In der Tabelle 3 sind die relevanten Abfallschlüsselnummern für Asphalt aufgelistet.

Tabelle 3: Abfallschlüsselnummern gemäß AVV

Asphalt	17 03 02	Bitumengemische mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 03 01* fallen
	17 03 01*	kohlenteerhaltige Bitumengemische

Für die Einstufung von teerhaltigen Straßenaufbrüchen nach der Abfallverzeichnisverordnung als gefährlichen Abfall (Abfallschlüssel 17 03 01* - kohlenteerhaltige Bitumengemische-) ist gemäß dem Rundschreiben „Abfallrechtliche Zuordnung von teerhaltigem Straßenaufbruch“ vom Oktober 2007 des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV NRW) der PAK-Gehalt von 1.000 mg/kg und der Benzo$_{(a)}$pyren-Gehalt von 50 mg/kg entscheidend.

Gemäß den Runderlassen „Güteüberwachung von mineralischen Stoffen“ und „Anforderungen für die Verwertung von mineralischen Stoffen aus Bautätigkeiten“ vom

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

09.10.2001sind Verwertungen von teerhaltigen Straßenaufbrüchen als Recycling-Baustoff (RCL) bis zu einer PAK-Konzentration von maximal 100 mg/kg zulässig.

2.4.2 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 4 führt die Zuordnungsklassen gemäß den LAGA-Bestimmungen und die zugehörigen Wiederverwertungen auf.

Tabelle 4: 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 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 den Anlagen 4.2 bis 4.4 sind die Untersuchungsergebnisse den Zuordnungswerten der Einbauklassen Z 0 - Z 2 nach LAGA-Bauschutt (Boden mit einem Fremdanteil ≥ 10 %) gegenübergestellt.

In den Anlagen 4.5 bis 4.14 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 4.15 bis 4.23 sind die detektierten Schadstoffgehalte den Zuordnungswerten der Deponieklassen DK 0 – DK III gegenübergestellt und die jeweiligen Abfallschlüssel gemäß der AVV[(6)] aufgeführt. In der Tabelle 5 sind die relevanten Abfallschlüsselnummern aufgeführt.

Tabelle 5: 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

2.5 Substanzielle Untersuchungen im Labor

2.5.1 Hinweise zur Bewertung der Asphaltstruktur (Bohrkerne)

Nachfolgend werden die zur Bewertung der Asphaltstruktur (Bohrkerne) herangezogenen Strukturmerkmale erläutert:

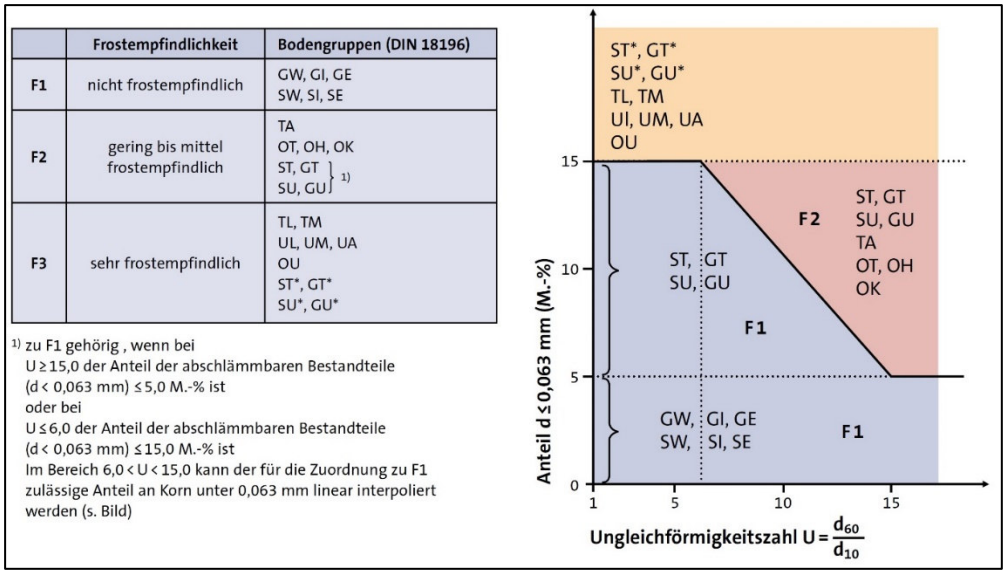
(6) Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV) vom 10.12.2001, BGBl. I S. 3379), zuletzt geändert: 22.12.2016

- **Offenporigkeit:**
  (offensichtliche, über das übliche Maß hinausgehende Hohlraumstrukturen)
  Die in diesem Gutachten als offenporig beschriebenen Bohrkernabschnitte zeigen aufgrund ihrer Struktur ein erhöhtes Risiko für Verformung und Rissbildung. Zudem wird durch das Eindringen von Luft und Wasser die Alterung des Bindemittels (Bitumen) beschleunigt und damit Schädigungen in Form von Ausmagerungen und Versprödung begünstigt.
- **Schichtenverbund:**
  (*fehlender Schichtenverbund zwischen zwei Einbaulagen)*
  Schädigungen dieser Art führen zwangsläufig zu einer Reduzierung der Nutzungsdauer durch eine verminderte Aufnahme von Schub- und Scherkräften bzw. Biegebeanspruchungen (kein monolithischer Aufbau).
- **Unterdimensionierung:**
  (signifikante Unterschreitung der Mindestdicke nach den RStO 12)
  Die Mindestdicke richtet sich nach Belastungsklassen, die sich durch die vorherrschende Verkehrsbeanspruchung ermittelt. Eine Unterdimensionierung führt zu verminderter Nutzungsdauer durch geringere Tragfähigkeit.
- **Rissbildung:**
  (Auftreten bzw. Verlauf eines Risses durch eine einzelne Schicht oder die Gesamtkonstruktion)
  Risse in Form von Ermüdungs-, Spannungs- und/oder Reflexionsrissen haben u.a. durch eindringendes Wasser in die Konstruktion einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzungsdauer einer Straße.

2.5.2 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.

Die folgende Abbildung 8 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 8: Zuordnung der Frostempfindlichkeitsklassen [ZTV E-StB 17]

3 Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Regionalgeologischer Überblick

Die Anlage 1.6 enthält einen Auszug aus der Geologischen Karte von Nordrhein - Westfalen 1 : 100.000 (Blatt 3914 (Bielefeld)) (vgl. [1]). Zusätzlich ist grob der Verlauf der geplanten Stadtbahnlinie 4 eingetragen. Auf dem Kartenausschnitt ist dabei die flächenhafte Verteilung der Ablagerungen dargestellt. Nachfolgend werden die anzutreffenden Böden vom Hangenden zum Liegenden hin beschrieben.

Im Bereich des westlichen Anschlusses an die Haltestelle „Lohmannshof“ bis in den sich anschließenden Kurvenbereich werden quartäre (holozäne), **anthropogene Auffüllungen** („künstliche“ Aufschüttungen) angetroffen. Gemäß den uns vorliegenden Informationen [3] ist hier mit Auffüllungen von größeren Mächtigkeiten zu rechnen, welche vermutlich in den 60er und 70er Jahren aus der Bebauung des aktuellen Universitätsgeländes eingebaut wurden („Bodendeponie“). Demnach ist hier mit ähnlichen

Böden wie im Untersuchungsbereich (Lösslehme und Geschiebelehme / -mergel) zu rechnen. Die anthropogenen Auffüllungen sind in der Geologischen Karte der Anlage 1.6 dargestellt.

Gemäß der Bodenkarte von NRW 1 : 50.000 ist im Einflussbereich des Babenhauser Baches sowie voraussichtlich auch unterhalb der bereits beschriebenen, anthropogenen Auffüllungen mit quartären (holozänen), **fluviatilen Talablagerungen** zu rechnen. Die Böden wurden voraussichtlich durch den Babenhauser Bach abgelagert und stellen sich gemäß [1] als Schluffe bis Mittelsande mit zum Teil Kiesen und Steinen (Farbe: graubraun) dar.

Nach Osten hin stehen im Bereich der geplanten Trasse dann zuoberst **Lössablagerungen** der Weichsel - Kaltzeit (Quartär (Oberpleistozän)) an. Es handelt sich dabei um eiszeitliche Windablagerungen. Die Lössablagerungen stellen sich gemäß [1] dabei als schwach tonige, schwach feinsandige Schluffe dar, welche oberflächennah entkalkt und örtlich umgelagert sind (Lösslehme). Sie sind dabei gelb-, grau- bis rotbraun gefärbt. Untergeordnet können auch geringe Anteile an Grus und Steinen angetroffen werden. Die Lösslehme sind ebenfalls in der Anlage 1.6 dargestellt.

Teilweise werden die künstlichen Auffüllungen sowie die Lösslehme dann von quartären, glazialen **Grundmoränenablagerungen** der Saale - Kaltzeit in Form von **Geschiebelehmen / Geschiebemergeln** unterlagert (vgl. [3] und [4]). Da sie die hangenden Schichten unterlagern sind sie in der geologischen Karte der Anlage 1.6 nicht dargestellt. Wie [4] bereits schilderte werden im Einflussbereich des Babenhauser Baches keine Grundmoränenablagerungen angetroffen. Die zuoberst anstehenden Geschiebelehme sind in der Regel entkalkt und verwittert während der Geschiebemergel kalkhaltig ist (vgl. [1]). In der Regel sind die Grundmoränenablagerungen als tonige, sandig - steinige Schluffe ausgebildet und grau- bis graubraun gefärbt. Sie wurden an der Sohle der Gletscher ausgeschmolzen (vgl. [1]).

Gemäß der Anlage 1.6 ist am Ostende der Ausbaustrecke darüber hinaus untergeordnet unterhalb der Lösslehme mit Saale - kaltzeitlichen **Schmelzwassersanden** zu

rechnen. Sie sind ebenfalls in der Anlage 1.6 dargestellt. Hinsichtlich ihrer Kornverteilung stellen sich diese dann als schluffige Fein- und Mittelsande (Farbe: hellgrau bis -braun) sowie untergeordnet auch als Grobsand und Kies (Farbe: grau, gelb- bis rostbraun) dar.

Am Ostende der Ausbaustrecke (ca. ab der Straße „Wittebreite“) konnten unterhalb der Grundmoränenablagerungen weitere zum Teil tonige, feinsandige, kalkhaltige Schluffe (Farbe: grau) angetroffen werden. Gemäß [3] handelt es sich hierbei ob sogenannte **Beckenschluffe** der Saale - Kaltzeit. Diese wurden vermutlich glazilimnisch (Ablagerung von bspw. (fluvio)glazialen Sedimenten in (glazialen) Seen) abgelagert.

Das Grundgebirge wird im Untersuchungsbereich von schwarzgrauen **Ton- und Tonmergelsteinen** des Juras (Unteres Lias; Hettang bis Sinemur) gebildet. Diese sind als Ton- und Tonmergelsteine mit zum Teil Toneisensteingeoden ausgebildet. Untergeordnet können auch graubraune Kalksandsteine und graue Kalksteine angetroffen werden. Gemäß der Anlage 1.3 sind diese in dem westlichen Kurvenbereich der Ausbaustrecke zu erkennen. Hier steht das Grundgebirge voraussichtlich relativ oberflächennah an. Grundsätzlich wird jedoch das gesamte Untersuchungsgebiet von Ton- und Tonmergelsteinen unterlagert.

3.2 Vorhandene Schichtdicken und Zusammensetzung des Oberbaus

3.2.1 Gebundener Oberbau (Bohrkerne)

Die Gesamtstärken des gebundenen Oberbaus und die angrenzende ungebundene Schicht sind für alle entnommenen Bohrkerne in nachfolgender Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 6: Gesamtstärken des gebundenen Oberbaus (Bohrkerne)

Bohrkern [n]	**Gesamtstärken des gebundenen Oberbaus** [cm]	**Art der Befestigung**	**Unterlagerndes ungebundenes Material**
BK G4	29,2	Asphalt	Schotter
BK G6	6,2	Asphalt	Schotter

Für die detaillierte Schichtenfolge und Strukturanalyse ist die Anlage 2 heranzuziehen.

3.2.2 Ungebundener Oberbau (Rammkernbohrungen und Schurf)

Auf Grundlage von Rammkernbohrungen (RKB) und dem Schurf (SCH) 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 3 zu entnehmen. Die Bodenansprache der einzelnen Schichten erfolgte organoleptisch. Die Tabelle 7 listet das bodenmechanische Laborprogramm sowie die dafür verwendeten Einzelproben bzw. die hergestellten Mischproben auf.

Tabelle 7: Bodenmechanische Laborprogramm (Rammkernbohrungen)

Labor-Nr. (*)	**Zusammensetzung** (RKB, Einbaulage)	**Teufe** von - bis [m]	**Bodengruppe** DIN 18196	**Untersuchungsumfang**	**Analyse-Methode**
014	G1.2 G3.2	0,32 – 3,50 0,44 – 4,00	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4
015	G2.2	0,47 – 3,70	UL (Lösslehm)	Glühverlust	DIN 18 128
016	G4.2 G5.3 G6.3	0,18 – 4,30 3,00 – 4,10 2,50 – 4,70	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
017	G8.2 G10.2	0,14 – 3,10 0,31 – 3,70	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung Glühverlust	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 128
020	G6.4 G7.4	4,70 – 7,60 3,90 – 6,00	TM (Geschiebemergel)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4
021	G8.4 G9.4	4,60 – 7,20 3,00 – 7,70	TM (Geschiebelehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4
022	G10.3 L1.4	3,70 – 6,70 4,00 – 6,00	TM (Geschiebemergel)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4
025	G1.5 G2.4 G3.5	5,90 – 6,30 4,90 – 5,10 5,80 – 6,20	TM (verwitterter Tonstein)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Enslin	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18 132

Labor-Nr. (*)	**Zusammen-setzung** (RKB, Einbaulage)	**Teufe** von - bis [m]	**Bodengruppe** DIN 18196	**Untersuchungs-umfang**	**Analyse-Methode**
035	N3.2 N4.2	0,33 – 2,90 0,41 – 2,60	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 18 132
038	N3.4 N4.3 – N4.4	3,70 – 8,70 2,60 – 7,80	TM (Geschiebe-mergel)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen Enslin	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122 DIN 18 132
039	Q2.4	2,90 – 8,00	UL (aufgefüllter Lehm)	Wassergehalt Glühverlust	DIN 18 121 DIN 18 128
040	Q3.2 – Q3.3 Q4.3	0,38 – 6,00 1,20 – 4,50	UL (aufgefüllter Lehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
041	Q1/2.3 – Q1/2.4	0,74 – 5,60	UL (Aufgefüllter Lehm)	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
042	G5.3 Q8.3	0,87 – 2,10 0,80 – 3,30	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2 DIN EN ISO 17892-4
043	Q5.4	2,10 – 3,90	UL (Lösslehm)	Wassergehalt Proctorversuch	DIN 18 121 DIN 18 127 bzw. DIN EN 13286-2
045	Q6.6	1,00 – 4,60	UM-TM (Überlagerung Lösslehm zu Geschiebelehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
046	Q7.4	2,10 – 5,70	TM (Geschiebelehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Zustandsgrenzen	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 122
047	Q8.4 – Q8.5	3,30 – 6,00	TM (Geschiebelehm)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4
048	Q6.7 Q5.6	4,60 – 5,00 5,50 – 6,00	TM (Tonmergel)	Wassergehalt Sieb-/Schlämmung Enslin	DIN 18 121 DIN EN ISO 17892-4 DIN 18 132

Labor-Nr. (*)	Zusammen-setzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Bodengruppe DIN 18196	Untersuchungs-umfang	Analyse-Methode
054	G2.1 G3.1 G5.1 G8.1	0,00 – 0,47 0,00 – 0,44 0,00 – 0,41 0,00 – 0,14	Oberboden	Glühverlust	DIN 18 128
056	N2.1 N6.1 N4.1	0,00 – 0,56 0,00 – 0,30 0,00 – 0,41	Oberboden	Glühverlust	DIN 18 128
058	Q3.1 Q5.1 Q7.1 Q8.1	0,00 – 0,38 0,00 – 0,22 0,00 – 0,21 0,00 – 0,10	Oberboden	Glühverlust	DIN 18 128

Die Ergebnisse der bodenmechanischen Untersuchungen sind in der Anlage 7 dargestellt. Ebenfalls sind die Bohrprofile (RKB und SCH) daraufhin angepasst (siehe Anlage 3).

3.3 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)**

Die einheitliche Bodeneinteilung wird in allen Teilgutachten vorgenommen, um Verwechslungen im späteren Bauverlauf auszuschließen. Im Rahmen des Baus der Gleistrasse werden im Bereich der relevanten Bohrungen alle der aufgeführten Baugrundschichten angetroffen. Nachfolgend werden diese ausführlich beschrieben.

