

Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, vertreten durch das Amt für Straßenbau und Erschließung (Amt 66) Straße: K 816 Mörfelder Landstraße
Ausbau der Mörfelder Landstraße (K 816) zwischen Breslauer Straße und Oppenheimer Landstraße und Aufweitung der Eisenbahnüberführung Mörfelder Landstraße
PROJIS-Nr.:

FESTSTELLUNGSENTWURF

für den

**Ausbau der Mörfelder Landstraße (K816) zwischen
Breslauer Straße und Oppenheimer Landstraße und
Aufweitung Eisenbahnüberführung Mörfelder Landstraße**

Bau-km 0+000 bis Bau-km 0+250

- Geotechnischer Bericht Eisenbahnüberführung -

<p>aufgestellt:</p> <p>Amt für Straßenbau und Erschließung</p> <p>Frankfurt am Main, den 13.05.2024</p> <p>gez. C. Hartmann (66.71)</p> <p>gez. D. Schmitt (66.73)</p> <p>gez. K. Becker (66.73.R)</p>	



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTTECHNIK MBH

DB InfraGO AG
Michael Möll
Hahnstraße 49
60528 Frankfurt am Main

Projekt-Nr.
44.9286

Datei
p9286b240425

Diktat
Fro/Din

Büro
Frankfurt

Datum
25.04.2024

BV
EÜ Mörfelder Landstraße
Strecke 3650
Frankfurt am Main

- Geotechnischer Bericht -

Ing-Vertrag Nr. 0016 / EI8 / 92321717

Auftrag vom 13.04.2023

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, <https://www.dr-spang.de>
58453 Witten, Rosi-Wolfstein-Straße 6, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de

Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Christian Spang, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Christoph Spang

Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Eberhard-Bauer-Str. 32, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Lyoner Straße 12, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Straße 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de
21079 Hamburg, Harburger Schloßstraße 30, Tel. (040) 524 73 35-0, Fax 524 73 35-20, hamburg@dr-spang.de
06618 Naumburg, Wilhelm-Franke-Straße 11, Tel. (03445) 762-25, Fax 762-20, naumburg@dr-spang.de
90491 Nürnberg, Erlengestegstraße 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
85521 Ottobrunn, Alte Landstraße 29, Tel. (089) 277 80 82-60, Fax 277 80 82-90, muenchen@dr-spang.de
14482 Potsdam, Walter-Klaus-Straße 25, Tel. (0331) 231 843-0, Fax 231 843-20, berlin@dr-spang.de
A-6330 Kufstein, Salurnerstraße 22, Tel. +43 (5372) 23 20-00, Fax 23 20-20, kufstein@dr-spang.at

Banken: Deutsche Bank AG, Witten, IBAN: DE42 4307 0024 0813 9511 00, BIC: DEUTDE33HAN
Sparkasse Witten, IBAN: DE59 4525 0035 0000 0049 11, BIC: WELADED1WTN

INHALT	SEITE
1. DARSTELLUNG DER GEOTECHNISCHEN UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	5
1.1 Allgemeines und Aufgabenstellung	5
1.1.1 Projekt	5
1.1.2 Auftrag	6
1.1.3 Unterlagen	6
1.2 Baugrundaufschlüsse und weitere Untersuchungen	9
1.2.1 Durchgeführte Felduntersuchungen	9
1.2.2 Erkundung Gleisbereich	10
1.2.3 Durchgeführte Laboruntersuchungen	10
1.3 Geologischer und hydrogeologischer Überblick	10
1.4 Morphologie, Vegetation und Bebauung	11
1.5 Baugrundverhältnisse	12
1.5.1 Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche	15
1.5.2 Ergebnisse der der felsmechanischen Laborversuche	21
1.5.3 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	24
1.5.4 Bodenkennwerte	25
1.5.5 Felsmechanische Kennwerte	26
1.6 Homogenbereiche	27
1.6.1 Allgemeines	27
1.6.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	29
1.6.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten	31
1.6.4 DIN 18 304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten	33
1.7 Hydrogeologische Verhältnisse	34
1.8 Wasserwirtschaftliche Verhältnisse	39
1.9 Erdbebenzone	39
2. UMWELTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN	39
2.1 Bodenaushub	39
2.2 Gleisbereich	43
2.3 Entsorgung / Abfallschlüssel	44
2.4 Deponieverordnung	45

INHALT	SEITE
3. BEWERTUNG DER GEOTECHNISCHEN UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	46
3.1 Baugrundbeurteilung	46
4. FOLGERUNGEN, HINWEISE/EMPFEHLUNGEN UND ANGABEN	46
4.1 Geotechnische Kategorie	46
4.2 Gründung Widerlager	46
4.2.1 Flachgründung	47
4.2.2 Tiefgründung	48
4.3 Gründung Lärmschutzwände	48
4.4 Gründung Damm / Hinterfüllbereich	50
4.5 Gründung Fahrweg	51
4.5.1 Baugrube	53
4.5.2 Verpressanker	56
4.5.3 Nachbarbebauung	57
5. WASSERHALTUNG	57
5.1 Baugruben der Widerlager	57
5.1.1 Baugrubenkonstruktion	57
5.1.2 Zweck und Dauer der Grundwasserhaltung	58
5.2 Ableitung des geförderten Wassers in den Kanal	59
5.2.1 Allgemein	59
5.2.2 Wasserqualität	59
5.3 Wasserhaltung Verkehrsanlage und Bergsammler	60
6. SONSTIGE EMPFEHLUNGEN	60

ANLAGEN

- Anlage 1: Übersichtslageplan, 1 : 25.000 (1)
- Anlage 1.1: Lageplan mit Aufschlusspunkten, 1 : 500 (1)
- Anlage 2: Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse (12)
- Anlage 2.1: Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)
- Anlage 2.2: Bohrsondierungen (BS) (3)
- Anlage 2.3: Schwere Rammsondierung (DPH) (3)
- Anlage 2.4: Kernbohrungen (BK) (3)
- Anlage 2.5: Schürfe (SCH) (1)
- Anlage 3: Geotechnische Schnitte (2)
- Anlage 3.1: Geotechnischer Längsschnitt (1)
- Anlage 3.2: Geotechnischer Querschnitt (1)
- Anlage 4: Ergebnisse der Laborversuche (169)
- Anlage 4.1: Boden- und felsmechanische Laborversuche (86)
- Anlage 4.2: Chemische Analytik (83)
- Anlage 5: Dokumentation der Einzelergebnisse (19)
- Anlage 5.1: Schichtenverzeichnisse (5)
- Anlage 5.2: Fotodokumentation Bohrkerne (14)
- Anlage 6: Stellungnahme zur Machbarkeit der Flachgründung (7)
- Anlage 7: Dokumentation Schürfe Widerlager (4)

1. DARSTELLUNG DER GEOTECHNISCHEN UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1.1 Allgemeines und Aufgabenstellung

1.1.1 Projekt

Die Stadt Frankfurt am Main und die DB Netz AG planen die Aufweitung der EÜ Mörfelder Landstraße im Stadtteil Sachsenhausen zur Verbreiterung des bestehenden Straßenverkehrsraums und Beseitigung des „Verkehrs-Nadelöhrs“ zwischen Breslauer und Oppenheimer Straße. Die EÜ Mörfelder Landstraße soll zu diesem Zweck in ihrer lichten Weite von 16,2 m auf 62,4 m aufgeweitet werden.

Durch die Änderung von Planungsparametern (u.a. Entfall einer Baustelleneinrichtungsfläche) sowie unzureichender Erkundungstiefe muss der bestehende Baugrundbericht [U 2] aus dem Jahr 2008 entsprechend ergänzt und angepasst werden.

Beim derzeitigen Bestand handelt es sich um ein DB-eigenes Bauwerk, das im Jahr 1925 errichtet wurde. Der ursprüngliche Überbau (Stahltrug mit Buckelblechen) wurde im Jahr 2001 durch direkt befahrene Stahldeckbrücken mit einer Stützweite von 19,2 m und einer Bauhöhe von 0,84 m ersetzt. Die Schienen sind direkt auf den Querträgern befestigt.

Links der Bahn (Westseite) ist außerhalb des Gehweges eine separat gegründete, dreifeldrige Kabelhilfsbrücke angeordnet, mit der ein Kabelkanal mit ca. 20 Kabeln überführt wird. Im Bereich der Zwischenunterstützungen (Stahlstützen HEB 180 auf Einzelfundament 100x100x80 cm) der Kabelhilfsbrücke sind Horizontalfesthaltungen mit Befestigung an den Widerlagern vorhanden. An den Endauflagern ist die Kabelhilfsbrücke auf Einzelfundamenten gegründet.