<u>Zu Schicht I: Oberboden</u>

Die Geländeoberfläche ist im Bereich der meisten Untersuchungspunkte mit einer variierend dicken Oberbodenschicht abgedeckt. Lediglich im Bereich der Untersuchungspunkte Nr. Q1/2 und G6 wurde zuoberst keine Oberbodendecke angetroffen. Die Spanne der Schichtmächtigkeiten reicht gemäß den Bohrungen von 8 cm - 130 cm. Im Mittel ist von einer Oberbodenmächtigkeit von 20 cm bis 30 cm auszugehen. Grundsätzlich sind die Oberböden in der Regel natürlich. Teilweise wurden jedoch auch innerhalb der Oberböden anthropogene Bestandteile in Form von Bauschuttresten wie Ziegelbruch etc. angetroffen, sodass anzunehmen ist, dass auch diese stellenweise aufgefüllt sind.

In der Regel setzen sich die Oberböden aus schwach tonigen, sandigen bis stark sandigen, schwach kiesigen, schwach humosen bis stark humosen Schluffen zusammen. Teilweise wurden auch schwach schluffige, sehr schwach kiesige, humose Sande angetroffen. Gemäß der DIN 18196 sind die Oberböden den Bodengruppen OU (organogene Schluffe) sowie OH (grob- bis gemischtkörnige Böden mit humosen Beimengungen) und untergeordnet auch der Bodengruppe UL (Leichtplastische Schluffe) zuzurechnen. Der Organikanteil und der Wassergehalt variieren in Abhängigkeit der Jahreszeiten stark.

<u>Zu Schicht II: Auffüllungen</u>

Gemäß den uns vorliegenden Informationen des Gutachtens [3] ist im westlichen Untersuchungsbereich zwischen der Haltestelle „Lohmannshof“ und der „Geländesenke“ mit anthropogenen Auffüllungen von größeren Mächtigkeiten zu rechnen, welche vermutlich in den 60er und 70er Jahren aus der Bebauung des aktuellen Universitätsgeländes eingebaut wurden („Bodendeponie“). Demnach ist hier mit ähnlichen Böden wie im Untersuchungsbereich (Lösslehme und Geschiebelehme / -mergel) zu rechnen. Zusätzlich wurde im Bereich des Untersuchungspunktes Nr. G6, welcher sich im Bereich der bestehenden Dürerstraße befindet, eine geringmächtige Auffüllung angetroffen.

Die besagten anthropogenen Auffüllungen („Bodendeponie“) werden in dem Abschnitt zwischen den Untersuchungspunkten Nr. Q1/2 bis Q6 sowie G6 unterhalb des Oberbodens bzw. zuoberst bis in variierende Tiefen von 0,3 m bis > 6,0 m unter GOK

(Geländeoberkante) angetroffen. Im Bereich des Untersuchungspunktes Q3 wurde die Unterkante der Auffüllungen bis zur Bohrendtiefe von 6,0 m nicht erreicht, sodass davon auszugehen ist, dass sich die Auffüllungen hier zur Tiefe hin fortsetzen. Im Bereich des Untersuchungspunktes G6 wird zuoberst eine rd. 6 cm mächtige Oberbodendecke angetroffen. Die Zusammensetzung der Auffüllungen variiert sehr stark und ist als sehr heterogen zu bewerten. Neben überwiegend oberflächennah anstehenden, verlehmten Felsbrüchen mit teilweise Bauschuttanteilen (Asphaltbruch, Ziegelbruch, Schlacke) werden im Bereich der „Bodendeponie“ zur Tiefe hin überwiegend Lehme angetroffen.

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

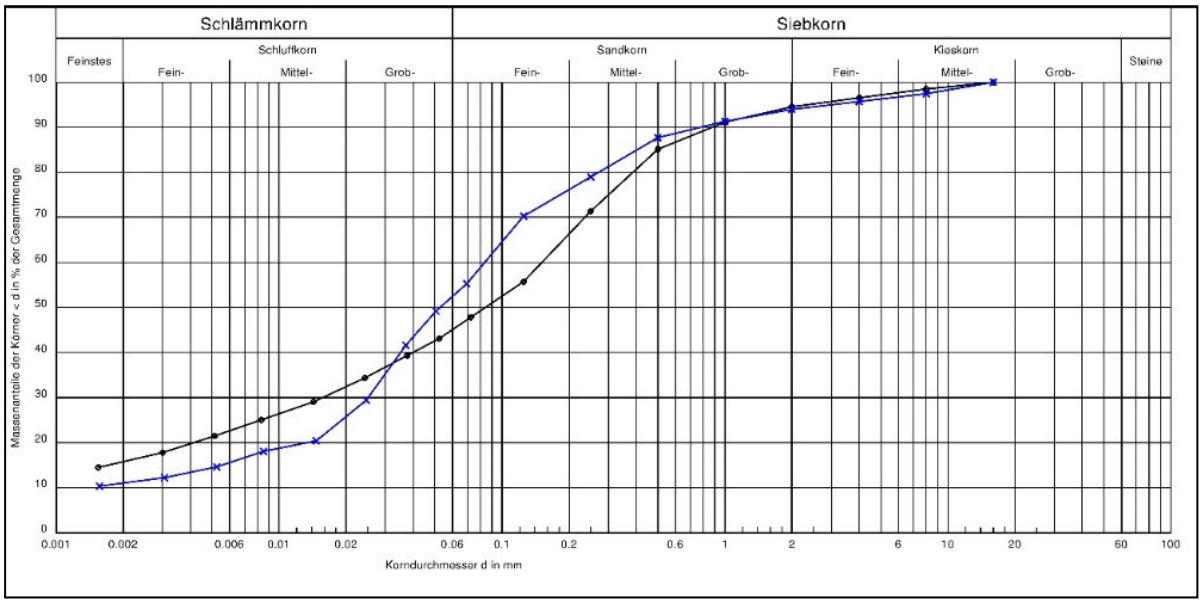


Abbildung 9: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Auffüllungen

Die Auffüllungen besitzen die Kornverteilungen von sandigen bis stark sandigen, sehr schwach bis stark schluffigen, schwach tonigen, teils humosen Kiesen. Die Lehme stellen sich überwiegend als sandige bis stark sandige, schwach tonige bis tonige, sehr schwach kiesige bis kiesige, sehr schwach humose Schluffe und als schwach bis stark sandige, schluffige, kiesige, teils humose Tone dar.

Das Spektrum der natürlichen Wassergehalte liegt zwischen

w = 13,4 - 17,9 Gew.-%

und der mittlere Wassergehalt liegt bei

$w_{m,Auffüllungen}$ = 15,7 Gew.-%.

In Abhängigkeit der Wassergehalte besitzen die Lehmanteile überwiegend steife teils auch halbfeste bis feste Konsistenzen. Die Kiesanteile sind entsprechend den Ergebnissen der schweren Rammsondierungen überwiegend locker bis mitteldicht gelagert.

Gemäß der DIN 18196 sind die Böden den Bodengruppen 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), TL (leichtplastische Tone), TM (mittelplastische Tone) sowie untergeordnet auch GW (weitgestufte Kies - Sand Gemische), UM (mittelplastische Schluffe), OU (organogene Schluffe) und OH (grob- bis gemischtkörnige Böden mit humosen Beimengungen) zuzurechnen. Insgesamt ist die Zusammensetzung der angetroffenen Böden als sehr heterogen zu bewerten.

Zu Schicht III: fluviatile Talablagerungen

Im Abschnitt zwischen den Untersuchungspunkten Nr. Q1/2 bis Q5 werden die beschriebenen Auffüllungen von fluviatilen Talablagerungen (Pleistozän, Holozän) unterlagert. Die Ablagerungen wurden durch das Baugrundgutachten [3] als Talsedimente einer bereits eiszeitlich angelegten Niederung, welche gegenwärtig größtenteils durch den Verlauf des Babenhauser Bachtals repräsentiert wird, beschrieben. Die Böden reichen bis in Tiefen von rd. 5,5 m bis 11,5 m und sind überwiegend als Lehme mit teilweise Flusskiesen und variierenden Organikanteilen ausgebildet. Aufgrund der Untersuchungstiefe von t = 6 m wurden die fluviatilen Talablagerungen im Bereich des Untersuchungspunktes Q3 nicht angetroffen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass auch hier unterhalb der Auffüllungen die fluviatilen Talablagerungen folgen.

Hinsichtlich ihrer Kornverteilung stellen sich die Böden überwiegend als sandige bis stark sandige, schwach tonige bis tonige, schwach kiesige, schwach bis stark humose Schluffe dar. Im Bereich des Untersuchungspunktes Q5 wurde darüber hinaus eine Sandlinse in Form von schluffigen Sanden angetroffen. Diese wurde in diesem Bereich auch bereits durch das Baugrundgutachten [3] der Gey & John GbR beschrieben.

Die Lehme besitzen in Abhängigkeit ihrer Wassergehalte überwiegend weiche bis steife Konsistenzen. Die Sande sind entsprechend den Ergebnissen der schweren Rammsondierungen überwiegend locker bis maximal mitteldicht gelagert. Gemäß der DIN 18196 sind die Böden den Bodengruppen UL (leichtplastische Schluffe) sowie untergeordnet auch SU* (Sand - Schluff Gemische; 15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm) zuzurechnen.

Zu Schicht IV: Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit)

Unterhalb der Oberbodenauflagen bzw. Auffüllungen folgen dann von den Untersuchungspunkten Nr. Q5 bis G10 bis in variierende Tiefen von 1,7 m bis 4,7 m unter GOK in der Regel quartäre Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit). Dabei steigt die Unterkante der Lösslehme von dem Punkt Q5 mit einer absoluten Höhe von rd. 111 mNN bis zu dem Punkt N1 auf eine absolute Höhe von rd. 117 mNN an. Von dem Punkt N1 aus bis zu dem Punkt G10 fällt die Unterkante der Lösslehme dann wieder kontinuierlich ab auf ca. 100 mNN am Ostende der Trasse.

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:

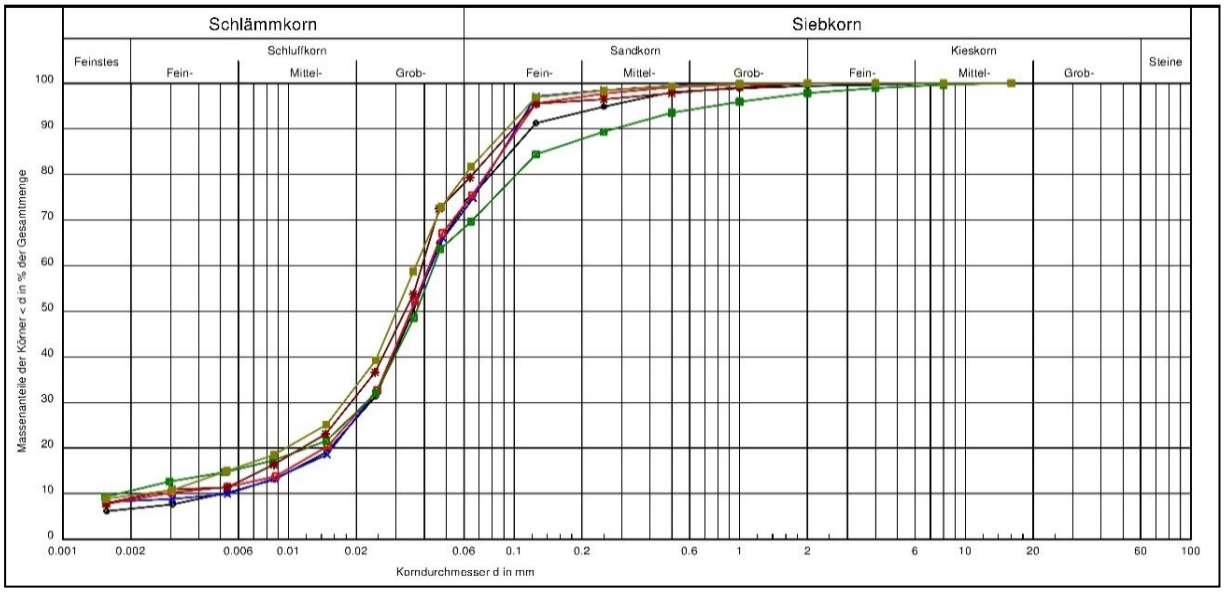


Abbildung 10: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Lösslehme

Die Lehme setzen sich überwiegend aus Schluffen mit schwach bis stark sandigen, schwach tonigen bis tonigen, schwach kiesigen bis kiesigen Nebenanteilen (untergeordnet auch mit organischen Bestandteilen) zusammen. Die Bodengruppe nach DIN 18196 ist UL (leichtplastische Schluffe). Untergeordnet können auch die Bodengruppen UM (mittelplastische Schluffe), TM (mittelplastische Tone) und OU (Organogene Schluffe) vorliegen.

Das Spektrum der natürlichen Wassergehalte liegt zwischen

w = 14.1 - 22,6 Gew.-%

und der mittlere Wassergehalt liegt bei

$w_{m,Löss}$ = 19,2 Gew.-%.

Die Lösslehme besitzen in der Regel weiche bis steife sowie steife bis halbfeste Konsistenzen.

Das nach DIN 18123 ermittelte Wasseraufnahmevermögen nach Enslin wurde an drei Proben (siehe Anlagenteil 7.6) ermittelt und variiert zwischen

w_b = 40,9 und 47,5 Gew.-%.

Das Wasseraufnahmevermögen ist als niedrig einzustufen. Es ist 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 im Bereich der Untersuchungspunkte Nr. Q6 bis G10 quartäre (glaziale) Geschiebelehme /Geschiebemergel (Saale - Kaltzeit, Grundmoränenablagerungen). Die Unterkante der Geschiebelehme bzw. Geschiebemergel konnte durch die Rammkernbohrungen aufgrund von unüberwindbaren Bohrwiderständen nicht erreicht werden. Aufgrund der Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sowie den Bohrergebnissen der Bestandsgutachten [3] und [4], ist jedoch davon auszugehen, dass die Unterkante der Geschiebelehme / -mergel in variierenden Tiefen von rd. 2,0 m bis 9,5 m unter GOK angetroffen wird. Dabei steigt die Unterkante der Geschiebelehme / -mergel von dem Punkt Nr. Q6 gesehen von einer absoluten Höhe von rd. 110,7 mNN bis zur Geländehochlage im Bereich der geplanten Station „Lange Lage“ auf rd. 112,0 mNN an. Von der Station „Lange Lage“ bis zum Ende der geplanten Trasse fällt die Unterkante der Geschiebelehme dann wieder auf rd. 95,5 mNN ab.

Die Bohrung RKB Q8 konnte aufgrund eines unüberwindbaren Bohrwiderstandes nicht weiter abgeteuft werden. Es ist wahrscheinlich, dass die Bohrung auf einem größeren Geschiebe oder Findling aufstand. Aufgrund der Ergebnisse der schweren Rammsondierungen ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Lockergesteine auch hier zur Tiefe hin weiter fortsetzen.

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:

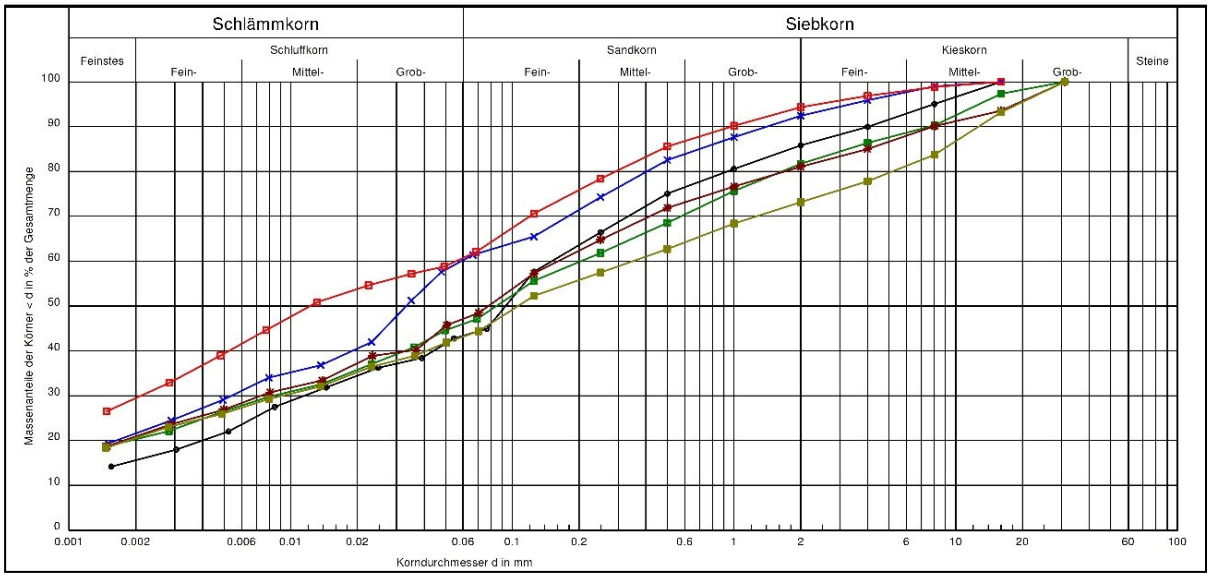


Abbildung 11: Spektrum der Korngrößenverteilungen der Geschiebelehme

Anhand der ermittelten Zustandsgrenzen (siehe Anlagenteil 7) wird den Tonbestandteilen die prägende Bodeneigenschaft zugewiesen, sodass die Hauptbodenart Ton ist, der von schluffigen, sandigen und kiesigen Nebenanteilen in unterschiedlichen Mengenverhältnissen durchsetzt ist. Untergeordnet wurden auch Geschiebekiese in Form von stark tonigen, schwach schluffigen bis schluffigen, sandigen bis stark sandigen Kiesen sowie schwach sandigen, tonigen Schluffen angetroffen. Gemäß der DIN 18196 sind sie in der Regel den Bodengruppen TM (mittelplastische Tone) sowie untergeordnet auch UM (mittelplastische Tone), GT* (Kies - Ton Gemische; 15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm), GU* (Kies - Schluff Gemische; 15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm) und GU (Kies - Schluff Gemische; 5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,063 mm) zuzurechnen.

Die natürlichen Wassergehalte liegen zwischen

w = 11,8 - 19,0 Gew.-%

und der mittlere Wassergehalt liegt bei

$w_{m,G\text{-}Lehm}$ = 15,7 Gew.-%.

Die Konsistenzen der Geschiebelehme variieren zwischen weich und überwiegend steif. Untergeordnet werden auch halbfeste bis feste Konsistenzen angetroffen. Die Kiesanteile sind überwiegend mitteldicht gelagert.

Zu Schicht VI: Beckenschluff (Saale - Kaltzeit)

Im Bereich der Untersuchungspunkte Nr. G6 bis G10 folgen unterhalb der Geschiebelehme / -mergel ab Tiefen von rd. 7,2 m bis 8,6 m unter GOK die bereits durch [3] beschriebenen, glazilimnischen Beckenschluffe. Die Schichtunterkante konnte aufgrund von unüberwindbaren Sondierwiderständen nicht erreicht werden. Entsprechen den Ergebnissen der schweren Rammsondierungen setzen sich die Beckenschluffe auch bis zur Sondierendtiefe von t = 12 m (entspricht absoluten Höhen von 97,4 mNN (Punkt G6) bis 92,1 mNN (Punkt G10)) fort. Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Beckenschluffe zur Tiefe hin weiter fortsetzen. Die Böden besitzen die Kornverteilung von schwach tonigen bis tonigen, sandigen bis stark sandigen, schwach bis stark kiesigen Schluffen.

In Abhängigkeit ihrer Wassergehalte besitzen die Böden überwiegend weiche bis steife und untergeordnet auch steife bis halbfeste Konsistenzen. Gemäß der DIN 18196 sind die Böden der Bodengruppe UL (Leichtplastische Schluffe) und untergeordnet auch UM (Mittelplastische Schluffe) zuzurechnen.

Gemäß den Ergebnissen der schweren Rammsondierungen besitzen die Beckenschluffe Schlagzeilen im Mittel von rd. 30 Schlägen je 10 cm Eindringtiefe, was eher einem dichtgelagerten Kies anstatt einem leichtplastischen Schluff entsprechen würde. Jedoch ist zu berücksichtigen, dass die Beckenschluffe wahrscheinlich durch den saalekaltzeitlichen Eispanzer (Drenthe - Vorstoß) überlagert wurden und sie daher extrem überkonsolidiert sind, was zu den entsprechend hohen Schlagzahlen der schweren Rammsondierungen führen kann.

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 / Sondierungen erschlossen:

- ***Bohrung GWM B 10:*** *ab 6,8 m unter GOK* *ab 106,7 mNN*
- **Bohrung Q2:** ab 11,5 m unter GOK ab 101,3 mNN
- ***Bohrung B3:*** *ab 7,9 m unter GOK* *ab 105,4 mNN*
- **Bohrung Q4:** ab 8,3 m unter GOK ab 105,0 mNN
- ***Bohrung GWM B 4:*** *ab 6,1 m unter GOK* *ab 107,1 mNN*
- ***Bohrung RKS 5:*** *ab 5,6 m unter GOK* *ab 107,5 mNN*
- **Bohrung Q5:** ab 5,5 m unter GOK ab 107,9 mNN
- ***Bohrung RKS 6:*** *ab 2,5 m unter GOK* *ab 109,6 mNN*
- **Bohrung Q6:** ab 4,6 m unter GOK ab 109,3 mNN
- ***Bohrung RKS 8:*** *ab 5,2 m unter GOK* *ab 110,8 mNN*
- ***Bohrung B3:*** *ab 7,3 m unter GOK* *ab 110,9 mNN*
- ***Bohrung GWM B 7:*** *ab 6,6 m unter GOK* *ab 111,7 mNN*
- **DPH G1:** ab 7,2 m unter GOK ab 110,5 mNN
- **DPH G2:** ab 6,8 m unter GOK ab 107,5 mNN
- **DPH G3:** ab 7,2 m unter GOK ab 105,9 mNN
- **DPH G4:** ab 9,2 m unter GOK ab 103,6 mNN
- ***Bohrung B 8:*** *ab 6,8 m unter GOK* *ab 104,7 mNN*
- **DPH G5:** ab 7,3 m unter GOK ab 104,6 mNN

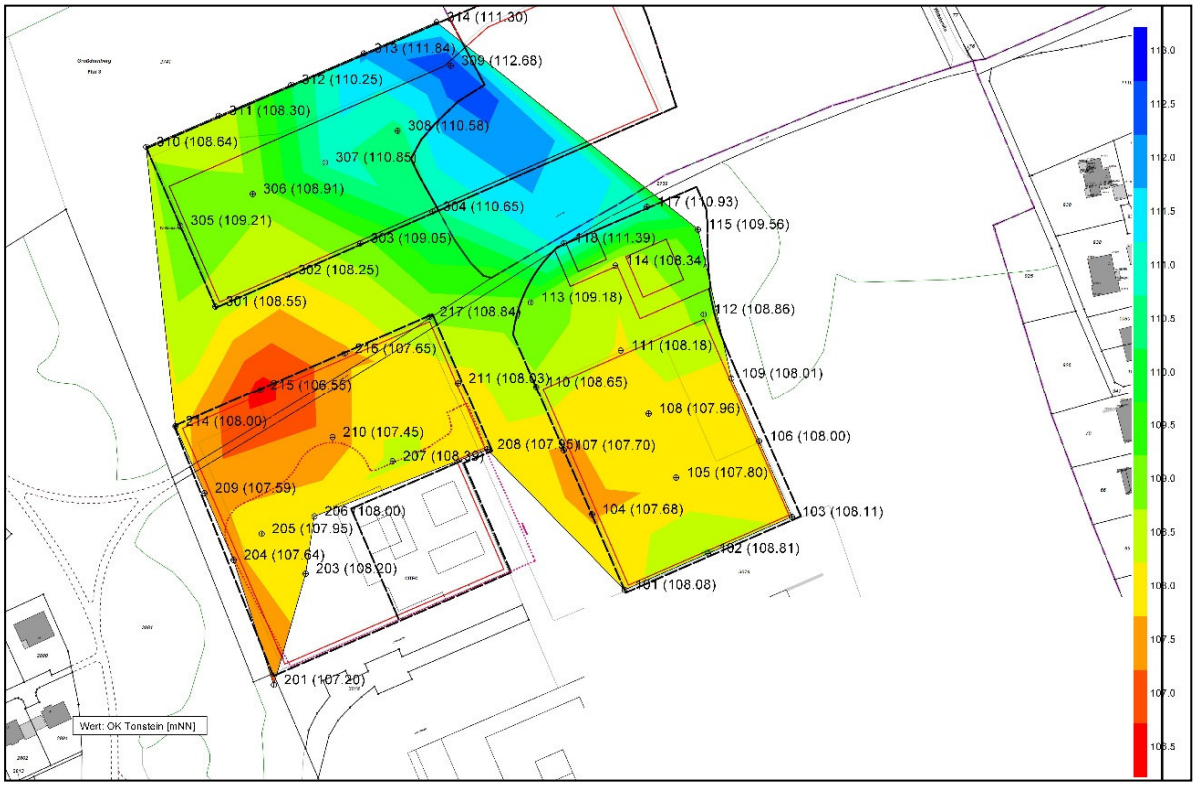


Abbildung 12: Isoliniendarstellung der Oberkante Grundgebirge Bereich geplante Haltestelle „Lange Lage“ (Bestandsgutachten PTM Geotechnik Arnsberg GmbH, Dietrich, 2021)

In kursiver Schrift sind die Bohrergebnisse der Bestandsgutachten [3] und [4] dargestellt. Die Grundgebirgsoberkante wurde im Bereich der schweren Rammsondierungen anhand der Schlagzahlen grob abgeschätzt. Darüber hinaus liegen im Bereich der Station „Lange Lage“ weitere Bohrergebnisse aus einem Gutachten der PTM Geotechnik Arnsberg GmbH vor. Dieses enthält Informationen über den Verlauf der Oberkante des Grundgebirges im Bereich der geplanten Station „Lange Lage“. Die Abbildung 12 zeigt eine Isoliniendarstellung der Oberkante Grundgebirge. Die Ergebnisse wurden in die geotechnischen Systemschnitte mit eingearbeitet.

Oberflächennah ist der Tonmergel / -stein als vollständig zu Ton zersetzt zu beschreiben. Er besitzt demnach eine lockergesteinsartige Struktur mit einer Kornverteilung von schwach bis stark schluffigen, sandigen bis stark sandigen Tonen. Untergeordnet wurden auch sandige, schluffige, schwach tonige Kiese angetroffen. Sofern man sie einem Lockergestein gleichstellen will, entsprechen sie Tonen der Bodengruppe TM (Mittelplastische Tone) mit halbfesten bis festen Konsistenzen. Untergeordnet liegt

auch die Bodengruppe GU* (Kies - Schluff Gemische; 15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,063 mm) vor.

Das nach DIN 18123 ermittelte Wasseraufnahmevermögen nach Enslin wurde an einer Probe (siehe Anlagenteil 7.6) ermittelt und liegt bei

w_b = 49,5 Gew.-%.

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

3.4 Geotechnische Systemschnitte

Die vorstehend erläuterte, wechselnde Schichtenfolge ist in den geotechnischen Systemschnitten in den Anlagen 3.6 bis 3.9 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. Darüber hinaus sind die Schnitte teilweise durch die Bohrergebnisse der Bestandsgutachte [3] und [4] ergänzt, wobei grundsätzlich die Bohrergebnisse der PTM Dortmund mbH priorisierend bewertet wurden. Insbesondere ab dem Ostende der Station „Lange Lage“ bis zum Trassenende wurden aufgrund der Änderung des Trassenverlaufes überwiegend die Ergebnisse der PTM Dortmund mbH herangezogen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch die durchgeführten Untersuchungen die Ergebnisse der Gutachten [3] und [4] weitestgehend bestätigt werden können bzw. teilweise aufgrund des engeren Untersuchungsrasters etwas detaillierter beschrieben und ergänzt werden konnten.

3.5 Grundwasser

3.5.1 Untersuchungsergebnisse

Grundwasser wurde im Rahmen der Bohrungen in folgenden Abschnitten angetroffen:

- **Untersuchungspunkte Q1/2 bis Q5:**
  - **Tiefen:** 1,7 m bis 5,3 m unter GOK
  - **absolute Höhe:** 109,1 mNN bis 111,7 mNN
  - **Schichten:** Auffüllungen (Schicht II) und fluviatile Talablagerungen (Schicht III)
- **Untersuchungspunkte G3 bis G10:**
  - **Tiefen:** 1,8 m bis 4,2 m unter GOK
  - **absolute Höhe:** 102,0 mNN bis 111,0 mNN
  - **Schichten:** Lösslehme (Schicht IV); Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)

Darüber hinaus wurde im Bereich des Untersuchungspunktes N3 in einer Tiefe von 7,1 m unter GOK (= 112,2 mNN) Grundwasser („zugefallenes“ Bohrloch sowie nasse Böden) angetroffen. Teilweise wurden, sofern 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 nachfolgende Tabelle gibt die entsprechenden Grundwasserhöhen für die entsprechenden Bohrungen detailliert an.

Tabelle 8: Grundwasserstände innerhalb der Bohrlöcher

Rammkernbohrung [n]	**Tiefe GW unter GOK** [m]	**Absolute GW-Höhe** [mNN]	**Besonderheit** (unter GOK / absolute Höhe)	**Baugrundschicht**
Q1/2	4,1	109,9	-	Auffüllungen
Q2	-	-	zugefallen (3,7 m / 109,1 mNN)	fluviatile Talablagerungen
Q3	-	-	zugefallen (1,7 m / 111,7 mNN)	Auffüllungen
Q4	5,3	108,0	-	fluviatile Talablagerungen
Q5	-	-	zugefallen (4,2 m / 109,2 mNN)	fluviatile Talablagerungen

Rammkern-bohrung [n]	**Tiefe GW unter GOK** [m]	**Absolute GW-Höhe** [mNN]	**Besonderheit** (unter GOK / absolute Höhe)	**Baugrundschicht**
N3	-	-	zugefallen (7,1 m / 112,2 mNN)	Geschiebelehme / -mergel
G3	4,2	111,0	-	Lösslehme
G4	4,2	108,6	-	Lösslehme
G5	3,3	108,6	-	Lösslehme
G6	-	-	zugefallen (3,6 m / 105,8 mNN)	Lösslehme
G7	-	-	zugefallen (3,2 m / 104,5 mNN)	Lösslehme
G8	-	-	zugefallen (3,5 m / 102,6 mNN)	Geschiebelehme / -mergel
G9	-	-	zugefallen (1,8 m / 102,3 mNN)	Lösslehme
G10	2,1	102,0	-	Lösslehme

(*) GW = Grundwasser; GOK = Geländeoberkante

Aufgrund der Feinkörnigkeit der überwiegend angetroffenen Lehme (Auffüllungen, fluviatile Talablagerungen, Lösslehme und Geschiebelehme) und der damit verbundenen geringen Wasserdurchlässigkeit ist außerdem jahreszeitlich bedingt mit Schichtenwasser und Staunässe zu rechnen.

3.5.2 Zusammenfassung Hydrogeologische Untersuchungsergebnisse

Nachfolgend werden die ermittelten hydrogeologischen Untersuchungsergebnisse mit den hydrogeologischen Untersuchungsergebnissen der Gutachten [3] und [4] ergänzt und zusammengefasst:

<u>Oberer Grundwasserleiter:</u>

Wie den Gutachten [3] und [4] zu entnehmen ist, wird ein zusammenhängender Porengrundwasserleiter im westlichen Untersuchungsgebiet im Bereich des Babenhauser Baches angetroffen. Die fluviatilen Talablagerungen stellen dabei einen geringdurchlässigen, ungespannten Grundwasserleiter dar (vgl. [4]). Die Ergebnisse lassen sich durch die ermittelten Grundwasserstände im Bereich der Untersuchungspunkte Q1/2 bis Q5 bestätigen.

Entsprechend den Gutachten [3] und [4] führen die im zentralen und östlichen Trassenbereich anstehenden Lösslehme und Geschiebelehme / - mergel nur temporär Wasser. Dieses wird dann in der Regel oberhalb der Geschiebelehme / -mergel und des Tonsteins (Grundgebirge) aufgestaut. Entsprechend [4] handelt es sich daher um einen „schwebenden“ Grundwasserleiter. Innerhalb der Geschiebelehme / -mergel beschränkt sich entsprechend [3] und [4] die Wasserführung auf lokale sandig - kiesige Einlagerungen. Eine Wasserführung innerhalb der Lösslehme / Geschiebelehme / -mergel lässt sich entsprechend den durchgeführten Bohrungen und Sondierungen lediglich für den östlichen Untersuchungsabschnitt (Bohrungen G3 bis G10) bestätigen. Im Bereich der Hochlage der Trasse (ca. Station „Lange Lage“) konnte mit Hilfe der Bohrungen kein Grundwasser erpegelt werden. Wie bereits beschrieben, weist das Gutachten [4] jedoch darauf hin, dass das Grundwasser innerhalb der Schichten nur temporär ansteht. Es ist daher davon auszugehen, dass auch im Bereich der Untersuchungspunkte im zentralen Untersuchungsbereich zumindest temporär mit Grundwasser zu rechnen ist.

Das Gutachten [4] enthält darüber hinaus eine Bestimmung der Bemessungswasserstände. Die in den Gutachten [3] und [4] bestimmten Grundwasserstände sowie die Bemessungswasserstände (unter Berücksichtigung eines ermittelten Sicherheitsaufschlag von rd. 1,5 m) sind in den geotechnischen Systemschnitten der Anlagen 3.5 bis 3.9 zusätzlich zu den durch die PTM Dortmund mbH ermittelten Grundwasserständen eingetragen. Das Gutachten [4] weist darauf hin, dass die maximalen Bemessungswasserstände innerhalb der Lösslehme eher den maximalen Staunässehorizont darstellen. Gemäß [4] erfolgt die generelle Grundwasserströmung entsprechend der Geländemorphologie in nördliche bis nordöstlich Richtung. Der Babenhausener Bach fungiert dabei als Vorfluter.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die ermittelten Grundwasserstände überwiegend unter bzw. in dem Spektrum zwischen den durch [3] und [4] ermittelten Grundwasserständen und Bemessungswasserständen liegen. Lokal wurde das Grundwasser im Bereich der anthropogenen Auffüllung (Untersuchungspunkt Q3)

oberhalb des angegebenen Bemessungswasserstandes angetroffen. Gemäß [3] ist im Bereich des „Deponiekörpers“ aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung auch mit isolierten Schichtwasserlinsen zu rechnen.