Die Widerlager- und Flügelwände sind gemäß den Bestandsunterlagen als flach gegründete Schwergewichtsmauern ausgebildet. Die lichte Weite (L.W.) senkrecht zwischen den Widerlagern beträgt ca. 12,0 m. Die lichte Höhe (L.H.) beträgt ca. 4,8 m.

Das Bestandsbauwerk soll durch eine Stabbogenbrücke ersetzt werden. Die Stabbogenbrücke soll auf der geplanten Baustelleneinrichtungsfläche (BE-Fläche) hergestellt und mit Hilfe von Modulfahrzeugen (SPMT) eingefahren werden.

1.1.2 Auftrag

Auf Basis unseres Angebots 2023876103 wurde die Dr. Spang Ingenieurgesellschaft mbH mit Schreiben vom 13.04.2023 von der DB Netz AG mit der geotechnischen und umwelttechnischen Beratung und Baugrundbeurteilung zur geplanten Um- und Neubaumaßnahme „EÜ Mörfelder Landstraße“ in Frankfurt am Main beauftragt.

Zwischenzeitlich wurde die beauftragte Vorabstellungnahme [U 3] erstellt sowie eine zusätzliche Stellungnahme zur Machbarkeit einer Flachgründung [U 4] und eine gutachterliche Ersteinschätzung zur Realisierbarkeit eines Rohrvortriebs [U 5] übergeben.

1.1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

[U 1] Geologische Karte von Hessen, Blatt 5918 Neu-Isenburg mit Erläuterungen; Maßstab 1:25.000, Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden, 1999.

[U 2] Baugrunduntersuchung und geotechnisches Gutachten; Erneuerung der EÜ Mörfelder Landstraße in Frankfurt am Main; Dr. Hug Geoconsult GmbH, Oberursel, 22.02.2008.

[U 3] Geotechnische Vorabstellungnahme; Dr. Spang GmbH, Frankfurt, 07.08.2023

[U 4] Stellungnahme zur Machbarkeit der Flachgründung; Dr. Spang GmbH, Frankfurt, 20.09.2023.

[U 5] Gutachterliche Ersteinschätzung zur Machbarkeit eines Rohrvortriebs Dr. Spang GmbH, Frankfurt, 16.10.2023.

[U 6] Wasserschutzgebiete; Onlineportal des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie: <https://gruschu.hessen.de/>; Abruf am 24.08.2023

[U 7] Hochwasserrisikomanagementpläne; Onlineportal des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie: <https://hwrn.hessen.de/>; Abruf am 24.08.2023

- [U 8] **Statische Berechnungen der Widerlager**; Ingenieurgesellschaft Kempa mbH, Ludwigshafen, Stand August 2023.
- [U 9] **Planungsunterlagen; Bauwerkspläne als Längsschnitte und Draufsicht**; Ingenieurgesellschaft Kempa mbH, Ludwigshafen, Stand April 2023.
- [U 10] **Planungsunterlagen; Bauwerkspläne Ausbau der Mörfelder Landstraße (K 816) zwischen Breslauer Straße und Oppenheimer Landstraße**; Ingenieurgesellschaft Kempa mbH, Ludwigshafen, Stand November 2023.
- [U 11] **Bohrprofile, Kernfotos und Messreihen GWM B 17/29 und GWM B 18/20**; KNEU Entlastung Bergsammler, Stand 06.02.2024
- [U 12] **Bohrprofile Mörfelder Landstraße 130**, Dr. Hug Geoconsult GmbH, 05.2019
- [U 13] **Fachtechnische Stellungnahme** Ausbau der Mörfelder Landstraß zwischen Oppenheimer Landstraße und Breslauer Straße, Bodenmechanisches Labor Gumm, 09.11.2011
- [U 14] **Richtwertliste für die Einleitung von Grundwasser in die Kanalisation im Stadtgebiet Frankfurt am Main**; Stadtentwässerung Frankfurt am Main; Version 3; Stand 19.12.2018
- [U 15] **Ril 804.5501: Lärmschutzanlagen an Eisenbahnstrecken**, DB Netz AG, Frankfurt am Main, 01.10.2017.
- [U 16] **Ril 880.4010**: Bautechnik; Verwertung von Altschotter, DB Netz AG, Frankfurt am Main, 01.02.2003
- [U 17] **§ 3 Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)**, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen; 24.02.2012.
- [U 18] **ErsatzbaustoffV**: Verordnung über Anforderungen an den Einbau von mineralische Ersatzbaustoffen in technischen Bauwerken (Ersatzbaustoffverordnung), vom 09.07.2021, zuletzt geändert 13.07.2023.
- [U 19] **Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBodSchG)**, 12.07.1999.

[U 20] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), Bonn, 16.07.2021.

[U 21] DepV: Verordnung über Deponien und Langzeitlager; Berlin, 2009 - zuletzt geändert am 09.07.2021.

[U 22] Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV); 10.12.2001 zuletzt geändert am 30.06.2020.

[U 23] Merkblatt „Entsorgung von Bauabfällen“; Regierungspräsidium Darmstadt, Gießen, Kassel, 01.09.2018.

[U 24] Merkblatt über Entwurfs- und Berechnungsgrundlagen für Gründungen und Stahlpfosten von Lärmschutzwänden und Überflughilfen an Straßen M EBGs-Lsw; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Köln, Ausgabe 2018.

[U 25] Arbeitskreis 1.4 „Baugrunddynamik“: Empfehlungen des Arbeitskreises Baugrunddynamik; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT), Berlin 2002.

[U 26] EC 7; Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Stand 2011.

[U 27] Vogt, N. (1988): Vorschlag für die Bemessung der Gründung von Lärmschutzwänden, Geotechnik 11, 1988, Heft 4.

[U 28] Gleismessschriebe 3650-1 und 3650-2; DB Netz AG, Frankfurt, Stand 13./14.02.2023.

[U 29] Richtwertliste für die Einleitung von Grundwasser in die Kanalisation im Stadtgebiet Frankfurt am Main; Stadtentwässerung Frankfurt am Main; Version 3; Stand 19.12.2018

[U 30] MATTHESS, G (1961): Die Herkunft der Sulfat-Ionen im Grundwasser; Heft 35; Hessisches Landesamt für Bodenforschung, 1961, Wiesbaden.

[U 31] Informations-Portal-Abfallbewertung (IPA) - Hazard Check; Beurteilung der Abfallgefährlichkeit anhand hinterlegter Grenzwertlisten, in Bearbeitung durch die Länder Baden-Württemberg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Sachsen.

1.2 Baugrundaufschlüsse und weitere Untersuchungen

1.2.1 Durchgeführte Felduntersuchungen

Zur Baugrunderkundung und Festlegung der boden- und felsmechanischen Kennwerte wurden im Umfeld der EÜ Kernbohrungen, Bohrsondierungen und schwere Rammsondierungen durchgeführt. Zur Beobachtung des Grundwasserstandes wurde ein Grundwassermesspegel hergestellt und mit einem Datenlogger ausgerüstet. Die Untersuchungen für die EÜ fanden im Zeitraum zwischen Juni und August 2023 statt. Die Bohr- und Rammsondierungen wurden von der Dr. Spang Ingenieurgesellschaft mbH und die Kernbohrungen im Unterauftrag durch die Wendt Bohrgesellschaft mbH durchgeführt.

Aufschlussbezeichnung	Ansatzhöhe [m NHN]	Endteufe	
		[m NHN]	[m u. GOF]
Schurf SCH 1	102,93	101,73	1,2
Bohrsondierung BS 2	102,63	95,63	7,0
Bohrsondierung BS 5	102,82	93,82	9,0
Bohrsondierung BS 6	102,92	93,92	9,0
Schwere Rammsondierung DPH 2	102,63	95,63	10,0
Schwere Rammsondierung DPH 5	102,82	93,82	9,7
Schwere Rammsondierung DPH 6	102,92	93,92	9,5
Kernbohrung BK 1	98,06	58,06	40,0
Kernbohrung BK 3	98,82	58,82	40,0
Kernbohrung BK 4	99,21	69,21	30,0

Tabelle 1.2-1: Bezeichnung der Baugrundaufschlüsse und deren Höhen

Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 (Boden) / 14 689 (Fels) geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 2 dargestellt. Die Schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476-2 als Rammdiagramme in Anlage 2 enthalten.

Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig eingemessen und sind dargestellt im Koordinatensystem DB_REF. Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind den Darstellungen in Anlage 2 und Anlage 3 sowie der Tabelle 1.2-1 zu entnehmen.