Insgesamt sind die durch das Gutachten [4] angegebenen Bemessungswasserstände als plausibel und mit ausreichender Sicherheit angegeben zu bewerten, sodass diese auch weiterhin die Grundlage der Bewertungen darstellen.

Unterer Grundwasserleiter:

Gemäß den Gutachten [3] und [4] ist im Bereich des Grundgebirges (Tonstein, Tonmergelstein (Schicht VII)) mit einem gespannten Kluftgrundwasserkörper zu rechnen. Dieser wurde durch die Bohrungen der PTM Dortmund mbH nicht erbohrt, sodass diese Annahme vorerst nicht bestätigt werden kann.

3.6 Grundwasserwassermessstelle

Die Grundwassermessstelle GWMS 11 wurde am 13.09.2021 im Bereich der zukünftig geplanten Lärmschutzwand eingerichtet (siehe Lageplan 1.5). Der Aufbau des Pegels und die Verfüllung sind in der Anlage 3.10 dargestellt. Insgesamt wurde an zwei Tagen der Wasserstand gemessen (vergleiche Tabelle 9).

Tabelle 9: 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

3.7 Bodenmechanische Kennwerte

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

Tabelle 10: Charakteristische Bodenkennwerte GK 2/3, Lockergesteine

Parameter		Schicht I:	Schicht II:	Schicht III:	Schicht IV:	Schicht V:	Schicht VI:	Schicht VII:
1	Homogenbereich (DIN 18300 und 18319:2015-08) **Lösbarkeit**	DIN 18320 Land-schaftsbau-arbeiten	LÖS-A	LÖS-B		LÖS-C		LÖS-D
2	Homogenbereich (DIN 18300 und 18319:2015-08) **Einbaufähigkeit**	DIN 18320 Land-schaftsbau-arbeiten	EIN-A	EIN-B (hier ausge-nommen ggf. deutlich organische Böden!)	EIN-B	EIN-C	EIN-D	EIN-E
3	Homogenbereich (DIN 18304 und 18319:2015-08) **Rammbarkeit**	DIN 18320 Land-schaftsbau-arbeiten	RAMM-A	RAMM-B		RAMM-C		RAMM-D
4	Homogenbereich (DIN 18301 und 18319:2015-08) **Bohrbarkeit**	DIN 18320 Land-schaftsbau-arbeiten	BOHR-A					BOHR-B
3	Ortsübliche Bezeichnung	Oberboden	Auffüllun-gen	fluviatile Talablage-rungen	Lösslehme (Weichsel - Kaltzeit)	Geschiebe-lehme / -mergel (Saale - Kaltzeit)	Becken-schluff (Saale - Kaltzeit)	Tonmergel / Tonstein (Jura, Lias) hier: oberste Verwitte-rungsrinde in Form von Tonen
4	Bodengruppe (DIN 18196)	OU, OH, (UL)	sehr hetero-gen: s. Kapitel 3.1	UL, (SU*, OU, UM)	UL, (UM, TM, OU)	TM, (UM, GU, GU*, GT*)	UL, UM	TM, (GU*)
5	Korngrößenver-teilungen/Boden-arten	U, t', s - s*, g', h' - h* bis S, u', g'', h	T, u, s‘ - s*, g‘‘ - g, h‘‘ bis U, t‘ - t, s - s, g‘‘ - g, h‘‘ bis G, s - s*, u‘‘ - u*, h	U, t‘ - t, s - s*, g‘, h‘ - h* (S, u)	U, t‘ - t, s‘ - s*, g‘ - g, (h‘‘- h)	T, s - s*, g‘ - g, u‘ (G, t*, u‘ - u, s - s*) (U, t, s‘)	U, t‘ - t, s - s*, g‘ - g*	T, u‘ - u*, s - s* (G, s, u, t‘)
6	Anteil Steine und Blöcke [%]	0 - 10	0 - 15	5 - 10	0 - 5	10 - 20	5 - 10	10 - 20
7	Anteil große Blö-cke [%]	0 - 1	0 - 2	0 - 5	0 - 1	5 - 15	0 - 5	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 - 2,0	1,9 - 2,0	1,9 - 2,1
9	Undränierte Scherfestigkeit c_u [kN/m²]	-	sehr hetero-gen: s. Kapitel 3.1	20 - 150	20 - 150	60 - 400	60 - 200	150 - 400

Parameter		Schicht I:	Schicht II:	Schicht III:	Schicht IV:	Schicht V:	Schicht VI:	Schicht VII:
10	Wassergehalt [%]	5 - 15	10 - 30	10 - 30	15 - 25	15 - 25	10 - 30	20 - 40
11	Konsistenz	-	Lehmanteile: steif; (halbfest - fest)	weich - steif	weich - steif (steif bis halbfest)	(weich -) steif (- halbfest)	steif, (weich - steif, steif - halbfest	halbfest - fest
12	Konsistenzzahl I_c [-]	-	Lehmanteile: 0,75 - >1,00	0,50 - 1,00	0,50 - 1,00	0,75 - 1,00	0,75 - 1,00	> 1,00
13	Plastizitätszahl I_p [-]	-	Lehmanteile: 0,04 - 0,25	0,04 - 0,10	0,05 - 0,10	0,15 - 0,25	0,04 - 0,10	0,15 - 0,30
14	Lagerungsdichte bzw. Lagerung	-	Kiesanteile: locker - mitteldicht	Sandlinse: locker - maximal mitteldicht	-	Kiesanteile: mitteldicht	-	-
15	Organischer Anteil v_{gl} [%]	2 - 10	0 - 5	0 - 5	0 - 3	0 - 2	0 - 2	-
16	Kalkgehalt [/]	-	-	-	-	Geschiebelehme: kalkfrei Geschiebemergel: kalkhaltig	-	-
17	Wichte γ_k [kN/m³]	15 - 17	18 - 20	18 - 19	18 - 19	18 - 19	18 - 19	18 - 20
18	Reibungswinkel φ'_k [Grad]	-	27,5 - 32,5	27,5 - 30,0	27,5 - 30,0	25,0 - 27,5	27,5 - 30,0	25,0 - 30,0
19	Kohäsion c'_k [kN/m²]	-	0 - 10	3 - 5	3 - 5	8 - 10	3 - 5	10 - 20
20	Steifeziffer $E_{s,k}$ [MN/m²]	-	5 - 10	5 - 10	3 - 7	10 - 30	10 - 25	20 - 60
21	Probenbezeichnung chemische Analysen	MP Q6 MP Q10 MP N1 MP G1 MP G5	MP Q1 EP Q3 MP Q4 MP Q5 EP S6 EP S7 MP S3 MP S4 MP S5	MP Q5 MP Q7	EP Q9 MP Q11 MP N2 MP G2 MP G3 MP G7	MP Q12 MP N3 MP G4 MP G8	MP G9	MP Q7 MP Q8 MP Q12

Parameter		Schicht I:	Schicht II:	Schicht III:	Schicht IV:	Schicht V:	Schicht VI:	Schicht VII:
			EP G6					
22	Einbauklasse nach LAGA (ungünstigst)	Z 2 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 2	Z 1.1 Z 0 Z 1.2 Z 0 Z 2 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.1 Z 0 Z 1.1	Z 0 Z 0	Z 1.2 Z 0 Z 0 Z 0 Z 0 Z 0	Z 1.2 Z 1.1 Z 1.1 Z 1.2	Z 2	Z 0 Z 2 Z 1.2
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 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

3.8 Chemische Untersuchungen

Die gebundenen sowie ungebundenen Schichten 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.

3.8.1 Teer-/pechhaltige Bestandteile im Bindemittel

An den entnommenen Bohrkernen wurde jeweils ein Nachweis auf teer-/pechhaltige Bestandteile im Bindemittel mittels Farbindikationsverfahren nach FGSV-Arbeitspapier 27/2 durchgeführt (vgl. Anlage 2) und eine quantitative Bestimmung der PAK- und Phenolgehalte vorgenommen (vgl. Anlage 4.1). Die Tabelle 11 fasst die Analyse auf teer-/pechhaltige Bestandteile zusammen.

Tabelle 11: Ergebnisse der Analyse auf teer-/pechhaltige Bestandteile

Bohrkern [n]	**Gesamtstärke des Bohrkerns** [cm]	**Nachweis auf teer-/ pechhaltige Bestandteile** (**)		**Abweichende Proben-bezeichnung** [n]	**Verwertungs-klasse** gemäß RuVA-StB 01	**Abfall-schlüssel** gemäß AVV
		[cm]	+/-			
BK G4	29,2	0,0 – 5,9	negativ	BK G4.1	A	17 03 02
		5,9 – 13,1	negativ	BK G4.2	A	17 03 02
		13,1 – 16,2	negativ	BK G4.3	A	17 03 02
		16,2 – 29,2	n.e.	BK G4.4	A	17 03 02
BK G6	6,2	0,0 – 1,4	negativ	BK G6.1	A	17 03 02
		1,4 – 4,4	negativ	BK G6.2	A	17 03 02
		4,4 – 6,2	positiv	BK G6.3	A	17 03 02

(**) mittels Farbindikationsverfahren Analyse geprüft n.e. = nicht eindeutig

Die durchgeführten Untersuchungen nach RuVA-StB 01 an den aufgelisteten Bohrkernen (siehe Tabelle 11) stellen eine stichprobenartige Untersuchung des gesamten Untersuchungsabschnittes dar.

In Bereichen von Ausbesserungsstellen, Aufgrabungen, alten Asphaltdecken, etc. besteht die Möglichkeit einer abweichenden PAK-Belastung bzw. Verwertungsklasse im Ausbaumaterial.

Es wird empfohlen, beim Ausbau der Asphaltbefestigung die aufgenommenen Materialien kontinuierlich einer organoleptischen Prüfung zu unterziehen und ggf. durch den Schnelltest mittels Farbindikationsverfahren gemäß dem FGSV-Arbeitspapier 27/2 auf eventuell mögliche Belastungsbereiche zu überprüfen.

3.8.2 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 12):

Tabelle 12: Probenzusammenstellung

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
MP G1	G1.1 G2.1 G3.1 G4.1 G5.1	0,00 – 0,32 0,00 – 0,47 0,00 – 0,44 0,00 – 0,18 0,00 – 0,41	Oberboden, Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP G2	G1.2 G2.2 G3.2 G4.2 G5.2 – G5.3	0,32 – 3,50 0,47 – 3,70 0,44 – 4,00 0,18 – 4,30 0,41 – 4,10	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP G3	G1.3 G3.3	3,50 – 4,60 4,00 – 4,40	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP G4	G1.4 – G1.5 G2.3 – G2.4 G3.4 – G3.5 G4.3 – G4.4 G5.4 – G5.5	4,60 – 6,30 3,70 – 5,10 4,40 – 6,20 4,30 – 6,00 4,10 – 7,20	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP G5	G7.1 G8.1 G9.1 G10.1	0,00 – 0,14 0,00 – 0,14 0,00 – 0,08 0,00 – 0,31	Oberboden	LAGA-Boden / DepV
EP G6	G6.1	0,06 – 0,25	Auffüllung Kies, Schlacke, Felsbruch, Asphaltbruch <10%	LAGA-Bauschutt / DepV
MP G7	G6.2 – G6.3 G7.2 – G7.3 G8.2 G9.2 – G9.3 G10.2	0,25 – 4,70 0,14 – 3,90 0,14 – 3,10 0,08 – 3,00 0,31 – 3,70	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP G8	G6.4 G7.4 G8.3 – G8.4 G9.4 G10.3 – G10.4	4,70 – 7,60 3,90 – 6,00 3,10 – 7,20 3,00 – 7,70 3,70 – 6,90	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP G9	G6.5 G7.5 – G7.7 G8.5 G9.5 G10.5 – G10.6	7,60 – 8,10 6,00 – 7,90 7,20 – 7,70 7,70 – 8,30 6,90 – 9,00	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP Q1	Q1/1.1 – Q1/1.3 Q1/2.1	0,00 – 0,44 0,00 – 0,23	Auffüllung Kies, Asphaltbruch, Flusskies, Felsbruch, Keramik, Organik	LAGA-Bauschutt / DepV
EP Q2	Q1/1.4	0,44 – 0,70	Auffüllung Sand	LAGA-Boden / DepV

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
EP Q3	Q1/2.2	0,23 – 0,74	Auffüllung Kies, verlehmter Felsbruch	LAGA-Boden / DepV
MP Q4	Q1/2.3 Q2.2 – Q2.3 Q3.2 Q4.2 – Q4.3 Q5.2	0,74 – 3,00 0,27 – 2,90 0,38 – 3,10 0,18 – 4,50 0,22 – 0,87	Auffüllung Schluff, gerundete Kiese Auffüllung Ton, Bauschutt <10%	LAGA-Boden / DepV
MP Q5	Q1/2.4 – Q1/2.5 Q2.4 Q3.3 Q4.4 – Q4.6	3,00 – 6,00 2,90 – 8,00 3,10 – 6,00 4,50 – 8,30	Auffüllung Schluff, Organik, Flusskies	LAGA-Boden / DepV
MP Q6	Q2.1 Q3.1 Q4.1 Q5.1	0,00 – 0,27 0,00 – 0,38 0,00 – 0,18 0,00 – 0,22	Oberboden, Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP Q7	Q2.5 Q5.4 – Q5.5	8,00 – 11,50 2,10 – 5,50	Schluff Sand	LAGA-Boden / DepV
MP Q8	Q2.6 – Q2.7 Q4.7 Q5.6	11,50 – 12,30 8,30 – 8,80 5,50 – 6,00	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP Q10	Q7.1 Q8.1 – Q8.2	0,00 – 0,21 0,00 – 0,80	Oberboden, Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP Q11	Q7.2 – Q7.3 Q8.3	0,21 – 2,10 0,80 – 3,30	Schluff	LAGA-Boden / DepV
MP Q12	Q6.6 – Q6.7 Q7.4 – Q7.5 Q8.4 – Q8.6	1,00 – 5,00 2,10 – 6,00 3,30 – 6,10	Ton Kies	LAGA-Boden / DepV
MP S3	S1.3 Q6.3 S2.3	0,40 – 0,60 0,38 – 0,60 0,40 – 0,60	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP S4	S1.4 Q6.4 S2.4	0,60 – 0,80 0,60 – 0,80 0,60 – 0,80	Ton	LAGA-Boden / DepV
MP S5	S1.5 Q6.5 S2.5	0,80 – 1,00 0,80 – 1,00 0,80 – 1,00	Ton	LAGA-Boden / DepV
EP S6	Q6.1	0,00 – 0,24	Oberboden Schluff, Ziegelbruch	LAGA-Bauschutt / DepV
EP S7	Q6.2	0,24 – 0,38	Auffüllung Kies, Ziegelbruch	LAGA-Bauschutt / DepV
MP N1	N3.1 N4.1	0,00 – 0,30 0,00 – 0,41	Oberboden, Schluff Oberboden, Sand	LAGA-Boden / DepV
MP N2	N3.2 N4.2	0,33 – 2,90 0,41 – 2,60	Schluff	LAGA-Boden / DepV

Proben-bezeichnung (*)	Zusammensetzung (RKB, Einbaulage)	Teufe von - bis [m]	Material	Untersuchungsumfang
MP N3	N3.3 – N3.4 N4.3 – N4.5	2,90 – 8,70 2,60 – 7,80	Ton	LAGA-Boden / DepV

(*) EP = Einzelprobe; MP = Mischprobe

3.8.2.1 LAGA-Bauschutt

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen nach LAGA-Bauschutt sind in den Anlagen 4.2 und 4.4 den Zuordnungswerten Z 0 bis Z 2 gegenübergestellt. Daraus lassen sich folgende Zuordnungsklassen (siehe Tabelle 13) gemäß LAGA-Bauschutt ableiten.

Tabelle 13: Deklarationsanalyse nach LAGA-Bauschutt

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Zuordnungsklasse		Einbauklasse
	Feststoff	Eluat	
EP G6	Kupfer, $\sum PAK_{16}$	-	**Z 1.1**
MP Q1	$\sum PAK_{16}$	-	**Z 1.1**
EP S6	$\sum PAK_{16}$	-	**Z 2**
EP S7	$\sum PAK_{16}$	-	**Z 1.1**

3.8.2.2 LAGA-Boden

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen nach LAGA-Boden sind in den Anlagen 4.5 bis 4.14 den Zuordnungswerten Z 0 bis Z 2 gegenübergestellt. Es lassen sich folgende Zuordnungsklassen (siehe Tabelle 14) gemäß LAGA-Boden (2004) ableiten.

Tabelle 14: Deklarationsanalyse nach LAGA-Boden (2004)

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Zuordnungsklasse		Einbauklasse
	Feststoff	Eluat	
MP G1	TOC	-	**Z 1.1**
MP G2	-	-	**Z 0**
MP G3	-	-	**Z 0**
MP G4	TOC	-	**Z 1.1**

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Zuordnungsklasse		Einbauklasse
	Feststoff	Eluat	
MP G5	$\sum PAK_{16}$	-	**Z 2**
MP G7	-	-	**Z 0**
MP G8	-	Sulfat	**Z 1.2**
MP G9	Arsen	-	**Z 2**
EP Q2	Arsen	-	**Z 1.1**
EP Q3	-	-	**Z 0**
MP Q4	-	Sulfat	**Z 1.2**
MP Q5	-	-	**Z 0**
MP Q6	TOC	-	**Z 2**
MP Q7	-	-	**Z 0**
MP Q8	-	Sulfat	**Z 2**
MP Q10	TOC	-	**Z 1.1**
MP Q11	-	-	**Z 0**
MP Q12	-	Sulfat	**Z 1.2**
MP S3	TOC	-	**Z 1.1**
MP S4	TOC	-	**Z 1.1**
MP S5	-	-	**Z 0**
MP N1	TOC	-	**Z 1.1**
MP N2	-	-	**Z 0**
MP N3	Arsen	-	**Z 1.1**

3.8.2.3 Deponieverordnung (DepV)

In den Anlagen 4.15 bis 4.23 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 15 entnommen werden.

Tabelle 15: Deklarationsanalyse nach DepV

Proben-bezeichnung	Ursachen für die Deponieklasse		Deponieklasse gem. DepV	Abfallschlüssel gem. AVV
	Feststoff	Eluat		
MP G1	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP G2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP G3	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP G4	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP G5	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP G6	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP G7	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP G8	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP G9	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP Q1	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP Q2	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
EP Q3	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP Q4	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP Q5	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP Q6	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP Q7	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP Q8	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP Q10	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP Q11	-	-	**DK 0**	**17 05 04**
MP Q12	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP S3	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP S4	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
MP S5	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP S6	-	-	**DK 0°**	**17 05 04**
EP S7	-	-	**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**

° : Zulässige Anpassungen der Deponieklassen, die z. T. einer behördlichen Zustimmung bedürfen, können den Anlagen 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 und 4.23 entnommen werden.

4 Gutachterliche Empfehlungen

4.1 Errichtung Gleistrasse

Zur Veranschaulichung der für den Gleisbau relevanten Baugrundschichten, wurden in den Anlagen 3.6 bis 3.9 geotechnische Systemschnitte der Baugrundschichtung im Bereich der Gleistrasse angefertigt (vgl. Kapitel 3.4). Darüber hinaus wurde in den Schnitten die Trassengradiente und die durch [3] und [4] ermittelten Bemessungswasserstände zusätzlich mit eingetragen. Die geotechnischen Systemschnitte stellen dabei folgende Bereiche dar:

- **Geotechnischer Systemschnitt A - A (Anlage 3.5)**
  Bohr- / Sondierprofile: DPH/RKB Q 1/2 - DPH/RKB Q 2 - DPH/RKB Q 3 - DPH/RKB Q 4 - DPH/RKB Q 5
- **Geotechnischer Systemschnitt B - B (Anlage 3.6)**
  Bohr- / Sondierprofile: RKB Q 5 - DPH/RKB Q 6 - DPH/RKB Q 7 - DPH/RKB Q 8 - RKB N 1 - RKB N 5
- **Geotechnischer Systemschnitt C - C (Anlage 3.7)**
  Bohr- / Sondierprofile: RKB N 5 - RKB N 3 - RKB N 4 - RKB N 2 - DPH/RKB G 1 - DPH/RKB G 2 - DPH/RKB G 3 - DPH/RKB G 4 - RKB G 5
- **Geotechnischer Systemschnitt D - D (Anlage 3.8)**
  Bohr- / Sondierprofile: - DPH/RKB G 5 - DPH/RKB G 6 - DPH/RKB G 7 - DPH/RKB G 8 - DPH/RKB G 9 - DPH/RKB G 10

4.1.1 Bautechnische Hinweise Gleistrassenbau

Grundsätzlich ist das Erdbauwerk der Gleistrasse so zu dimensionieren, dass infolge der Eigenlast des Bahnkörpers und der Last aus der Befahrung der Schienen, im Endausbau keine unverträglichen Setzungen verursacht werden. Außerdem ist auf einen frostsicheren Aufbau des Bahnkörpers zu achten. Der äußerst wasser- und setzungsempfindliche Untergrund ist vor einer negativen Beeinflussung aus dynamischen Lasteinträgen durch die Befahrung der Trasse zu schützen [vgl. 3]. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass die Errichtung der Bahntrasse möglichst ressourcenschonend

erfolgt. Ziel ist es, die vor Ort anstehenden Böden möglichst wiederzuverwenden anstelle sie abzufahren und durch Primärmaterial zu ersetzen. Neben der Errichtung der Bahntrasse werden bauzeitlich auch Baustraßen parallel zu der Bahntrasse entstehen. Diese werden abschnittsweise auch dauerhaft als Straßen ausgebaut.

Aus den vorgenannten Gründen bietet es sich daher an, die **Gleistrasse** wie folgt aufzubauen:

Tabelle 16: Aufbau Gleistrassse

Aufbau (von oben nach unten):	**Dicke:**	**Material:**	**Geforderter Mindestverformungsmodul E_{v2}:**
Schottertragschicht	30 cm	z.B. Hartsteinbrüche der Korngrößenverteilungen 0/45 mm oder 0/56 mm mit einem maximal zulässigen Feinteilgehalt (d ≤ 0,063 mm) von 5 Gew.-%	120 MN/m²
Planumsschutzschicht (PSS)	20 cm		80 MN/m²
Trennvlies	-	-	-
Qualifizierte Baugrundverbesserung	60 cm (in 2 Lagen)	-	70 MN/m²

In der nachfolgenden Abbildung ist der während der Videokonferenz vom 24.02.2022 mit allen Projektbeteiligten abgestimmte Aufbau aus der zweilagigen, qualifizierten Bodenverbesserung, eines darüber liegenden Trennvlieses und der darüberliegenden Planumsschutzschicht und Schottertragschicht noch einmal skizziert.

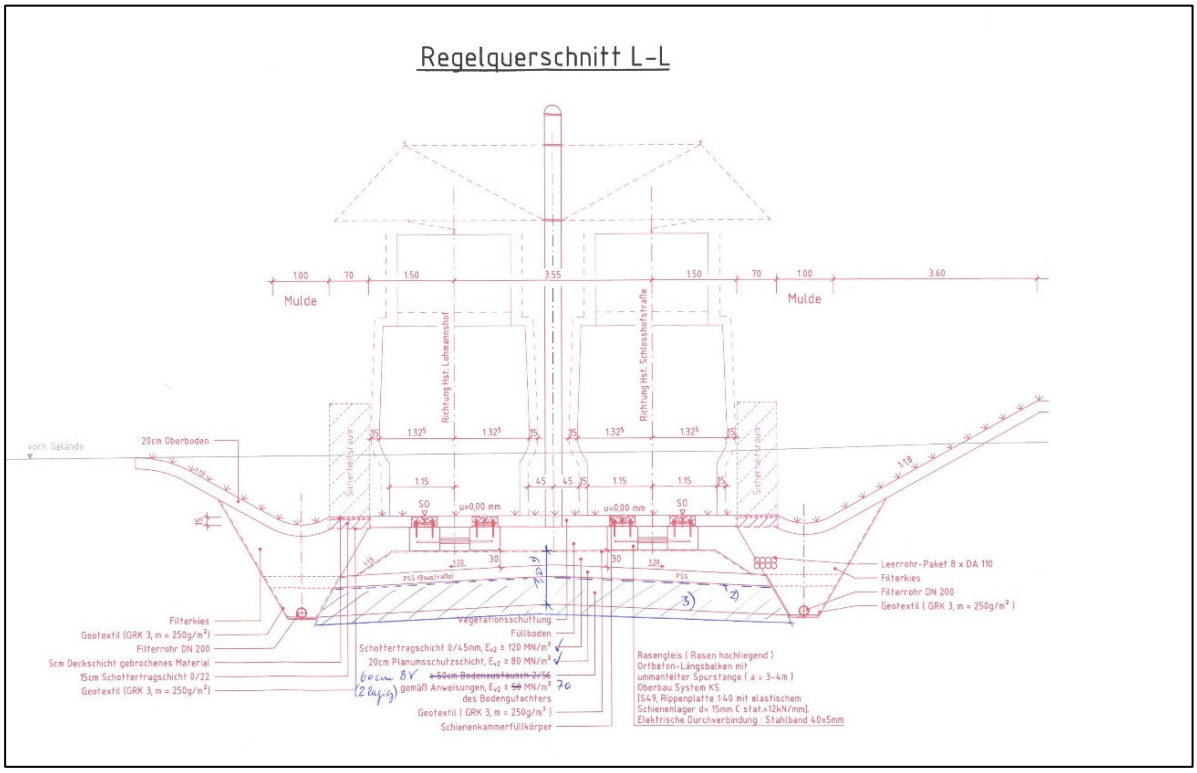


Abbildung 13: Systemskizze Regelquerschnitt Aufbau Gleistrasse

Der Aufbau besitzt dann eine Gesamtstärke von

$$d_{Gesamt} = 1{,}1 \text{ m.}$$

Ab der Schienenoberkante gerechnet wird die Unterkante der Baugrundverbesserung dann ca. in einer Tiefe von t = rd. 1,5 m unter Schienenoberkante liegen. Die verbesserte Bodenschicht wird annähernd wasserundurchlässig sein, sodass anfallendes Wasser dann oberhalb dieser Schicht den seitlichen Drainagesträngen zufließen wird.

Hinweis qualifizierte Verbesserung der Böden mit Bindemittel:

Die Anlage 7.2 enthält bespielhaft Proctorkurven gemäß der DIN 18127 für die Lösslehme sowie für die aufgefüllten Lehme. Gemäß den bestimmten Wassergehalten gemäß der DIN 18121 der Anlage 7.1 besitzen die Lösslehme bzw. die aufgefüllten Lehme Wassergehalte in einem Spektrum von w = 13,4 % bis 22,6 %. Der optimale Wassergehalt (D = 100 % der einfachen Proctordichte D_{Pr}) liegt bei w = 11,0 % bis

13,3 %, was auf eine qualifizierte Bodenverbesserung mit einer voraussichtlichen Bindemittelzugabe in einer Menge von 3 - 6 Gew.-% schließen lässt. Geeignete Bindemittel sind Mischbinder in einem Verhältnis von z.B. 50 % Weißfeinkalk + 50 % Zement oder 30 % Weißfeinkalk + 70 % 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 60 cm dicke, qualifizierte Bodenverbesserung muss in zwei Lagen à d = 30 cm erfolgen. Dazu ist das Planum im Bereich der Gleistrasse somit bis rd. 1,2 m gerechnet ab der Schienenoberkante abzutragen. Auf dem dann entstandenen Planum kann die erste 30 cm mächtige Lage der qualifizierten Bodenverbesserung unmittelbar im Baumischverfahren (mixed in place) hergestellt werden.

Die beschriebene Aushubsohle (Oberkante erste Lage qualifizierte Baugrundverbesserung = 1,2 m unter Schienenoberkante) ist in den geotechnischen Systemschnitten ebenfalls mit eingetragen.

Laut den Informationen des Auftraggebers wurde eine beschriebene Baugrundverbesserung im Bereich der am Beginn der Trasse liegenden Haltestelle „Lohmannshof“ seinerzeit durchgeführt. Durch den Straßenbahnverkehr kam es dann zu außergewöhnlich hohen Lärmpegeln in dem umliegenden Bereich. Als Lärmursache wurde die Baugrundverbesserung / Verfestigung genannt. Da aufgrund der Nähe zu der geplanten Stadtbahnverlängerung damit zu rechnen ist, dass sich die natürliche Baugrundschichtung in den bestehenden und geplanten Abschnitten stark ähnelt, können wir nicht ausschließen, dass es bei der Wahl einer Baugrundverbesserung mittels Bindemittel nicht auch zu einer ähnlichen Geräuschentwicklung kommt.

Um der Geräuschentwicklung entgegen zu wirken, bietet es sich daher an analog zu der Sanierung im Bereich der Haltestelle „Lohmannshof“ in regelmäßigen Abständen Querschläge in dem bindemittelverbesserten Boden aus Schotter (z.B. Hartsteinbrüche der Korngrößenverteilungen 0/45 mm oder 0/56 mm mit einem maximal zulässigen Feinteilgehalt (d ≤ 0,063 mm) von 5 Gew.-%) anzuordnen.

Bereiche Baustraßen:

Beidseitig der Gleistrasse sind mit Verweis auf die Abbildung 14 dauerhafte Straßen geplant. Es bietet sich an, diese möglichst frühzeitig - noch vor Aufnahme der umfangreichen Bodenabtragsarbeiten im Bahnbereich und vor Verlegung der in den Seitenbereichen anzuordnenden Kanalisation - zu Baustraßen auszubauen.

Um stabile **Baustraßen** zu erzielen, bietet sich ebenfalls eine qualifizierte Baugrundverbesserung mit Bindemittel analog zu der Gleistrasse an. Der Aufbau für die Baustraßen sieht dann wie folgt aus:

Tabelle 17: Aufbau Baustraßen

Aufbau (von oben nach unten):	**Dicke:**	**Material:**	**Geforderter Mindestverformungsmodul E_{v2}:**
Schottertragschicht	30 cm	z.B. Hartsteinbrüche der Korngrößenverteilungen 0/45 mm oder 0/56 mm mit einem maximal zulässigen Feinteilgehalt (d ≤ 0,063 mm) von 5 Gew.-%	100 MN/m²
Trennvlies	-	-	-
Qualifizierte Baugrundverbesserung	40 cm (in 1 Lage)	-	70 MN/m²

In der nachfolgenden Abbildung ist der Aufbau aus der einlagigen, qualifizierten Bodenverbesserung, eines darüber liegenden Trennvlieses und der darüberliegenden Schottertragschicht noch einmal skizziert.

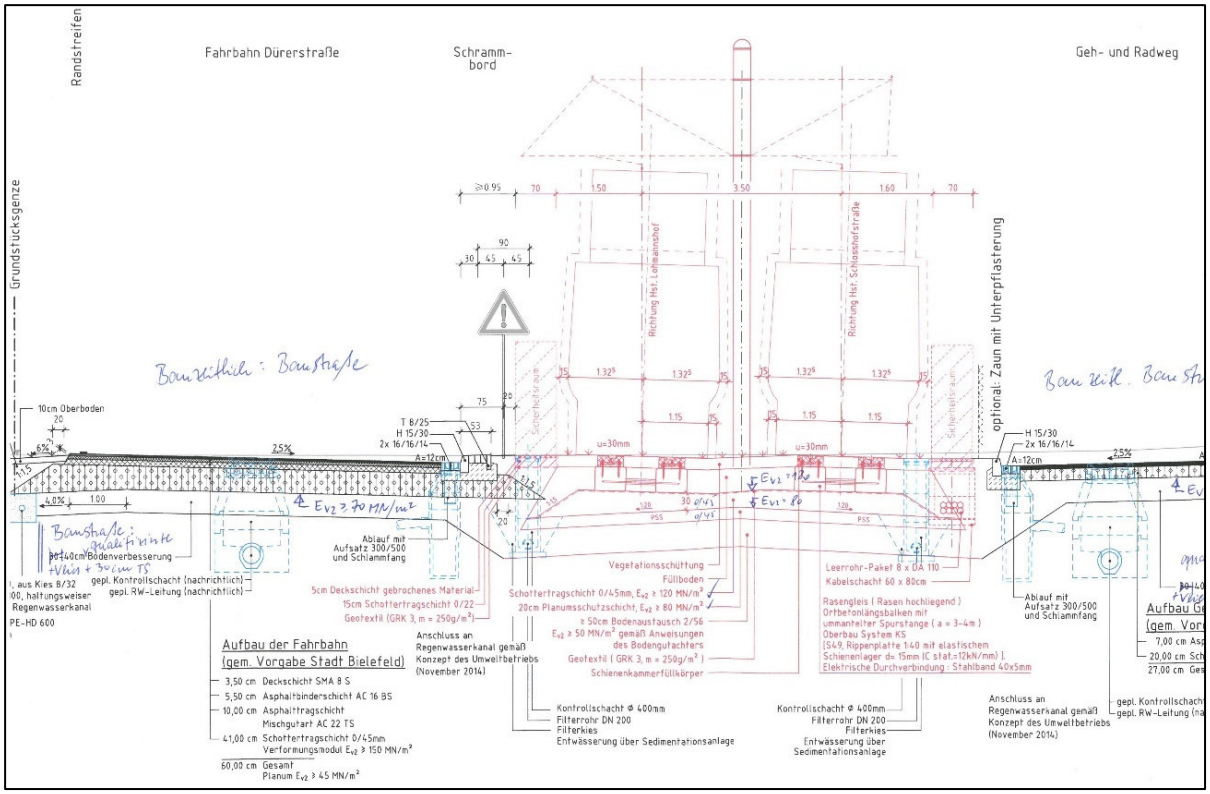


Abbildung 14: Systemskizze Regelquerschnitt Aufbau Baustraßen

Da die Baustraßen einem starken Verschleiß ausgesetzt sein werden, ist damit zu rechnen, dass mindestens die obersten 10 cm der Tragschicht wegen Verschmutzungen gegen frisches Material ausgetauscht werden müssen.