Ferner wurden im Bereich der Widerlager Handschürfe zur Feststellung der Unterkante der Flügelwände ausgeführt. Die Ergebnisse sind in Anlage 7 dokumentiert.

1.2.2 Erkundung Gleisbereich

Auf dem Damm der EÜ wurden im Gleisbereich je drei Bohr- und Rammsondierungen durchgeführt. Zur Untersuchung des Oberbaus wurde ein Handschurf (SCH 1) durchgeführt. Der Aufbau ist in Kapitel 1.5 beschrieben. Des Weiteren wurde der Oberbau nach der Altschotterrichtlinie und auf Herbizide untersucht. Die Ergebnisse sind in Kapitel 2 zusammengefasst.

1.2.3 Durchgeführte Laboruntersuchungen

Zur detaillierten boden- und felsmechanischen Bewertung der angetroffenen Böden und Festgesteine sowie zur Klassifizierung und Festlegung der Kennwerte wurden im geo- und felsmechanischen Labor der Dr. Spang GmbH die in Tabelle 1.2-2 aufgeführten boden- und felsmechanischen Laborversuche durchgeführt. Die detaillierten Ergebnisse der Laborversuche können der Anlage 4.1 für Boden und Fels entnommen werden.

Versuch	Regelwerk	Anzahl
Wassergehalt	DIN EN ISO 17892-1	10
Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4	15
Konsistenzgrenzen	DIN EN ISO 17 892-12	32
Schrumpfgrenzen	DIN 18 122-2	3
Glühverlust	DIN 18 128	2
Einaxialer Kompressionsversuch	DIN EN ISO 17 892-5	5
Einaxiale Druckfestigkeit	Empfehlung Nr. 1, Versuchstechnik Fels der DGGT / DIN EN ISO 17 892-7	9
Punktlastversuch	Empfehlung Nr. 5, Versuchstechnik Fels der DGGT	25
Abrasivität an Fels (CAI)	NF P 94-430-1	16

Tabelle 1.2-2: Umfang der geotechnischen Laborversuche

1.3 Geologischer und hydrogeologischer Überblick

Das Projektgebiet befindet sich gemäß der geologischen Karte [U 1] im Hanauer Becken. Örtlich ist das Gebiet durch Altarme des heute etwa 1 km nördlich verlaufenden Mains geprägt. Unterhalb

einer quartären Überdeckung oder anthropogenen Überprägung (Auffüllungen) sind im tieferen Untergrund Einheiten des Tertiärs zu erwarten. Die gemäß der Geologischen Karte [U 1] zu erwartenden Stratigraphien sind im Folgenden aufgeführt:

- Quartär (qh, qp)
- Obere und Untere Hydrobienschichten (tmi4, tmi3)

Auffüllungen und quartäre Ablagerungen sind im Projektgebiet meist nur in geringen Mächtigkeiten anzutreffen. Die tertiären Einheiten stehen fast im gesamten Untersuchungsgebiet sehr oberflächennah an.

Im folgenden Kapitel 1.5 werden die erkundeten Schichten detailliert beschrieben.

Grundwasser kann regionalgeologisch grundsätzlich in den gemischtkörnigen Böden des Quartärs als Porengrundwasser zirkulieren, sofern diese anstehen. Die Hydrobienschichten können unregelmäßig in primär nichtbindigen Horizonten (Kalksanden) als Porengrundwasserleiter oder als Kluft- oder Karstgrundwasserleiter insbesondere in den Kalkbänken der Hydrobien ausgebildet sein (tertiärer Grundwasserleiter) und sowohl gespannt als auch ungespannt vorliegen. Der tertiäre Horizont bildet in der Regel keinen durchgehenden Grundwasserleiter aus, sondern schwimmt in einer tonigen Matrix [U 2]. Beide Grundwasserhorizonte korrespondieren erfahrungsgemäß über hydraulische Fenster, so dass die Druckhöhe des gespannten Grundwassers i.d.R. dem Wasserstand im Quartär entspricht. Wasser wurde 2008 in einer Tiefe zwischen 4,5 m und 6,0 m u. GOF, also im Tertiär, festgestellt [U 2].

1.4 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Die Eisenbahnüberführung Mörfelder Landstraße befindet sich im Bahnhofsbereich von Frankfurt (Main) Süd, im Abschnitt zwischen dem Abzweig Forsthaus (km 33,219) und dem Streckenende Frankfurt (Main) Süd (km 36,746).

Das derzeitige Bauwerk überführt die zweigleisige, elektrifizierte Bahnstrecke 3650 in Dammlage über die Mörfelder Landstraße mit einer lichten Weite von 16,20 m in Nord-Süd-Ausrichtung. Es

liegen zwei parallele Hilfsbrücken auf den Bestandswiderlagern. Die Mörfelder Landstraße wird zusätzlich zum Kraftfahrzeug- und Fahrradverkehr von Straßenbahnen der Verkehrsgesellschaft Frankfurt befahren.

Die Mörfelder Landstraße bildet unterhalb der Brücke eine Senke. Es ist anzunehmen, dass das Gelände zur Erreichung einer ausreichenden lichten Höhe für die Elektrifizierung der Straßenbahn vertieft wurde.

Die Widerlager und Flügelwände sind gemäß den Bestandsunterlagen als flach gegründete Schwerkheitsmauern ausgebildet.

Das Umfeld der EÜ ist gekennzeichnet von starker Bebauung. Es sind einige von Bäumen und anderer Vegetation bewachsene Flächen vorhanden.

Das Projektgebiet befindet sich nach Ril 836 im Frosteinwirkungsgebiet I und nach RStO 12 in der Frosteinwirkungszone I.

1.5 Baugrundverhältnisse

Die geotechnische Situation wurde auf Basis der durchgeführten Kernbohrungen BK 1, BK 3 und BK 4 aus dem zur Verfügung gestellten geotechnischen Gutachten der Dr. Hug Geoconsult GmbH vom 22.02.2008 [U 2], der geologischen Karte (GK 5918 Neu-Isenburg) [U 1] sowie Erfahrungen im Projektgebiet erfasst. Die Endteufe der Bohrungen aus [U 2] lag bei 15 m u. GOK und die der neu durchgeführten Kernbohrungen bei 30 m u. GOK (BK 4) und 40 m u. GOK (BK 1, BK 3) bis zu deren Endteufe die Tone, Kalksteine und Sande der Hydrobienschichten festgestellt wurden. Die Kalksteine können vom Sand- bzw. Quarzgehalt auch als Kalksandstein eingestuft werden. Im Weiteren wird hier nicht näher differenziert und einheitlich die Bezeichnung Kalkstein verwendet.

Während der Untersuchungen wurden unterhalb von anthropogenen Auffüllungen in variierender Mächtigkeit und Zusammensetzung vereinzelt quartäre Sedimente in Form von Terrassensanden und -kiesen sowie vereinzelt Auelehm erbohrt. Darunter folgen bis zur Endteufe die Hydrobienschichten („Frankfurter Ton“). Die Hydrobien werden unterlagert von den sogenannten Inflaten, die sich augenscheinlich vom Erscheinungsbild der Hydrobien schwer unterscheiden lassen. Erfahrungsgemäß sind die Inflaten aufgrund eines höheren Anteils an Festgestein, deutlich steifer.

Horizontbeständige bindige oder gemischtkörnige Lagen des Quartärs liegen nicht vor und deren jeweilige Verortung lässt sich nicht prognostizieren. Entsprechend empfiehlt es sich diese Materialien zu einer Schicht zusammen zu fassen. Unabhängig dessen, sind die quartären Deckschichten im beplanten Baufeld aufgrund Erosion und Bautätigkeit nur noch punktuell und nicht als durchgehende Schicht vorhanden.

Kalkstein wurde mit den Bohrungen verhältnismäßig umfangreich, jedoch in variierenden Mächtigkeiten und Teufen erbohrt. Das könnte ein Anzeichen dafür sein, dass die Endteufe der Bohrungen möglicherweise bereits in den Inflaten liegt. Da dies für die gegenständliche Bauaufgabe nur von untergeordneter Relevanz ist, wurden keine mikroskopischen oder mineralogischen Untersuchungen durchgeführt. Durchgehende, etwa söhlig verlaufende Kalksteinbänke, wie zum Teil in der Frankfurter Innenstadt bekannt, wurden hier nicht erkundet. Entsprechend empfiehlt es sich - wie in Frankfurt üblich - Kalkstein sowie tertiäre Tone und Sande zu einer Schicht „Frankfurter Ton“ zusammen zu fassen.

Der aufgeschlossene Aufbau im Projektgebiet gliedert sich wie in Tabelle 1.5-1 angegeben.

Schichtpaket	Erkundeter Tiefenbereich [m u. GOF]	Erkundete Schichtmächtigkeit [m]
Auffüllungen	0,0 – 5,4	1,3 – 5,4
Quartäre Terrassensande/-kiese	2,0 – 2,55	0,0 – 0,55
Quartäre Auelehme	1,35 – 3,15	0,0 – 2,75
Hydrobienschichten	3,0 – 40,0	24,6 – 37,0

Tabelle 1.5-1: Bezeichnung der Baugrundaufschlüsse und deren Höhen

Der erkundete Schichtaufbau außerhalb des Bahndamms entspricht stratigraphisch den Angaben der geologischen Karte [U 1].

Schicht 1 – Auffüllungen

Auffüllungen wurden in allen Großbohrungen (BK 1 bis BK 4) oberflächlich mit variierenden Mächtigkeiten zwischen 1,35 m und 5,4 m angetroffen. Es wurden bindige, gemischtkörnige und rollige

Auffüllungen beschrieben. Als bodenatypische Komponenten wurde Beton-, Fliesen-, Glas-, Ziegel- und Asphaltbruch sowie Aluminium festgestellt.

In dem mit den Bohrsondierungen BS 2, BS 5 und BS 6 erkundeten Bahndamm wurden Auffüllungen mit variierenden Mächtigkeiten zwischen 4,3 m und 7,0 m festgestellt. Im Damm wurden größtenteils Sand- und Tonlagen mit variierenden Nebenanteilen an Kies und Schluff erbohrt.

Zur Feststellung des Oberbaus im Gleisbereich wurde der Schurf SCH 1 zwischen den Schwellen des südlichen Gleises (Gegenrichtung) durchgeführt. Der Aufbau des Oberbaus im Gleisbereich wurde gem. Ril 880.4010 ab UK-Schwelle wie folgt festgestellt:

- a-Horizont: 0,18-0,26 m u. SU Basaltschotter (G)
- b-Horizont: 0,26-0,51 m u. SU Basaltschotter (G, s, u')
- PSS: 0,51-0,78 m u. SU Basaltschotter (G, s, u')
- Alter b-Horizont: 0,78-0,92 m u. SU Basaltschotter (G, s, u')

Schicht 2 – Quartäre Ablagerungen

In den Großbohrungen wurden in den BK 1 und BK 3 unterhalb der Auffüllungen quartäre Ablagerungen bis in eine maximale Tiefe von 3,15 m u. GOK festgestellt. Im Bereich der BK 3 wurde zwischen 2,0 m und 2,55 m u. GOK ein gemischtkörniger Terrassenkies festgestellt. In der BK 3 bis 3,15 m u. GOK und in BK 2 bis 3,0 m u. GOK wurde quartärer Auelehm in Form von Ton angetroffen.

Im Bereich der BS 2 wurde unterhalb der Auffüllungen quartärer Terrassensand zwischen 4,3 m und 5,5 m u. GOK angetroffen.

In der Betrachtung der Bestandsaufschlüsse [U 11] bis [U 13] ist festzustellen, dass die potentiell wasserführende Schicht 2 nur punktuell und nicht als durchgehende Schicht ansteht.

Schicht 3 – Tertiäre Ablagerungen

Unterhalb der Auffüllungen und quartären Ablagerungen wurden die Gesteine der tertiären Hydrobienschichten angetroffen. Diese bestehen aus Wechsellagerungen zwischen Tonen bis Ton-

Schluff-Gemischen, fossilreichen Sandlagen und Kalksteinen. Die Ablagerungen der Hydrobienschichten wurden in den Großbohrungen bis zu deren Endtiefen von 30 m bis 40 m erbohrt. Die Farbgebung der Tone und Sande ist charakteristisch dunkelgrau bis schwarz. In der Regel kommen die sandigen Lagen untergeordnet, aber regelmäßig vor. Die Konsistenz der Tone und Mergel wurde meist als steif und halbfest angesprochen. Vereinzelt wurden auch weiche Konsistenzen festgestellt. Die weichen Konsistenzen gehen meist auf eine Wasserführung von über- oder unterlagernden Kalksteinen oder Sanden zurück. In der Schicht 3 wurden vereinzelte Kalksteinlagen mit erkundeten Mächtigkeiten von bis zu ca. 1,3 m (BK 1).

Im Bereich des Damms in der BS 2 unterhalb des Terrassensands sowie im Bereich der BS 5 und BS 6 unterhalb der Auffüllungen wurden die tertiären Tone der Hydrobienschichten bis in die Endtiefen der Bohrungen von 7,0 m u. GOK (BS 2) bzw. 9,0 m u. GOK (BS 5, BS 6) festgestellt.

Zur Beurteilung der Lagerungsdichte des Bodens sowie der Zustandsform wurden schwere Rammsondierungen (Fallgewicht 50 kg, Fallhöhe 50 cm, Spitzenquerschnitt 15 cm²) nach DIN EN ISO 22 476-2 ausgeführt. Die Ergebnisse der Rammsondierungen sind in der Anlage 2 einzusehen.

Unterhalb des Grundwasserspiegels werden insbesondere bei grobkörnigen Böden trotz gleicher Lagerungsdichte geringere Eindringwiderstände gemessen. Bei den bindigen Böden ist zudem die Lagerungsstörung beim Rammvorgang zu berücksichtigen, die eine geringere Konsistenz vortäuscht als der ungestörte Boden tatsächlich aufweist. In diesem Fall ist die Konsistenz aus der Bohrgutansprache zuverlässiger, auch wenn diese zwangsläufig ebenfalls gestört ist. Dies wurde bei der Angabe der Lagerungsdichte und Konsistenz berücksichtigt. Weiterhin werden die Ergebnisse aus den bodenmechanischen Laborversuchen berücksichtigt.

1.5.1 Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche

Die Ergebnisse der durchgeführten bodenmechanischen Laborversuche sind in den folgenden Tabellen sowie in Anlage 4.1 aufgeführt.

Es wurden insgesamt 10 Wassergehaltsbestimmungen gemäß DIN EN ISO 17 892-1 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1.5-2 dargestellt, gruppiert nach der jeweiligen Stratigraphie.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bezeichnung	Wassergehalt [%]	Bodenart ¹⁾
Tertiär - Hydrobienschichten (Schicht 3)					
BS 5	7,5 – 7,75	3	Sand	33,02	S, t
BS 5	7,75 – 9,0	3	Ton	31,17	T
BK 1	4,0 – 4,4	3	Ton	31,46	T, u'
BK 1	5,7 – 6,0	3	Ton	24,14	T, u'
BK 1	7,0 – 8,0	3	Ton	37,45	T, u', s'
BK 1	8,0 – 8,85	3	Ton	27,13	T, u', s'
BK 3	4,85 – 5,4	3	Ton	22,55	T, u
BK 3	10,0 – 10,75	3	Ton	28,42	T, u, fs'
BK 3	11,45 – 11,65	3	Ton	36,50	T, u, fs'
BK 3	19,0 – 19,25	3	Ton	32,78	T, u

1) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

Tabelle 1.5-2: Ergebnisse der Wassergehaltsbestimmung nach DIN EN ISO 17 892-1

Des Weiteren wurden 11 Korngrößenverteilungen mittels Siebanalyse ermittelt. Bedarfsweise wurden ebenfalls Schlämmanalysen durchgeführt. In Tabelle 1.5-3 sind die Ergebnisse ihrer jeweiligen Stratigraphie zugeteilt, dargestellt.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Schlammkorn ¹⁾ [%]	Feinstkornanteil ²⁾ [%]	Bodenart ³⁾	Boden- gruppe ⁴⁾
Auffüllung (Schicht 1)						
BS 6	6,0 – 7,0	1	13,1	-	A (G, s*, u')	GU
BK 4	2,0 – 3,0	1	20,8	-	A (S, g, u)	-
Quartär (Schicht 2)						
BS 2	4,3 – 5,5	2	3,6	-	S, mg, fg', gg'	-
BK 3	2,0 – 2,55	3	8,3	-	S, g*, u'	-
Tertiär – Hydrobienschichten (Schicht 3)						
BS 2	5,5 – 7,0	3	86,7	-	T, s'	TA
BS 5	7,75 – 9,0	3	96,3	45,3	T, u*	TA