Auf der späteren Schotteraustauschschicht ist im Zuge der endgültigen Straßenerstellung die Ergänzung des ungebundenen Oberbaus auf insgesamt d = 41 cm Schottertragschicht und die Aufbringung des Asphaltoberbaus vorzunehmen.

4.1.2 Beschaffenheit der Abtragböden

Unter Berücksichtigung der beschriebenen voraussichtlichen Aushubsohle (= OK erste Lage der qualifizierten Baugrundverbesserung) von

d = 1,2 m

werden im Zuge der **Auskofferungsarbeiten** mit Verweis auf die Anlagen 3.6 bis 3.9 überwiegend folgende Böden anfallen:

- **Oberboden (Schicht I):**
  - zuoberst im Bereich der meisten Untersuchungspunkte (vgl. Kapitel 3.3)
- **Auffüllungen (Schicht II):**
  - Untersuchungspunkte Q1 bis Q6, G6
- **Lösslehme (Schicht IV)**
  - Untersuchungspunkte Q5 bis G10.

Untergeordnet werden auch die Schichten

- **Fluviatile Talablagerung (Schicht III):** Untersuchungspunkt Q5
- **Geschiebelehme / -mergel (Schicht V)**: Untersuchungspunkte Q6, Q7, N1, N4
- **Tonmergel / Tonstein (Schicht VII):** möglicherweise Untersuchungspunkt RKS 7 (vgl. Gutachten [3])

partiell angeschnitten. Insgesamt sind diese bezogen auf die Aushubmassen jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Die Oberbodenschicht mit Mächtigkeiten von im Mittel rd. 20 cm bis 30 cm muss vor Aufnahme der Tiefbauarbeiten abgeschoben und seitlich zwischengelagert werden. Oberböden lassen sich aufgrund der hohen Organikbestandteile für den planmäßigen Erdbau nicht wiederverwerten. Die Oberböden sind auf gesonderte Mieten zu fahren und nur locker mit dem Bagger zu schütten, sodass die biologische Aktivität und der Gasaustausch auch weiterhin möglich sind. Es empfiehlt sich, die Arbeiten nur bei trockener Witterung durchzuführen. Die Lage der Bodenmiete ist so zu wählen, dass sie außerhalb des Einflusses von Staunässe liegt (keine Lagerung in Geländemulden).

Gemäß der DIN 19731 darf die Schütthöhe der Bodenmiete maximal 2,0 m betragen. Die Oberfläche sollte eine Neigung von mindestens 4 % besitzen (ideal: steile Trapezform). Die Bodenmiete ist vor Vernässung und Verdichtung zu schützen. Es können beispielsweise auch Entwässerungsgräben zusätzlich angelegt werden. Die Bodenmiete ist unverzüglich mit winterharten, tiefwurzelnden, stark wasserzehrenden Pflanzen (bei Lagerungsdauer > 6 Monaten) zu begrünen.

Darunter folgen dann im Bereich der Untersuchungspunkte Q1 bis Q5 überwiegend die Auffüllungen („Bodendeponie“) der Schicht II sowie zwischen den Punkten Q5 bis zum Ende der Trasse überwiegend die Lösslehme der Schicht IV. Nur partiell wird geringfügig auch in die fluviatilen Talablagerungen, Geschiebelehme / - mergel sowie möglicherweise auch in den Tonmergel eingeschnitten. Die detaillierte Beschreibung der Böden ist dem Kapitel 3.3 zu entnehmen. Grundsätzlich empfehlen wir, die Böden im gesamten Baufeld selektiv nach ihren Beschaffenheiten zu gewinnen.

4.1.3 Wiederverwertbarkeit Aushubmaterial der Abtragstrecken

Wie bereits beschrieben darf die Oberbodenschicht aufgrund ihrer organischen Bestandteile nicht überbaut werden. Sie kann bspw. für Andeckungsarbeiten z.B. im Bereich von den geplanten Sichtschutzwällen, Geländeprofilierungen sowie im Bereich des geplanten Regenrückhaltebeckens wiederverwertet werden.

Wie bereits in dem Kapitel 4.1.2 beschrieben wurde, werden im Bereich der geplanten Trasse vorwiegend die

- **Lösslehme der Schicht IV**

sowie die

- **Auffüllungen der Schicht II**

abgetragen. Darüber hinaus werden auch die Geschiebelehme- / mergel sowie untergeordnet auch die fluviatilen Talablagerungen und möglicherweise partiell der Tonmergel angeschnitten. Zusammenfassend handelt es sich bei den beschriebenen Böden um überwiegend bindige, feinkörnige Böden.

Die Abtragböden sollen dabei möglichst für den Bau von weiteren Erdbauwerken entlang der Trasse wie den Sichtschutzwällen, Geländeprofilierungen sowie für den Bau des Regenrückhaltebeckens wiederverwertet werden. **Die genauen Anforderungen an die Verwendung der Böden diesbezüglich sind den jeweiligen Teilgutachten zu entnehmen.**

Grundsätzlich werden die **Lösslehme der Schicht IV sowie die Auffüllungen** der beschriebenen „Bodendeponie“ (sofern diese verhältnismäßig homogen sind) für den Bau von Sichtschutzwällen, Geländeprofilierungen und dem Bau des Regenrückhaltebeckens geeignet sein.

Die Anlage 7.2 enthält bespielhaft Proctorkurven gemäß der DIN 18127 für die Lösslehme sowie für die aufgefüllten Lehme. Gemäß den bestimmten Wassergehalten gemäß der DIN 18121 der Anlage 7.1 besitzen die Lösslehme bzw. die aufgefüllten Lehme Wassergehalte in einem Spektrum von w = 13,4 % bis 22,6 %.

Der 95 % - Grenzwassergehalt (nasse Seite) liegt bei einem Mindestverdichtungsgrad von D ≥ 95 % der einfachen Proctordichte D_{Pr} (welcher die niedrigste hier mögliche Verdichtungsanforderung in Bezug auf die beschriebenen Erdbauwerke darstellt) bei w = 14,1 % bis 16,7 %, was eine

Bodenverbesserung (Bindemittelzugabe)

erfordert. Genaue Angaben zu Bindemittelzugabemengen und Mischungsverhältnissen sind grundsätzlich den jeweiligen spezifischen Teilgutachten zu entnehmen.

Die **Geschiebelehme / -mergel der Schicht V** sowie der vermutlich oberflächennah vollständig zu Ton zersetzte **Tonmergel der Schicht VII** sind aufgrund ihrer hohen Wassergehalte sowie ihrer hohen Tongehalte und der überwiegend steifen bis halbfesten Konsistenzen **schwierig aufzubereiten.** Sie werden sich nur unter mehrmaligen Fräsen zu einem homogenen, feinkrümeligen Boden - Bindemittelgemisch aufbereiten lassen. Trockene Böden müssen zur Sicherstellung von Tragfähigkeiten oder /

und Standsicherheiten (von Sichtschutzwällen) ggf. unter Wasserzugabe mit zementdominierten Bindern aufbereitet werden. Einbaurezepturen sind im Zuge von Eignungsprüfungen zu ermitteln.

Wird ein erhöhter Aufbereitungsaufwand nicht gewünscht und ist man auf eine Wiederverwertung der Böden der Schichten V und VII nicht zwangsläufig angewiesen, so empfiehlt sich ihre Abfuhr.

Bezüglich der chemischen Wiederverwertbarkeit der Entnahmeböden verweisen wir auf die Angaben des Kapitels 3.8.2.

4.1.4 Setzungsprognosen Gleistrasse

Nachfolgend soll für die geplante Gleistrasse eine Abschätzung der zu erwartenden Setzungen, welche durch das Eigengewicht des Bahnkörpers sowie durch die Verkehrslast der Schienenfahrzeuge entstehen werden, ermittelt werden. Dabei wird die ungünstigste Baugrundschichtung im Bereich des Untersuchungspunktes Q2 (Bereich „Bodendeponie“) berücksichtigt bzw. die am tiefsten reichenden Auffüllungen im Bereich der „Bodendeponie“ berücksichtigt. Folgende Kennwerte wurden für die Berechnungen für die Böden angesetzt:

- <u>Tragschicht + Planumsschutzschicht (bis - 0,9 m ab OK Gleise):</u>
  - Wichte: γ_k = 20 kN/m³
  - Wichte unter Auftrieb: γ'_k = 11 kN/m³
  - Winkel der inneren Reibung: φ_k = 40°
  - Kohäsion: c_k = 0 kN/m²
  - Steifemodul: $E_{s,k}$ = 40 MN/m²

- <u>qualifizierte Bodenverbesserung (bis - 1,5 m ab OK Gleise):</u>
  - Wichte: γ_k = 19 kN/m³
  - Wichte unter Auftrieb: γ'_k = 10 kN/m³
  - Winkel der inneren Reibung: φ_k = 27,5°
  - Kohäsion: c_k = 15 kN/m²

- Steifemodul: $E_{s,k}$ = 30 MN/m²

- <u>Auffüllungen (bis - 6 m ab OK Gleise):</u>
  - Wichte: γ_k = 19 kN/m³
  - Wichte unter Auftrieb: γ'_k = 10 kN/m³
  - Winkel der inneren Reibung: φ_k = 27,5°
  - Kohäsion: c_k = 3 kN/m²
  - Steifemodul: $E_{s,k}$ = 5 MN/m²

- <u>fluviatile Talablagerungen (bis - 12 m ab OK Gleise):</u>
  - Wichte: γ_k = 19 kN/m³
  - Wichte unter Auftrieb: γ'_k = 10 kN/m³
  - Winkel der inneren Reibung: φ_k = 27,5°
  - Kohäsion: c_k = 3 kN/m²
  - Steifemodul: $E_{s,k}$ = 10 MN/m²

- <u>Tonmergel, stark verwittert (> 12 m ab OK Gleise):</u>
  - Wichte: γ_k = 20 kN/m³
  - Wichte unter Auftrieb: γ'_k = 11 kN/m³
  - Winkel der inneren Reibung: φ_k = 27,5°
  - Kohäsion: c_k = 20 kN/m²
  - Steifemodul: $E_{s,k}$ = 40 MN/m²

Die Setzungs- und Grundbruchberechnung ist in der Anlage 8.1 dargestellt. Gemäß den Angaben der moBiel GmbH ergibt sich aus der zukünftigen Befahrung der Trasse eine maximale vertikale Verkehrslast von

q_k = rd. 30,5 kN/m²

auf einer Fläche von rd. 1,80 m x 8,75 m, welche auf den Untergrund wirkt. In dem Anlagenteil 8.1 wurde vereinfacht mit dem Berechnungsprogramm GGU - FOOTING

eine Grundbruch- und Setzungsberechnung für die ungünstigste Schichtung durchgeführt. Die Bahntrasse wird dabei vereinfachter Weise als ein Einzelfundament mit Abmessungen von 1,80 x 8,75 m dargestellt. Für die beschriebene Schichtung und die beschriebene Einwirkung ergeben sich dann Setzungen von schätzungsweise

s = rd. ≤ 0,5 cm.

Zusätzliche Sicherheiten resultieren aus den folgenden Gegebenheiten:

- Setzungsauslösend sind eigentlich nur über einen längeren Zeitraum einwirkende Lasten. Ein zügiges Überfahren der Trasse durch die Bahnen ist im Normalfall nicht setzungsrelevant. Ein längerer Halt oder bauzeitliche Belastungen durch z.B. Baustoffe oder schwere Baumaschinen kann zu Setzungen führen. Die Berechnung sind auf der sicheren Seite liegend für die Bemessungssituation BS-P (persistent; dauerhafte Bemessungssituation) durchgeführt worden.
- Grundsätzlich wird das Erdbauwerk überwiegend in das bestehende Gelände einschneiden und nur partiell über die derzeitige Fläche hinausragen (max. rd. 0,5 m). Durch das Lösen der natürlichen Mineralstoffe kommt es zu einer Aushubentlastung des gewachsenen Untergrundes. Da zwischen dem Erdaushub und der Einbau des Erdbauwerkes und der Gleistrasse somit überwiegend ein Massenausgleich stattfindet, ist nicht mit weiteren setzungsrelevanten Zusatzdrücken zu rechnen, welche aus dem Einbau der Mineralstoffe resultieren würden.

Die Berechnung gilt nicht für die unter Kapitel 1.1 beschriebene, geplante Geländeprofilierung im Bereich der „Geländesenke“ (vgl. Systemquerschnitt K - K [5]). Diese wird in dem Kapitel 4.2 gesondert betrachtet.

4.1.5 Bauzeitliche Wasserhaltung

Wie bereits in dem Kapitel 3.5 beschrieben wurde, wird die Aushubsohle der geplanten Trasse teilweise in Grund- und Schichtenwasser einbinden. Nachfolgende Empfehlungen beziehen sich auf die durch das Ingenieurbüro Schmidt & Partner GmbH ermittelten maximalen Bemessungswasserstände, welche weitestgehend durch die ermittelten Grundwasserstände bestätigt werden konnten. Die entsprechenden Bemessungswasserstände sind in den geotechnischen Systemschnitten der Anlagen 3.6 bis 3.9 zusätzlich mit dargestellt. Folgende Trassenabschnitte werden bezogen auf die Aushubsohle von t = rd. 1,2 m unter Schienenoberkante (= Oberkante erste Lage qualifizierte Baugrundverbesserung) und die ermittelten höchsten Bemessungswasserstände möglicherweise in das Grundwasser einbinden:

- **Station 25+380 bis 25+470:** Einschnitt in GW_{Bem} = maximal 0,3 m
- **Station 25+680 bis 26+150:** Einschnitt in GW_{Bem} = maximal 1,7 m
- **Station 26+250 bis 26+560:** Einschnitt in GW_{Bem} = maximal 0,8 m

Zusammenfassend wird die Trasse also im ungünstigsten Falle abschnittsweise um 0,3 m bis 1,7 m in das Grundwasser einbinden. Ziel der Wasserhaltung soll es sein, das Planum bauzeitlich vor einem Aufweichen durch Grund- und Schichtenwasser zu schützen. Darüber hinaus muss das Erdbauwerk für die Gleistrasse dauerhaft (im Endzustand) vor einem Einstau durch Grund-, Schichten- und Tagwasser geschützt werden.

Die dauerhafte Entwässerung des Bahnkörpers soll zum einen durch eine Seitenmulde zur Fassung und Ableitung von Oberflächenwasser und zum anderen durch eine darunter anzuordnende Tiefendränage in einem Dränkörper zur Ableitung von Bodenwasser bewerkstelligt werden. Es empfiehlt sich, die beiden Entwässerungssysteme voneinander dadurch zu entkoppeln, dass unmittelbar unter der Entwässerungsmulde ein fast wasserundurchlässiger Bodenkörper (aus z.B. verbesserten Böden) angeordnet wird. Dieser Bodenblock kann wegen seiner Festigkeit dann auch als tragfähiges Auflager für die neben der Bahn verlaufenden Kabel - Kanäle genutzt werden. Unter

dem quasi wasserundurchlässigen Bodenblock schließt sich der mit Dränschotter aufgefüllte Dränagegraben an.

Um die bauzeitliche Wasserhaltung während der Erdbauarbeiten sicherzustellen, bietet es sich an, vor Beginn der Aushubarbeiten Horizontaldränagen unterhalb der späteren dauerhaften Dränage einzubringen. Sie sind bis rd. 0,5 m unter das Niveau der qualifizierten Baugrundverbesserung einzubringen und verbleiben nach Beendigung der Baumaßnahme im Baugrund. Sie sind dann funktionslos und können verpresst werden. Das Wasser aus den bauzeitlichen Drainagestränge muss entweder im freien Gefälle einer Vorflut zugeführt werden oder alternativ müssen den Drainagesträngen zusätzlich Pumpensümpfe zwischengeschalten werden. Es empfiehlt sich, die Pumpensümpfe dann mit schwimmergesteuerten Tauchpumpen zu versehen.