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Schlammkorn ¹⁾ [%]	Feinstkornanteil ²⁾ [%]	Bodenart ³⁾	Boden- gruppe ⁴⁾
BK 1	4,4 – 4,6	3	57,2	23,9	T, u', s*	TM
BK 1	16,0 – 16,8	3	22,6	-	S, u, o'	-
BK 1	23,8 – 24,8	3	34,8	-	S, u*	-
BK 3	3,9 – 4,15	3	26,1	-	S, u, g, o'	-
BK 3	15,35 – 16,3	3	26,8	-	S, u, o'	-
BK 3	19,25 – 19,75	3	33,7	-	T, u*, s*	-
BK 3	20,0 – 20,9	3	15,8	-	S, u, o'	-
BK 4	16,3 – 17,3	3	18,8	-	S, u	-
BK 4	26,0 – 27,0	3	20,4	-	G, s, u	-

1) Korngröße $\leq 0,063$ mm2) Korngröße $\leq 0,002$ mm

3) DIN EN ISO 14 688 / DIN 4023

4) DIN 18 196

Tabelle 1.5-3: Ergebnisse der Korngrößenverteilungsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-4

Zur präziseren Klassifizierung der bindigen Böden wurden 32 Plastizitätsuntersuchungen an ausgewählten Proben durchgeführt, deren Ergebnisse ihrer jeweiligen Stratigraphie zugeteilt in Tabelle 1.5-4 einzusehen sind. Die detaillierten Ergebnisse inklusive der Darstellung im Plastizitätsdiagramm nach CASAGRANDE können der Anlage 4.1 entnommen werden.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	w _n [%]	w _L [%]	I _p [%]	I _c [-]	Konsistenz	Boden- gruppe ¹⁾
Quartär (Schicht 2)									
BK 3	2,55 – 3,15	2	T, s', o	32,3	68,2	47,0	0,75	weich-steif	TA
Tertiär – Hydrobienschichten (Schicht 3)									
BS 2	5,5 – 7,0	3	T, s'	30,6	63,9	41,3	0,81	steif	TA
BS 6	7,0 – 8,0	3	T, s, u', g'	20,4 ²⁾	43,1	28,2	0,81	steif	TM
BS 6	8,0 – 9,0	3	T, s'	32,0 ²⁾	65,2	47,4	0,70	weich	TA
BK 1	2,0 – 3,0	3	T, s'	35,52 ²⁾	67,2	45,1	0,71	weich	TA
BK 1	3,0 – 4,0	3	T, s', o'	30,1	68,2	45,7	0,83	steif	TA
BK 1	4,0 – 4,4	3	T	31,5	69,8	43,8	0,88	steif	TA
BK 1	4,4 – 4,6	3	T, u', s*	39,2 ²⁾	47,5	28,3	0,29	breiig	TM
BK 1	4,6 – 5,25	3	T	29,2	64,6	43,8	0,81	steif	TM

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	w _n [%]	w _L [%]	I _p [%]	I _c [-]	Konsistenz	Boden- gruppe ¹⁾
BK 1	6,65 – 7,0	3	T	27,2	69,9	47,0	0,91	steif	TA
BK 1	9,45 – 9,65	3	T, s'	25,8 ²⁾	63,7	15,0	0,84	steif	TA
BK 1	10,75 – 11,0	3	T	22,9 ²⁾	63,8	46,6	0,88	steif	TA
BK 1	12,1 – 12,55	3	T, s'	35,4	62,2	38,1	0,70	weich	TA
BK 1	13,0 – 14,0	33	T, s'	31,1 ²⁾	59,1	40,7	0,69	weich	TA
BK 1	17,8 – 18,85	3	T, s'	29,2	67,6	42,3	0,91	steif	TA
BK 1	25,35 – 25,7	3	T, s'	27,5 ²⁾	55,2	32,4	0,85	steif	TA
BK 1	26,5 – 26,65	3	T, u, s'	19,0 ²⁾	37,7	19,1	0,98	steif	TM
BK 3	2,55 – 3,15	3	T, s', o	32,9 ²⁾	68,8	47,0	0,75	weich bis steif	TA
BK 3	3,15 – 3,9	3	T, s'	24,9 ²⁾	68,8	43,6	1,01	halbfest	TA
BK 3	4,15 – 4,65	3	T, s'	32,5 ²⁾	65,8	43,1	0,77	steif	TA
BK 3	6,0 – 6,3	3	T, s'	22,9 ²⁾	59,7	40,0	0,92	steif	TA
BK 3	6,5 – 7,4	3	T, s'	30,7 ²⁾	68,8	43,6	0,87	steif	TA
BK 3	9,6 – 10,0	3	T, s'	24, ²⁾	61,9	42,5	0,88	steif	TA
BK 3	11,9 – 13,1	3	T, s'	27,6	58,6	36,3	0,85	steif	TA
BK 3	14,3 – 14,7	3	T, fs'	33,5	58,4	35,8	0,70	weich	TA
BK 3	14,95 – 15,35	3	T	28,4	60,4	38,6	0,83	steif	TA
BK 3	16,3 – 17,1	3	T, s'	33,8 ²⁾	68,6	47,8	0,73	weich	TA
BK 3	17,45 – 18,75	3	T, s'	30,4	62,5	41,5	0,77	steif	TA
BK 3	28,4 – 29,4	3	T, s'	27,6	51,3	29,8	0,80	steif	TA

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	w _n [%]	w _L [%]	I _p [%]	I _c [-]	Konsistenz	Boden- gruppe ¹⁾
BK 3	30,0 – 30,75	3	T, u, s'	22,7 ²⁾	38,7	22,8	0,70	weich	TM
BK 4	5,4 – 6,4	3	T, s	28,2 ²⁾	55,6	39,5	0,69	weich	TA
BK 4	7,0 – 7,35	3	T, s'	27,4 ²⁾	60,3	43,4	0,76	steif	TA
BK 4	8,3 – 8,55	3	T	26,1	68,4	49,1	0,86	steif	TA

w_n = natürlicher Wassergehalt; w_L = Wassergehalt an der Fließgrenze; I_p = Plastizitätsindex, I_c = Konsistenzzahl

1) DIN 18 196

2) korrigierter Wassergehalt bei hohem Überkornanteil

Tabelle 1.5-4: Ergebnisse der Plastizitätsuntersuchung nach DIN EN ISO 17 892-12

Des Weiteren wurden ausgewählte Proben auf organische Bestandteile nach DIN 18 128 untersucht. Die Ergebnisse sind ihrer jeweiligen Stratigraphie zugeordnet in Tabelle 1.5-5 dargestellt.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	Glühverlust v _{Gl} [%]	Einstufung nach DIN 18 128
Quartär (Schicht 2)					
BK 1	1,35 – 2,0	2	T, u', s', g', h'	5,39	schwach organisch
BK 3	2,55 – 3,15	2	T, s', o	10,15	mittel organisch

Tabelle 1.5-5: Organische Bestandteile nach DIN 18 128

An einigen Proben wurden gemäß DIN 18 122-2 die Schrumpfgrenzen bestimmt. Die Ergebnisse sind ihrer jeweiligen Stratigraphie zugeordnet in Tabelle 1.5-6 einzusehen.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	Schrumpfgrenze v _s [%]
Tertiär – Hydrobienschichten (Schicht 3)				
BK 1	4,0 – 4,4	3	T	10,63
BK 3	3,15 – 3,9	3	T, s'	12,36
BK 4	7,0 – 7,35	3	T, s'	12,06

Tabelle 1.5-6: Schrumpfgrenzen nach DIN 18 122-2

In Ödometerversuchen wurden Proben aus dem Tertiär über variierende Laststufen untersucht, um den Steifemodul zu ermitteln. Die Laststufen wurden dabei jeweils für 24 Stunden gehalten. Die nachfolgende Tabelle 1.5-7 stellt die ermittelten Steifemoduli dar.

Bohrung	Tiefe [m]	Schicht	Laststufe [kN/m ²]	Steifemodul [MN/m ²]
Tertiär - Hydrobienschichten (Schicht 3)				
BK 1	16,9 – 17,15	3	400 – 800 (Erstbelastung)	27,0
			200 – 400 (Wiederbelastung)	71,4
BK 3	18,75 – 19,0	3	400 – 800 (Erstbelastung)	18,7
			200 – 400 (Wiederbelastung)	25,3
BK 4	6,75 – 7,0	3	200 – 400 (Erstbelastung)	10,6
			400 – 800 (Erstbelastung)	13,1
			200 – 400 (Wiederbelastung)	36,4
BK 4	10,5 – 10,75	3	200 – 400 (Erstbelastung)	14,2
			400 – 800 (Erstbelastung)	19,0
			200 – 400 (Wiederbelastung)	47,6
BK 4	14,85 – 15,1	3	200 – 400 (Erstbelastung)	12,6
			200 – 400 (Wiederbelastung)	22,3

Tabelle 1.5-7: Ergebnisse der eindimensionalen Kompressionsversuche nach DIN EN ISO 17 892-5

Des Weiteren wurden 4 einaxiale Druckversuche an ausgewählten Tonproben durchgeführt um die einaxiale Druckfestigkeit der Proben zu bestimmen und damit die undrainierte Scherfestigkeit zu berechnen. Über den Verschiebungsweg des Druckstempels wurde zudem der E-Modul der Proben bestimmt und in einen Steifemodul umgerechnet. Die Ergebnisse sind ihren jeweiligen Stratigraphien zugeordnet in Tabelle 1.5-8 einzusehen.

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	E-Modul [MN/m ²]	Undrainierte Scherfestigkeit C_u [MN/m ²]	Steifemodul mit $\nu=0,35$ [MN/m ²]
Tertiär - Hydrobienschichten (Schicht 3)							
BK 1	16,9 – 17,15	3	T	0,315	10,0	157,5	16,0
BK 3	18,75 – 19,00	3	T	0,222	5,0	111,0	8,0
BK 4	10,5 – 10,75	3	T	0,146	4,1	73,0	6,6

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	E-Modul [MN/m ²]	Undrainierte Scherfestigkeit c_u [MN/m ²]	Steifemodul mit $\nu=0,35$ [MN/m ²]
BK 4	14,85 – 15,10	3	T	0,480	8,0	240,0	12,8

Tabelle 1.5-8: Ergebnisse der einaxialen Druckversuche nach DIN EN ISO 17 892-7

In den Hydrobien ist i.d.R. eine tiefenabhängige Zunahme der undrainierten Scherfestigkeit und des Steifemoduls zu erkennen. Die Ergebnisse der Probe aus BK 3 weichen hiervon ab, was auf eine geringere Konsistenz zurück zu führen ist. Es wurden zusätzlich Taschenpenetrometer-Untersuchungen im Tiefenbereich zwischen ca. 5,6 m bis 15,7 m u. GOF in den bindigen Horizonten der Kernbohrung BK 4 durchgeführt. Es wurden undrainierte Scherfestigkeiten c_u zwischen 50 und 225 kN/m² festgestellt. Diese Feldversuche bestätigen das v.g. grundsätzliche Verhalten des Frankfurter Tons bzgl. seiner tiefenabhängigen Zunahme der undrainierten Scherfestigkeit und des Steifemoduls.

1.5.2 Ergebnisse der der felsmechanischen Laborversuche

Die durchgeführten felsmechanischen Laborversuche sind in den folgenden Tabellen aufgeführt.

Es wurden einaxiale Druckversuche nach DIN 18 141-1 an ausgewählten Festgesteinsproben durchgeführt. Die Ergebnisse sind in nachfolgender Tabelle 1.5-9 einzusehen.

Aufschluss	Tiefe	Schicht	Gestein	Einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	E-Modul [MN/m ²]
Tertiär - Hydrobienschichten (Schicht 3)					
BK 1	30,1 – 30,3	3	Kalkstein	61,93	12.314,0
BK 1	30,3 – 30,65	3	Kalkstein	45,7	15.197,5
BK 1 (1/2)	33,0 – 33,6	3	Kalkstein	106,40	22.270,5
BK 1 (2/2)	33,0 – 33,6	3	Kalkstein	80,48	16.837,9
BK 3	23,5 – 23,7	3	Kalkstein	34,80	7.333,3

Tabelle 1.5-9: Ergebnisse der Einaxialen Druckversuche an ausgewählten Festgesteinsproben

An ausgewählten Handstücken wurden Punktlastversuche durchgeführt. Die Ergebnisse sind der nachfolgenden Tabelle 1.5-10 zu entnehmen.

Auf- schluss	Tiefe [m]	Schicht	Gestein	i _{S(60)}	Abschätzung einaxiale Druckfes- tigkeit [MN/m²]	
					ISRM	HUDSON
Tertiär - Hydrobienschichten (Schicht 3)						
BK 1	22,0 – 22,8	3	Kalkstein	7,24	173,76	159,28
				7,11	170,57	156,36
				3,79	90,90	83,32
				5,98	143,41	131,46
				3,34	80,23	73,54
BK 1	25,7 – 26,5	3	Kalkstein	2,99	71,82	65,83
				2,42	58,14	53,29
				0,06	1,4 Bruch an Trennfläche	1,28 Bruch an Trennfläche
				0,66	15,86	14,53
BK 3	21,3 – 21,5	3	Kalkstein	1,75	42,06	38,56
				3,35	80,35	73,65
BK 3	21,5 – 22,15	3	Kalkstein	5,49	131,67	120,70
				7,42	178,16	163,31
				7,87	188,77	173,04
				4,5	108,06	99,05
BK 4	17,45 – 18,60	3	Kalkstein	2,04	48,90	44,82
				3,91	93,85	86,03
				4,60	110,36	101,17
				6,45	154,86	141,95
				4,68	112,22	102,87

Aufschluss	Tiefe [m]	Schicht	Gestein	$i_{s(60)}$	Abschätzung einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	
					ISRM	HUDSON
BK 4	23,35 – 24,30	3	Kalkstein	8,78	210,67	193,12
				7,00	167,89	153,89
				6,38	153,14	140,38
				8,20	196,88	180,47
				5,79	138,85	127,28

Tabelle 1.5-10: Ergebnisse der Punktlastversuche

Die Ergebnisse der Abrasivitätsuntersuchungen sind in nachfolgender Tabelle 1.5-9 einzusehen.

Aufschluss	Tiefe	Schicht	Gestein	Abriebindex CAI A_{IN}	Einstufung nach Cerchar
Tertiär - Hydrobienschichten (Schicht 3)					
BK 1	10,0 – 10,75	3	Kalkstein	0,9	schwach abrasiv
BK 1	21,1 – 22,0	3	Kalkstein	1,0	abrasiv
BK 1	27,45 – 28,0	3	Kalkstein	0,8	schwach abrasiv
BK 1	28,0 – 29,0	3	Kalkstein	0,7	schwach abrasiv
BK 1	29,0 – 29,75	3	Kalkstein	0,1	nicht abrasiv
BK 1	31,0 – 31,35	3	Kalkstein	1,2	abrasiv
BK 1	32,75 – 33,0	3	Kalkstein	1,0	abrasiv
BK 3	6,3 – 6,5	3	Kalkstein	0,3	nicht bis kaum abrasiv
BK 3	8,4 – 9,6	3	Kalkstein	0,3	nicht bis kaum abrasiv
BK 3	21,5 – 22,15	3	Kalkstein	0,3	nicht bis kaum abrasiv
BK 3	23,5 – 23,7	3	Kalkstein	0,6	schwach abrasiv
BK 4	7,35 – 8,3	3	Kalkstein	0,9	schwach abrasiv

Aufschluss	Tiefe	Schicht	Gestein	Abriebindex CAI A _{IN}	Einstufung nach Cerchar
BK 4	8,55 – 8,95	3	Kalkstein	1,2	abrasiv
BK 4	17,45 – 18,6	3	Kalkstein	0,4	kaum abrasiv
BK 4	23,35 – 24,3	3	Kalkstein	1,1	abrasiv
BK 4	25,3 – 26,0	3	Kalkstein	1,6	abrasiv

Tabelle 1.5-11: Bestimmung der Schleifwirkung von Gestein gemäß NF P 94-430-1 an Felsproben

Aus zahlreichen Bauprojekten in Frankfurt ist bekannt, dass die Abrasivität des Kalksteins u.a. in Abhängigkeit des Quarzgehaltes deutlich höher sein, als die o.g. Einstufung.

1.5.3 Klassifizierung für bautechnische Zwecke

Nach den Erkundungsergebnissen sowie den Kenntnissen u.a. aus Archivunterlagen lassen sich die im Projektgebiet zu erwartenden Böden wie folgt geotechnisch klassifizieren.