Gemäß dem Gutachten [4] des Büros Schmidt & Partner ist bauzeitlich mit folgenden abzuführenden Wassermengen zu rechnen:

Ermittlung der abzuführenden Wassermengen

(1) bei maximalen Bemessungswasserstand

Station, von ... bis ...	Durchlässigkeits-beiwert	Höhe vorhandener GW-Spiegels, ab OK undurchlässige Schicht	Höhe abgesenkte GW-Spiegel ab OK undurchlässige Schicht	R (SICHARDT)		Graben-länge	Q_{ges} Gesamtwassermenge			
	kf [m/s]	H [m]	h_0 [m]	R [m]	Q [m^3/(s*m)]	l [m]	Q [m^3/s]	Q [m^3/h]	Q [m^3/a]	Q [l/s]
25+850 - 25+925	0,00001	2,4	0	22,77	1,26E-06	75	0,00009	0,34	2.992	0,09
26+150 - 26+250	0,000005	1,7	0	11,40	6,34E-07	100	0,00006	0,23	1.998	0,06
26+300 - 27+000	0,000005	1,5	0	10,06	5,59E-07	700	0,00039	1,41	12.340	0,39

Abbildung 15: Ermittlung abzuführender Wassermengen bei maximalen Bemessungswasserständen (Schmidt & Partner GmbH; vgl. [4])

Der Wasserandrang pro laufenden Meter wird demnach zwischen

$$\mathbf{Q = rd.\ 5{,}59 \times 10^{-7}\ bis\ 1{,}26 \times 10^{-6}\ m^3/\ (s \times m)}$$

liegen. Die Wassermengen beziehen sich dabei auf den höchsten ermittelten Bemessungswasserstand. Bei den mittleren Bemessungswasserständen wird sich der Wasserandrang noch einmal deutlich reduzieren (vgl. [4]). Die anfallenden Wassermengen

im Endausbau werden gemäß [4] ebenfalls geringer als die unter Abbildung 15 ermittelten Wassermengen ausfallen. Sie werden dann eher im Bereich von folgenden Wassermengen liegen:

(2) bei mittlerem Bemessungswasserstand

Station, von ... bis ...	Durchlässigkeits-beiwert	Höhe mittl. BWST über Aushubniveau	Höhe abgesenkte GW-Spiegel ab OK undurchlässige Schicht	R (SICHARDT)		Graben-länge	Q_{ges} Gesamtwassermenge			
	kf [m/s]	H [m]	h_0 [m]	R [m]	Q [m^3/(s*m)]	l [m]	Q [m^3/s]	Q [m^3/h]	Q [m^3/a]	Q [l/s]
26+200 - 26+250	0,0000005	0,8	0	1,70	9,42809E-08	50	0,00	0,02	149	0,00
26+400 - 26+500	0,0000005	0,5	0	1,06	5,89256E-08	100	0,00	0,02	186	0,01

Anm.: mittlerer Bemessungswasserstand liegt innerhalb der sehr gering durchlässigen Geschiebeablagerungen.

Abbildung 16: Ermittlung abzuführender Wassermengen bei mittleren Bemessungswasserständen (Schmidt & Partner GmbH; vgl. [4])

Der Wasserandrang pro laufenden Meter wird demnach zwischen

$$\mathbf{Q = rd.\ 5{,}78 \times 10^{-8}\ bis\ 9{,}43 \times 10^{-8}\ m^3/\ (s \times m)}$$

liegen.

Dadurch, dass sich die Einschnitttiefen im Bereich der Gleistrasse von rd. t = 1,6 m auf t = 1,2 m verringert haben, resultieren zu den durchgeführten Berechnungen der Schmidt & Partner GmbH zusätzliche Sicherheiten.

4.1.6 Bauzeitliche Baugrubenböschungen

Für die Gestaltung von flachen Gruben/Gräben gelten die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften und die DIN 4124. Bei freier Abböschung dürfen diese bis in Tiefen von t = 1,25 m vertikal abgeschachtet werden. Bei Tiefen zwischen 1,25 m und 1,75 m sind die obersten 50 cm unter β = 45° abzuböschen, darunter darf dann wieder vertikal abgeschachtet werden, sofern die Ränder frei von Lasten bleiben und kein Hangwasser auftritt.

Gruben/Gräben mit Tiefen > 1,75 m können innerhalb stark durchfeuchteter oder wassergesättigter Lehme mit minderer Konsistenz (weiche und breiige Konsistenzen) unter einer maximalen Neigung von β = 45° abgeböscht werden, sofern die Geometrie dies zulässt und die Baugrubenböschungen nicht im Einflussbereich von Bestandslasten

(Nachbargebäude, angrenzende Wege etc.) liegen. Im Bereich von Lehmen mit mindestens steifen Konsistenzen können die bauzeitlichen Baugrubenböschungen auch unter β = 60° abgeböscht werden. Gegebenenfalls sind die maximal zulässigen Böschungswinkel durch die Unterzeichner vor Ort festzulegen.

Ab einer Böschungshöhe von h > 5,0 m ist die Standsicherheit der Böschungen gesondert nachzuweisen.

4.2 Dammbau Geländemulde

Wie bereits in dem Kapitel 1.2 ausführlich geschildert wurde, wird im Bereich der Geländemulde ein entsprechender Geländeauftrag zur Errichtung der Bahntrasse in nördlicher Richtung erforderlich sein. Der geplante Dammaufbau ist in dem Kapitel 1.2 in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellt und beschrieben.

4.2.1 Geländeauftrag / Systemaufbau

Zur Schaffung eines ausreichend breiten Bahndammes muss das bestehende Gelände zur Talseite hin über eine keilförmige Geländeauffüllung erweitert werden. Aufgrund der Neigung von deutlich steiler als > 1 : 5 ist die bestehende Böschung (Neigung ca. β = 20°), auf die die zukünftige Erweiterung der Böschung aufgesetzt wird, in Anlehnung an die ZTVE-StB treppenförmig zu profilieren, um eine gute Verzahnung zwischen Bestand und neuem Dammbauwerk sicherzustellen bzw. eine ebene Gleitfuge auszuschließen. In der folgenden Abbildung 17 ist die treppenförmige Profilierung des bestehenden Geländes skizzenhaft dargestellt.

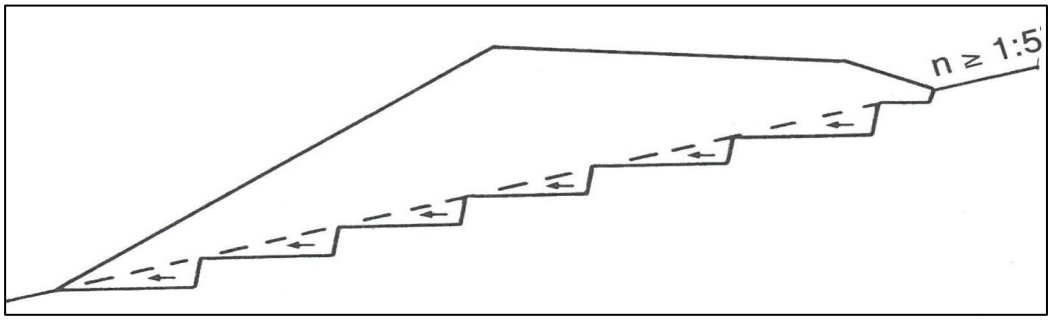


Abbildung 17: Dammschüttung auf geneigter Aufstandsfläche (aus Rudolf Floss: Handbuch zur ZTVE-StB, 4. Auflage)

Dabei sollte grob nach den folgenden Schritten vorgegangen werden:

- Abtrag des Oberbodens
- Treppenförmiger, leicht talwärts geneigter Einschnitt in das bestehende Gelände (Höhe der einzelnen Stufen ca. h = 60 cm)
- Entwässerung der treppenförmigen Einschnitte ist durch Quergefälle zu gewährleisten
- Nach jedem Einschnitt in das Bestandsgelände: lagenweiser Einbau und Verdichtung des Dammbaumaterials (d = rd. 25 – 30 cm)
- Nutzung der jeweils eingebauten Dammbaulagen als Arbeitsebene für die nächste Stufe
- Wiederholung der Schritte bis zum Erreichen der Endhöhe

Geeignete Dammbaustoffe sind generell alle gut kornabgestuften, gut verdichtbaren und scherfesten Felsbrüche der Körnungen 0/32 mm bis 0/63 mm. Der Feinanteil (d ≤ 0,063 mm) darf einen Maximalwert von 15 Gew.-% nicht überschreiten werden, sodass dann ein Dammbaustoff der Bodengruppe GU nach DIN 18196 vorliegt. Alternativ darf zur Herstellung des Dammes ebenfalls eine qualifizierte, lagenweise Bodenverbesserung mit Bindemittel in Anlehnung an die in dem Kapitel 4.1.1 beschriebene Baugrundverbesserung für die Errichtung der Gleistrasse und der Baustraßen eingesetzt werden.

Für die Dammbaulagen ist in Anlehnung an die ZTVE-StB ein Mindestverdichtungsgrad von

D ≥ 97 % der einfachen Proctordichte D_{Pr}

zu gewährleisten, was im Zuge des Einbaus stichprobenartig nachzuweisen ist. Die Prüfung der Dammbaulagen kann ersatzweise über dynamische / statische Plattendruckversuche erfolgen, wobei Mindestverformungsmodule von

E_{vd} ≥ 30 MN/m² bzw. E_{v2} ≥ 60 MN/m²

sicherzustellen sind.

Erfahrungsgemäß darf für die Felsbrüche bei ordnungsgemäßem verdichtetem Einbau von folgenden bodenmechanischen Kennwerten ausgegangen werden:

- Wichte: γ_k / γ'_k = 19 / 10 kN/m³
- Winkel der inneren Reibung: φ_k = 35,0°
- Kohäsion: c_k = 3 kN/m²
- Steifeziffer: $E_{s,k}$ = 30 MN/m²

Aufgrund der Mächtigkeit der Geländeanfüllung, ist mit Dammeigensetzungen sowie Konsolidierungssetzungen durch die zusätzliche Auflast aus den Dammbaustoffen zu rechnen. Daher empfehlen wir, die Geländeaufhöhung dem eigentlichen Bau des Trassenoberbaus

mindestens 6 Monate

vorauslaufen zu lassen, damit die Setzungsanteile größtenteils vorweggenommen werden. Es ist zu beachten, dass auch während der Bodenauftragsarbeiten bereits Setzungsvollzug entsteht. Es bietet sich ein frühzeitig zu betreibendes Setzungsmonitoring an. Sofern im Zuge dessen ein vollständiger Setzungsvollzug nachmessbar ist, kann auch von der Vorgabe, dass der Dammbau mit sechsmonatigem Vorlauf erfolgen soll, abgewichen werden.

Die zukünftigen Böschungen sind nicht steiler als unter einer Neigung von

β = 1 : 1,5 (ca. 33°)

auszubilden. Entsprechend der uns vorliegenden Planung werden die maximalen Böschungsneigungen β = ca. 30 ° betragen. Böschungen sind zum Schutz vor Erosion zeitnah zu begrünen. Falls absehbar ist, dass eine biologische Sicherung von Böschungsoberflächen vor dem Winter nicht möglich ist, muss zum Schutz vor unver-

meidbaren Erosionen durch Regen und Frost eine Sicherung mit Erosionsschutzmatten (aus Jute) erfolgen. Wird auf eine derartige Sicherung verzichtet, muss mit Böschungssanierungen nach dem Winter gerechnet werden.

4.2.2 Setzungsprognose Geländemulde

Für die bis zu maximal etwa 3,0 m hohe Geländeauffüllung werden sich Verformungen an der Geländeoberfläche (Setzungen) einstellen. Es sind die beiden Setzungsanteile

- Dammeigensetzungen und
- Konsolidierung der unterlagernden Böden (überwiegend Lehme)

zu unterscheiden.

Dammeigensetzungen:

Erfahrungsgemäß ist davon auszugehen, dass selbst bei sehr guter Verdichtung der Dammbaustoffe mit Verdichtungsgraden D ≥ 97% der einfachen Proctordichte D_{Pr} mit Dammeigensetzungen in der Größenordnung von etwa 0,2 bis 1,0 % zu rechnen ist. Für die maximal 3,0 m hohe Geländeauffüllungen werden sich demnach Eigensetzungen von schätzungsweise

$$\mathbf{s_{Damm} = rd.\ 0{,}6\ cm\ bis\ 3\ cm}$$

einstellen. Bei ordnungsgemäßem Einbau ist davon auszugehen, dass die Setzungen innerhalb der Auffüllmassen etwa 3 - 6 Monate nach Fertigstellung überwiegend abgeklungen sein werden.

Konsolidierung der unterlagernden Böden:

Aus der Geländeauffüllung mit einer maximalen Höhe von 3,0 m resultiert bei einer vereinfacht angenommenen Wichte von γ_k = 20 kN/m³ eine maximale Flächenlast von

$$\mathbf{p = 60\ kN/m^2}$$

auf den Untergrund. In dem Anlagenteil 8.2 wurde vereinfacht mit dem Berechnungsprogramm GGU - FOOTING eine Grundbruch- und Setzungsberechnung für die

Schichtung im Bereich des Untersuchungspunktes RK/DPH Q5 durchgeführt. Der Geländeauftrag wird dabei vereinfachter Weise als ein Streifenfundament dargestellt. Für die beschriebene Schichtung ergeben sich dann im ungünstigsten Fall Konsolidationssetzungen von schätzungsweise

$$\mathbf{s_{Lehm} = rd.\ 1{,}0\ cm\ bis\ 2{,}5\ cm.}$$

(bei einer angenommenen Dammkronenbreiten von 1,0 m bis 3,0 m). Auch die Konsolidationssetzungen der Lehme unter Auflast werden nach etwa 6 Monaten größtenteils vollzogen sein.

Wir empfehlen, das Abklingen der Setzungen durch ein baubegleitendes Setzungsmonitoring zu überwachen.

4.2.3 Nachweis der Böschungsbruchsicherheit

Im Anlagenteil 8.3 ist die äußere Standsicherheit der Bestandsböschung in Anlehnung an den Eurocode EC 7 für den Lastfall BS-P (ständige Bemessungssituation) für ein großräumiges Versagen auf kreiszylindrischen Bruchflächen (Böschungsbruch gem. DIN 4084) mit dem Verfahren nach BISHOP untersucht worden. Als Grundlage der Berechnungen dient der Systemschnitt K-K (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) des Ingenieurbüros Vössing mit einer sich anschließenden maximalen Böschungsneigung von $\beta = 30°$.

Gemäß den Angaben der moBiel GmbH ergibt sich aus der zukünftigen Befahrung der Trasse eine maximale vertikale Verkehrslast von

$$\mathbf{q_k = rd.\ 30{,}5\ kN/m^2,}$$

welche im Gleisbereich angesetzt wurde. In Anlehnung an die Ril 836 (Erdbauwerke planen, bauen, instandhalten) dürfen bei Standsicherheitsnachweisen für Dämme horizontale Belastungen aus dem Bahnverkehr vernachlässigt werden.

Durch Variation der Gleitkreismittelpunkte und Gleitkreisradien wurde mit Hilfe des Programms “STABILITY“ der GGU der Gleitkreis mit dem höchsten Ausnutzungsgrad ermittelt. In der Anlage 8.3 ist das System sowie der ungünstigste Gleitkreis mit einem Ausnutzungsgrad von

μ = 0,79

dargestellt.

Somit ist im vorliegenden Fall die äußere Standsicherheit für die Bemessungssituation BS-P (= ständige Bemessungssituation) unter Berücksichtigung der Verkehrslast gewährleistet und das System als

dauerhaft standsicher

zu bewerten.

4.3 Gründungsempfehlungen

4.3.1 Gründungsempfehlung Haltestellen „Lange Lage“ und „Schloßhofstraße“

Wie bereits in dem Kapitel 1.2 beschrieben wurde, werden die beiden geplanten Haltestellen „Lange Lage“ und „Schloßhofstraße“ als Hochbahnsteige ausgeführt. Die Haltestelle „Lange Lage“ wird dabei als Seitenbahnsteig und die Haltestelle „Schloßhofstraße“ als Mittelbahnsteig ausgebildet. Die Hochbahnsteige werden als Fertigteilkonstruktionen ausgebildet. Die Dachstützen der Haltestellenüberdachungen werden voraussichtlich mittels Köcherfundamenten gegründet [3].

Die Abbildung 4 sowie die Abbildung 5 zeigen die Situation im Bereich der beiden Haltestellen. Weitere Details zu der Planung liegen uns zum jetzigen Zeitpunkt nicht vor. Gemäß dem Gutachten [3] ist davon auszugehen, dass der Baugrund im Bereich der Haltestellen großflächig bis zur Basis der Erdbauwerke aufgenommen wird und zunächst analog zu dem Rest der Bahntrasse qualifiziert verbessert wird. Die Unterkanten der Bauteile werden dabei teilweise auf bzw. teils auch höher als die PSS zu

liegen kommen. Das wird insbesondere im Bereich der Haltestelle „Schloßhofstraße“ sein, da es sich bei der Haltestelle um einen Mittelbahnsteig handelt.

Nachfolgend werden zunächst für beide Haltestellen jeweils Grundbruch- und Setzungsberechnung für Einzel- und (Quasi-) Streifenfundamente im Bereich der ungünstigsten Schichtung durchgeführt. Dabei wird im Bereich der Haltestelle „Lange Lage“ eine rd. 50 cm mächtige Tragschicht unterhalb der Fundamente berücksichtigt, da die Gründungselemente des Seitenbahnsteiges hier auch außerhalb des Aufbaus der Gleistrasse liegen könnten. Eine genauere Dimensionierung muss in Abhängigkeit der tatsächlich anfallenden Lasten erfolgen bzw. ggf. weiter angepasst werden.