Schicht-Nr.	Bodenart	Klassifizierung nach DIN		Frostempfindlichkeit ²⁾	Verdichtbarkeit ³⁾
		18 196	18 300 ¹⁾		
1	Auffüllungen	A [GE, GW, GU, GT, GT*, SE, UL, UM]	3 - 5, (6 - 7) ⁵⁾	F 1 - F 3	V 2 - V 3
2	Quartär <i>bindig</i> <i>rollig</i>	TM, TL, TA GT	4 - 5 3 - 4	F3 F2	V3 V 2
3	Tertiär, Hydrobienschichten	Z, TA, TM, TL, SU, SU*	6 - 7 und 3 - 5 (2) ⁴⁾	F 2 - F 3	V 2 - V 3 - teilw. nicht verdichtbar

1) gemäß DIN 18 300:2012-09

2) Nach ZTV E-StB 17, Tab. 3 (F1 nicht frostempfindlich, F3 sehr frostempfindlich).

3) V1 = verdichtbar, V2 = eingeschränkt verdichtbar, V3 = schwer verdichtbar

4) Der angegebene Boden kann bei Wassersättigung infolge Störung der Lagerung in eine fließende Bodenart übergehen

5) Bodenklasse 6 und 7 bei entsprechendem Steinanteil und Schutt

6) Bezeichnung nach DIN 4023

Tabelle 1.5-12: Bodenklassifizierung

Die Angabe der Boden- und Felsklassen der Tabelle 1.5-12 nach der zurückgezogenen DIN 18 3xx (Ausgabe 2012) erfolgt informativ. Seit 2015 ist Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen.

Bei der Festlegung der Homogenbereiche sind einsetzbare Bauverfahren und Baugeräte zu berücksichtigen. Eine vorläufige Einteilung in Homogenbereiche wird in Kap. 1.6 Homogenbereiche vorgenommen.

Die **Rammpbarkeit** der Bodenschichten für Spundwände, Stahlträger und Rammpfähle ist wie in der nachfolgenden Tabelle 1.5-13 zusammengestellt einzuschätzen. In den Auffüllungen muss wegen Steinen mit schwerer Rammfähigkeit oder auch fehlender Rammfähigkeit gerechnet werden. Bei schwer rammbaren Böden und Böden die Rammhindernisse enthalten (siehe Tabelle 1.5-13) ist die Rammpbarkeit ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen möglich. Es ist davon auszugehen, dass in Abhängigkeit der erforderlichen Einbindetiefen Zusatzmaßnahmen wie z.B. Lockerungsbohrungen oder Austauschbohrungen erforderlich werden. Dies ist im Zuge der weiteren Planung und bei der Ausschreibung zu beachten.

Schicht-Nr.	Boden	Rammpbarkeit ¹⁾
1	Auffüllungen	leicht – mittelschwer ¹⁾
2	Quartär	leicht – mittelschwer ¹⁾²⁾
3	Hydrobienschichten	nicht rammpbar ³⁾

1) Bezeichnungen gemäß Grundbau-Taschenbuch, 8. Auflage, Ernst & Sohn Verlag

2) Genesebedingt sind Steine / Gerölle

3) Kalksteinlagen vorhanden

Tabelle 1.5-13: Rammpbarkeit der anstehenden Schichten

Bindige Böden (z.B. der quartäre Auelehm, tertiäre Tone) können bei Wassersättigung und Lagerungsstörung (z.B. dynamische Beanspruchung, Überfahrten, etc.) in eine fließende Bodenart übergehen.

1.5.4 Bodenkennwerte

Gemäß DIN EN 1997-1 (Eurocode 7) ist der charakteristische Wert einer geotechnischen Kenngröße als „eine vorsichtige Schätzung desjenigen Wertes festzulegen, der im Grenzzustand wirkt.“ Unter Berücksichtigung dieser Definition lassen sich auf Basis der Untersuchungen und von umfangreichen Erfahrungen mit den im Projektgebiet anstehenden Böden die in Tabelle 1.5-14 zusammengestellten charakteristischen Bodenkennwerte angeben. Lokale Abweichungen sind möglich.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden γ_k [kN/m ³]	Wichte unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	Reibungswinkel φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Undrainierte Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
1	Auffüllungen	18	8	25	2	10	10
2a	Quartär, gemischtkörnig	19	10	32,5	0	0	40
2b	Quartär, bindig	19	9	25,0	5	20	10
3	Hydrobienschichten ³⁾	19-20	9-10	20	20	>10 m: 100 <10 m: 150 2)	<5 m: 20 5-10 m: 40 >10 m: 60 2)

1) Ermittlung des Steifemoduls $E_{s,k}$ für den Laststeigerungsbereich 0 bis 300 kN/m²

2) Werte ab GOK

3) Berechnungskennwerte für das Schichtpaket

Tabelle 1.5-14: Charakteristische Bodenkennwerte

1.5.5 Felsmechanische Kennwerte

Für das anstehende Festgestein lassen sich die folgenden charakteristischen Kennwerte angeben.

Schicht-Nr.	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Einax. Druckfestigkeit Gestein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-Modul Gebirge E_k [MN/m ²]
3	Kalkstein in Hydrobien	20 – 26	17,5 – 25 ¹⁾	100	2 – 100 (200)	200 – 10.000 (25.000)

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

Klammerwerte: Maximalwerte

Tabelle 1.5-15: Charakteristische felsmechanische Kennwerte

1.6 Homogenbereiche

1.6.1 Allgemeines

Boden und Fels ist gemäß den Normen der VOB/C (seit der Ausgabe 2015) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen. Ein Homogenbereich ist dabei ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für die in den einzelnen Gewerken einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist. Die Homogenbereiche sind somit ggf. gewerkespezifisch festzulegen und hängen von den einsetzbaren Baugeräten ab. Da die geplanten Bauverfahren zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht festgelegt waren, erfolgt eine vorläufige Einteilung auf Basis der empfohlenen Verfahren gemäß Kap. 5, die im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten ist.

Umweltrelevante Inhaltsstoffe wurden bei der Einteilung der Homogenbereiche nur dann berücksichtigt, wenn Sie eine offensichtliche Auswirkung auf das Bauverfahren/Baugerät haben oder den Aufwand beim Arbeiten mit diesen Stoffen beeinflussen. Dies wurde immer dann unterstellt, wenn es sich um gefährlichen Abfall nach der AVV handelt. Sofern eine umwelttechnische Belastung sich im Wesentlichen nur auf die Entsorgungskosten auswirkt, wurde keine Unterteilung in den Homogenbereichen ausgewiesen. Es wird empfohlen die Entsorgung in solchen Fällen über eigene Positionen in der Ausschreibung zu regeln.

Die Homogenbereiche und die angegebenen Eigenschaften beschreiben den Zustand des Bodens und Fels vor dem Lösen. Bei den aufgeführten Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für Berechnungen, sondern um mögliche Spannbreiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit von Boden und Fels verwendet werden können.

Die Einteilung der Homogenbereiche ist zur Ausschreibung unter Berücksichtigung der geplanten Bauverfahren vom Planer und geotechnischen Gutachter zu überprüfen und ggf. anzupassen.

Bauzeitliche Überprüfungen sind mit Versuchen nach den in der Tabelle 1.6-1 aufgeführten Prüfvorschriften durchzuführen.

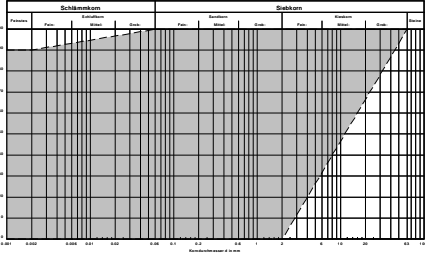
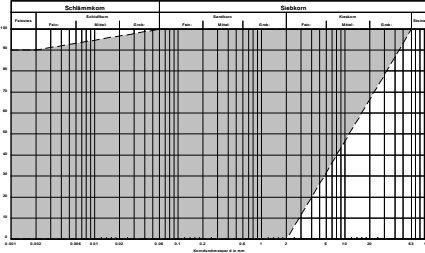
Eigenschaft / Kennwert		Prüfung/Prüfvorschrift
Bodenmechanik	Korngrößenverteilung	DIN EN ISO 17 892-4
	Massenanteil Steine, Blöcke, große Blöcke	Aussortieren, Vermessen, Wiegen
	Mineralogische Zusammensetzung der Steine und Blöcke	DIN EN ISO 14 689
	natürliche Dichte / Feuchtdichte	DIN EN ISO 17 892-2
	undrainierte Scherfestigkeit c_u	DIN 4094-4
	Kohäsion c'	DIN EN ISO 17 892-10
	Sensitivität c_{Rv}/c_{Rv}	DIN 4094-4
	Wassergehalt w_n	DIN EN ISO 17 892-1
	Plastizitätszahl I_P	DIN EN ISO 17 892-12
	Konsistenzzahl I_c	DIN EN ISO 17 892-12
	Durchlässigkeit k_f	DIN EN ISO 17 892-11
	bezogene Lagerungsdichte I_D	DIN 18 126 in Verbindung mit Dichtebe- stimmung nach DIN EN ISO 17 892-2
	organischer Anteil v_{gl}	DIN 18 128
	Kalkgehalt v_{ca}	DIN 18 129
	Sulfatgehalt (säurelöslich)	DIN 4030-2
	Bodengruppe	DIN 18 196
	Abrasivität	LCPC-Test nach NF P18-579
Felsmechanik	Dichte / Feuchtdichte	DIN EN ISO 17 892-2
	Verwitterung und Veränderungen/Ver- änderlichkeit	DIN EN ISO 14 689
	Kalkgehalt v_{ca}	DIN 18 129
	Sulfatgehalt (säurelöslich)	DIN 4030-2
	einaxiale Druckfestigkeit	DIN 18 141-1
	Trennflächenrichtung, Trennflächenab- stand, Gesteinskörperform	DIN EN ISO 14 689
	Öffnungsweite und Kluftfüllung von Trennflächen	DIN EN ISO 14 689
	Gebirgsdurchlässigkeit	DIN EN ISO 22282-4