4.3.1.1 Gründungsempfehlung Haltestelle „Lange Lage“

Wie der Abbildung 5 zu entnehmen ist, wird das Niveau der geplanten Haltestelle „Lange Lage“, welche als Seitenbahnsteig ausgebildet wird, auf einer absoluten Höhe von

$$\mathbf{OK_{Bahnsteig} = rd.\ 118{,}4\ mNN}$$

liegen. Die Unterkanten der ebenfalls eingezeichneten Betonfertigteile, welche die Bahnsteige zu der Bahntrasse begrenzen, werden rd. 1,2 m tiefer auf einer absoluten Höhe von

$$\mathbf{UK_{Betonfertigteile} = rd.\ 117{,}2\ mNN}$$

liegen. Über die Gründungstiefen der (vermutlich Köcher-) Fundamente für die in der Mitte der Trasse liegenden Stützen der Bahnsteigüberdachungen sowie für die seitlich liegenden Haltestellenüberdachungen liegen uns keine genauen Informationen vor. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Gründungselemente geschätzt 1,0 m tiefer als das Umgebungsgelände liegen werden. Es ergeben sich somit geschätzte Gründungstiefen zwischen

$$\mathbf{UK_{Gründung} = 116{,}4 - 117{,}4\ mNN.}$$

Die ungünstigste Baugrundschichtung wird dabei im Bereich der Untersuchungspunkte N2 und N5 angetroffen.

Nachfolgende Berechnungen beziehen sich auf eine beispielhafte Flachgründung über

Streifen- und/oder Einzelfundamente

und einer

d = 50 cm mächtigen Bodenpolster /Tragschicht

zur Vergleichmäßigung des Baugrundes. Die Polster / Tragschichten führen neben einer optimalen Lastverteilung zur Reduzierung der setzungsrelevanten Böden und zur Verringerung von Setzungen bzw. Setzungsdifferenzen.

Bodenpolster müssen die Fundamente allseitig mindestens um den Betrag ihrer Einbaudicke überschreiten. Zur Herstellung der Polster sind grob- oder gemischtkörnige, gut kornabgestufte, verdichtungsfähige Mineralstoffe (z.B. Vorabsiebung der Körnungen 0/32 mm, 0/45 mm oder 0/56 mm) mit weniger als 5 Gew.-% Feinanteil (d ≤ 0,063 mm) zu verwenden. Die Mineralstoffe der Bodenpolster sind lagenweise in Dicken von maximal d_{max} = 30 cm einzubauen. Auf der Polsteroberfläche ist durch Lastplattendruckversuche ein Mindestverformungsmodul von

$E_{v2} \geq 80$ MN/m²

nachzuweisen.

Bei fachgerechtem Einbau der Polster darf für diese mit den folgenden charakteristischen Bodenkennwerten gerechnet werden:

- Wichte: γ_k = 20 kN/m³
- Wichte unter Auftrieb: γ'_k = 11 kN/m³
- Winkel der inneren Reibung: φ_k = 40°

- Kohäsion: c_k = 0 kN/m²
- Steifemodul: $E_{s,k}$ = 40 MN/m²

Unter Berücksichtigung der im Rahmen unserer Untersuchungen ermittelten Baugrundschichtung haben wir in den Anlagen 8.4 und 8.5 für die ungünstigste Schichtung Grundbruch- und Setzungsberechnungen für Streifenfundamente sowie für Einzelfundamente durchgeführt. Dabei haben wir Fundamentbreiten von b‘ = 0,5 m bis 3,0 m für die Streifenfundamente und Fundamentbreiten von b‘ = 1,0 m bis 5,0 m für Einzelfundamente angesetzt.

Bei einer Beschränkung der zulässigen Setzungen auf ein Maß von s_{max} = 1 cm gelten die in der Tabelle 18 und Tabelle 19 aufgeführten Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes nach Eurocode EC 7.

Tabelle 18: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Streifenfundamente

	Fundamente mit Breiten b‘ und Mindesteinbindetiefe t = 80 cm					
b‘ [m]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\sigma_{R,d}$ [kN/m²]	130	80	60	55	50	45

Tabelle 19: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Einzelfundamente

	Fundamente mit Breiten b‘ und Mindesteinbindetiefe t = 80 cm				
b‘ [m]	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$\sigma_{R,d}$ [kN/m²]	120	80	60	45	40

Die Tabellenwerte beziehen sich auf lotrecht und mittig belastete Fundamente. Schräg und/oder ausmittig angreifende Lasten sind nach EC 7 zu berücksichtigen. Die Berechnungen decken ein maximales H/V-Verhältnis von 0,1 ab. Die Grundbruchsicherheit ist bei Einhaltung der in der Tabelle 18 und der Tabelle 19 ausgewiesenen Werten in den Berechnungen impliziert.

Das maximal zu erwartende Setzungsmaß beträgt s = 1 cm, die zu erwartenden Differenzsetzungen werden ein Maß von Δs = 0,5 cm nicht überschreiten.

Sofern die oben genannten $\sigma_{R,d}$ - Werte nicht auskömmlich sind, müssen die Tragschichtpolster deutlich verstärkt werden oder es ist der Baugrund mit Rüttelstopfsäulen tiefgründig zu verbessern. Die vorgenannten Maßnahmen sind im Bedarfsfall mit PTM näher abzustimmen.

4.3.1.2 Gründungsempfehlung Haltestelle „Schloßhofstraße“

Wie der Abbildung 4 zu entnehmen ist, wird das Niveau der geplanten Haltestelle „Schloßhofstraße“, welche als Mittelbahnsteig ausgebildet wird, auf einer absoluten Höhe von

$OK_{Bahnsteig}$ = rd. 0,86 m über SO

(Schienenoberkante) liegen. Die Unterkanten der ebenfalls eingezeichneten Betonfertigteile, welche die Bahnsteige zu der Bahntrasse begrenzen, werden gemäß den vorliegenden Unterlagen auf einer absoluten Höhe von

$UK_{Betonfertigteile}$ = rd. 0,5 m unter SO

liegen, sodass die Betonfertigteile auf der Oberkante der Schottertragschicht der Gleistrasse liegen werden. Über die Gründungstiefen der (vermutlich Köcher-) Fundamente für die in der Mitte der Trasse liegenden Haltestellenüberdachungen liegen uns keine genauen Informationen vor. Wir gehen jedoch davon aus, dass die Gründungselemente geschätzt 1,0 m tiefer als das Umgebungsgelände (OK Bahnsteig) liegen werden. Es ergeben sich somit geschätzte Gründungstiefen zwischen

$UK_{Gründung}$ = 0,2 - 0,5 m unter SO,

sodass die Gründungselemente entweder auf der Schottertragschicht der Gleistrasse liegen werden oder in dem Hinterfüllbereich des Mittelbahnsteiges liegen werden, welcher gemäß der vorliegenden Planung [5] mit einem Schotter der Körnungen 0/32 mm hinterfüllt werden soll. Die ungünstigste Baugrundschichtung wird allgemein im Bereich der Untersuchungspunkte G10 angetroffen.

Nachfolgende Berechnungen beziehen sich auf eine beispielhafte Flachgründung über

Streifen- und/oder Einzelfundamente

auf einer rd. 0,5 m mächtigen Tragschicht analog zu den Grundbruch- und Setzungsberechnungen der Haltestelle Lange Lage.

Unter Berücksichtigung der im Rahmen unserer Untersuchungen ermittelten Baugrundschichtung haben wir in den Anlagen 8.6 und 8.7 für die ungünstigste Schichtung Grundbruch- und Setzungsberechnungen für Streifenfundamente sowie für Einzelfundamente durchgeführt. Dabei haben wir Fundamentbreiten von b‘ = 0,5 m bis 3,0 m für die Streifenfundamente und Fundamentbreiten von b‘ = 1,0 m bis 5,0 m für Einzelfundamente angesetzt.

Bei einer Beschränkung der zulässigen Setzungen auf ein Maß von s_{max} = 1 cm gelten die in der Tabelle 20 und der Tabelle 21 und aufgeführten Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstandes nach Eurocode EC 7.

Tabelle 20: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Streifenfundamente

	Fundamente mit Breiten b‘ und Mindesteinbindetiefe t = 80 cm					
b‘ [m]	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\sigma_{R,d}$ [kN/m²]	130	80	60	50	45	40

Tabelle 21: Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Einzelfundamente

	Fundamente mit Breiten b‘ und Mindesteinbindetiefe t = 80 cm				
b‘ [m]	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$\sigma_{R,d}$ [kN/m²]	140	70	55	45	40

Die Tabellenwerte beziehen sich auf lotrecht und mittig belastete Fundamente. Schräg und/oder ausmittig angreifende Lasten sind nach EC 7 zu berücksichtigen. Die Berechnungen decken ein maximales H/V-Verhältnis von 0,1 ab. Die Grundbruchsicherheit ist bei Einhaltung der in der Tabelle 20 und der Tabelle 21 ausgewiesenen Werten in den Berechnungen impliziert.

Das maximal zu erwartende Setzungsmaß beträgt s = 1 cm, die zu erwartenden Differenzsetzungen werden ein Maß von Δs = 0,5 cm nicht überschreiten.

4.3.2 Gründungsempfehlung Weichentragplatte

Vor der Haltestelle „Schloßhofstraße“ wird für den geplanten Gleiswechsel eine Weichentragplatte (Ausbildung als „Feste Fahrbahn“) vorgesehen. Die Weichentragplatte aus bewehrtem Stahlbeton wird entsprechend den vorliegenden Angaben oberhalb der Planumsschutzschicht liegen. Die im Bereich der Weichentragplatte liegenden Untersuchungspunkte Nr. G5 und G6 ähneln stark der Schichtung, die im Bereich der Haltestelle „Schloßhofstraße“ angetroffen wurde (Lösslehme über Geschiebelehmen über Beckenschluff bzw. Tonmergel).

Für die Dimensionierung der der Weichentragplatte darf daher ein Bettungsmodul von

$$\mathbf{k_s = 15\ MN/m^3}$$

bei einem Sohlwiderstand (Bemessungswert) von

$$\mathbf{\sigma_{R,d} = 60\ kN/m^2}$$

angesetzt werden.

Bei voller Ausnutzung der o.g. Bemessungswerte ist für die Gründung mittels Stahlbeton-Bodenplatte mit Setzungen in der Größenordnung von etwa

$$\mathbf{s = rd.\ 1{,}0\ cm}$$

zu rechnen.

Sofern die oben genannten $\sigma_{R,d}$ - Werte nicht auskömmlich sind, müssen die Tragschichtpolster deutlich verstärkt werden oder es ist der Baugrund mit Rüttelstopfsäulen tiefgründig zu verbessern. Die vorgenannten Maßnahmen sind im Bedarfsfall mit PTM näher abzustimmen.

4.3.3 Gründungsempfehlung „Fahrleitungsmasten“

Aufgrund des aktuellen Bearbeitungsstandes für die Fahrleitungsanlage können zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Lastangaben für die Fahrleitungsmasten angegeben werden. Konkrete Angaben können erst nach fortgeschrittener Fahrleitungsplanung erfolgen. Für die Gründung der Fahrleitungsmasten bieten sich jedoch grundsätzlich in Abhängigkeit der anfallenden Lasten folgende Gründungsvarianten an:

- **Gründung über Rammpfähle nach DIN EN 12699 (Offenes Stahlrohr, „Rammrohrgründung“)**
- **Gründung über Rammpfähle nach DIN EN 12699 (Stahlbetonfertigrammpfahl)**
- **Schneckenbohrpfähle (Teilverdrängungspfähle) nach DIN EN 1536**

In den Anlagen 8.8 bis 8.10 haben wir für die beschriebenen drei Pfahltypen beispielhafte Vorbemessungen für 10,0 m lange Pfähle durchgeführt.

Es wird empfohlen, eine einheitliche Pfahllänge zu wählen, um hinreichend große Ausführungssicherheit zu gewährleisten. Eine Pfahllänge von 10,0 m stellt unter Baugrundgesichtspunkten günstige Länge dar, weil mit ihr durchwegs die Einbindung der Pfähle in den tragfähigen Baugrund gewährleistet wird.

Grundsätzlich wird die ungünstigste Baugrundschichtung im Bereich des Untersuchungspunktes Q2 (Bereich „Bodendeponie“) berücksichtigt bzw. die am tiefsten reichenden Auffüllungen im Bereich der „Bodendeponie“ berücksichtigt.

Die Bemessung der Ramm- oder Bohrpfähle ist mittels der in den nachfolgenden Tabellen ausgewiesenen charakteristischen Pfahlkennwerte durchzuführen.

Tabelle 22: charakteristische Pfahlkennwerte Bohrpfähle

Schicht	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m²]	Horizontaler Bettungsmodul $k_{s,h}$ [MN/m³]
Auffüllungen (Schicht II)	0,035	0	5
fluviatile Talsedimente (Schicht III)	0,050	$q_{b,k02}$: 0,460 $q_{b,k03}$: 0,575 $q_{b,k10}$: 1,035	15
Tonmergel, stark verwittert (Schicht VII)	0,075	$q_{b,k02}$: 1,000 $q_{b,k03}$: 1,220 $q_{b,k10}$: 1,810	50

Tabelle 23: charakteristische Pfahlkennwerte Rammpfähle

Schicht	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²]	Spitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m²]	Horizontaler Bettungsmodul $k_{s,h}$ [MN/m²]
Auffüllungen (Schicht II)	$q_{s(sg),k}$: 0,020	0	5
fluviatile Talsedimente (Schicht III)	$q_{s(sg),k}$: 0,040	$q_{b,k35}$: 0,400 $q_{b,k10}$: 0,675	15
Tonmergel, stark verwittert (Schicht VII)	$q_{s(sg),k}$: 0,060	$q_{b,k35}$: 0,750 $q_{b,k10}$: 1,150	50

Die sich aus der Vorbemessung ergebenden Pfahlwiderstände R_d bzw. aufnehmbaren charakteristischen Einwirkungen $R_{E,k}$ sind für verschiedenen Pfahltypen der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 24: Gegenüberstellung Pfahltypen

Pfahltyp	Länge [m]	Durch-messer [m]	Bemessungswert des Pfahlwider-standes R_d	charakteristi-sche Einwirkung $R_{E,k}$	Setzungen [cm]
Rammpfähle nach DIN EN 12699 (Offenes Stahlrohr, „Rammrohr-gründung“	10	0,5	307 kN	132 kN	0,13
Rammpfähle nach DIN EN 12699 (Stahlbe-tonfertigramm-pfahl)	10	0,5 x 0,5 (quadrati-scher Grundriss)	520 kN	365 kN	0,18
Schneckenbohr-pfähle (Teilver-drängungs-pfähle) nach DIN EN 1536	10	0,5	583 kN	409 kN	0,48

Falls die tatsächlichen Pfahllasten (Einwirkungen) größer als die Tabelle 24 ausgewiesen sind, müssen die Pfähle verlängert werden. Das tatsächlich zur Ausführung kommende Pfahlsystem ist in enger Abstimmung mit PTM zu entwerfen.

4.3.4 Hinterfüllung von Stützelementen und Bauwerkshinterfüllungen

Hinterfüllung von möglichen Stützwänden / Betonfertigteilen (Bereich Bahnsteige):

Stützwände sind generell mit hoch scherfesten, d.h. scharfkantigen, grobkörnigen, gut kornabgestuften und verdichtungsfähigen Hartsteinbrüchen der Körnungen 0/32 mm bis 0/56 mm zu hinterfüllen. Die Hinterfüllung ist lagenweise (d_{max} = 25 – 30 cm) unter intensiver Verdichtung einzubringen. Die Verdichtung der Einbaulagen ist durch Lastplattendruckversuche zu prüfen. Bei einem ordnungsgemäßen Einbau darf für Wandhinterfüllungen mit folgenden charakteristischen Bodenkennwerten gerechnet werden:

- Wichte: γ_k = 19 kN/m³
- Winkel der inneren Reibung: φ_k = 40°
- Kohäsion: c_k = 0 kN/m²
- Steifemodul: $E_{s,k}$ = 40 MN/m²

Wir weisen an dieser Stelle ausdrücklich darauf hin, dass im Hinblick einer ausreichenden äußeren Standsicherheit sowie zur Reduzierung der aus der Wandhinterfüllung resultierenden horizontalen Erddrücke der o.g. Reibungswinkel von $\varphi_{k,min}$ = 40° sicherzustellen ist.

Wiederverfüllung von Arbeitsräumen

Zur Wiederverfüllung von Arbeitsräumen ist ein geeigneter, d.h. gut kornabgestufter und verdichtungsfähiger Mineralstoff in maximalen Lagenstärken von 30 cm unter intensiver Verdichtung einzubauen. Dabei ist für den qualifizierten Einbau ein Verdichtungsgrad von

D ≥ 97 % der einfachen Proctordichte $D_{Pr.}$

zu gewährleisten. Geeignete Mineralstoffe für die Wiederverfüllung sind Felsbrüche der Körnungen 0/32 mm bis 0/56 mm mit einem maximalen Feinteilgehalt von 10 Gew.-%.

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.