Eigenschaft / Kennwert		Prüfung/Prüfvorschrift
	Abrasivität	DGGT-Empfehlung Nr. 23: „Bestimmung der Abrasivität von Gesteinen mit dem CERCHAR-Versuch“ des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“
	Spaltzugfestigkeit	DGGT-Empfehlung Nr. 10: „Indirekter Zugversuch an Gesteinsproben — Spaltzugversuch“ des AK 3.3 „Versuchstechnik Fels“

Tabelle 1.6-1: Für eine Überprüfung der Eigenschaften und Kennwerte der Homogenbereiche anzuwendende Prüfverfahren

1.6.2 DIN 18 300 Erdarbeiten

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Bagger mittlerer Leistungsklasse ausgeführt wird, der Boden zumindest zum Teil auf der Baustelle zwischengelagert wird und vor Ort wieder eingebaut und verdichtet wird. Daher berücksichtigen die Homogenbereiche sowohl das Lösen als auch den Wiedereinbau und die Verdichtung. Sollte ein Wiedereinbau nicht vorgesehen sein, können die Homogenbereiche weiter zusammengefasst werden. In der nachfolgenden Tabelle 1.6-2 und der Tabelle 1.6-3 ist die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Erdarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche angegeben. Es wird davon ausgegangen, dass der Aushub maximal bis in eine Tiefe von ca. 92,9 m DB_REF erfolgt, sodass nur bis in diese Tiefe Homogenbereiche für Erdarbeiten ausgewiesen werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Erd-A	Erd-B
Schicht Nr.	1, 2	3
ortsübliche Bezeichnung	Kies, Sand, Schluff, Ton <i>Auffüllungen/Quartär</i>	Ton, Sand <i>Tertiär</i>
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾		
Massenanteil		
Steine [%]	< 20	< 20
Blöcke [%]	< 5	< 5
große Blöcke [%]	< 5	< 5
natürliche Dichte [g/cm³]	1,6 - 2,3	1,6 - 2,3
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m²]	0 - 40	10 - 300
Wassergehalt w_n [%]	0 - 40	0 - 40
Plastizitätszahl I_p	5 - 50	5 - 50
Konsistenzzahl I_c / Bezeichnung ¹⁾	0,5 – 1 weich – steif	0,1 bis > 1 breiig – halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ¹⁾	0,15 – 0,85 locker – dicht	0,15 – 0,85 locker – dicht
organischer Anteil v_{gl} / Bezeichnung ¹⁾	0 – 20 % nicht – mäßig organisch	0 – 20 % nicht – mäßig organisch
Bodengruppe	UL, UM, TL, TM, TA, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*	UL, UM, TL, TM, TA, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und Große Blöcke

Tabelle 1.6-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Boden

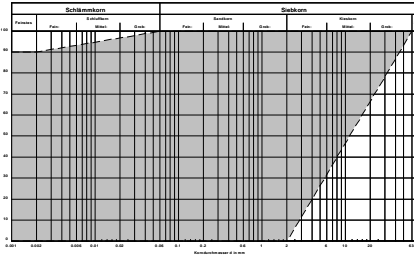
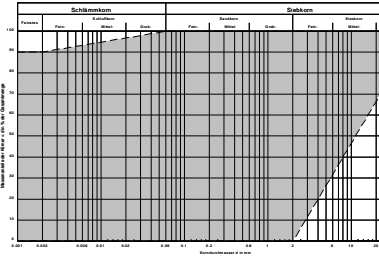
Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-C
Schicht Nr.	3
ortsübliche Bezeichnung	Kalkstein, (untergeordnet) Kalksandstein <i>Hydrobienschichten, Tertiär</i>
Benennung von Fels	Kalkstein, Kalksandstein
Dichte [g/cm ³]	1,9 – 2,6
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	frisch, schwach – vollständig verwittert nicht veränderlich – veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	15 – 250
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: - Fallwinkel: - Trennflächenabstand: 10 – 550 mm Gesteinskörper: Kalkstein, Kalksandstein ¹⁾

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

Tabelle 1.6-3: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten im Festgestein

1.6.3 DIN 18 301 Bohrarbeiten

Für die Pfahlgründung / eine Rückverankerung eines Verbaus können für die Bohrarbeiten die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Bohrarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß Tabelle 1.6-4 und Tabelle 1.6-5 verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die erforderlichen Bohrungen durch Großbohrgeräte / Ankerbohrgeräte / Laffettenbohrgeräte ausgeführt werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Bohr-A	Bohr-B
Schicht Nr.	1, 2	3
ortsübliche Bezeichnung	Kies, Sand, Schluff, Ton <i>Auffüllungen/Quartär</i>	Ton, Sand <i>Tertiär</i>
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾		
Massenanteil		
Steine [%]	< 20	< 20
Blöcke [%]	< 5	< 5
große Blöcke [%]	< 5	< 5
Kohäsion c' [kN/m ²]	0 – 10	10 - 50
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	0 - 40	10 - 300
Wassergehalt w_n [%]	0 - 40	0 - 40
Plastizitätszahl I_p	5 - 50	5 - 50
Konsistenzzahl I_c / Bezeichnung ¹⁾	0,5 – 1 weich – steif	0,1 bis > 1 breiig – halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ¹⁾	0,15 – 0,85 locker – dicht	0,15 – 0,85 locker – dicht
LCPC-Abrasivitäts-Koeffizient LAK [g/to] / Bezeichnung ³⁾	nicht bis abrasiv	nicht bis abrasiv
Bodengruppe	UL, UM, TL, TM, TA, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*	UL, UM, TL, TM, TA, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und Große Blöcke

3) Begriffe Empfehlung Nr. 24 des Arbeitskreises 3.3 – Versuchstechnik Fels – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Tabelle 1.6-4: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten in Boden

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-C
Schicht Nr.	3
ortsübliche Bezeichnung	Kalkstein <i>Tertiär</i>
Benennung von Fels	Kalkstein <i>Tertiär</i>
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit	frisch, schwach – vollständig verwittert nicht veränderlich – veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	15 – 250
Cerchar-Abrasivitätsindex CAI [-] / Bezeichnung ²⁾	0,1 – 6,0 / nicht bis extrem abrasiv
Trennflächenrichtung, Trennflä- chenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: - Fallwinkel: - Trennflächenabstand: 10 – 550 mm Gesteinskörper: Kalkstein, Kalksandstein ¹⁾

1) Bezeichnung nach DIN EN ISO 14 689

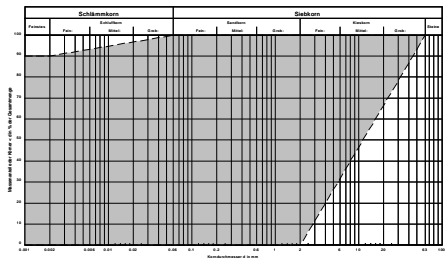
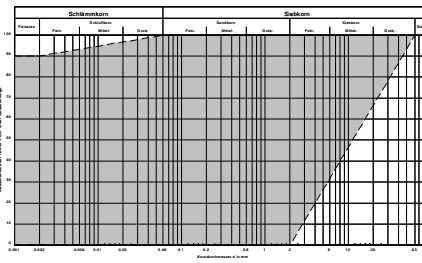
2) Begriffe Empfehlung Nr. 23 des Arbeitskreises 3.3 – Versuchstechnik Fels – der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.

Tabelle 1.6-5: Homogenbereiche gemäß DIN 18 301 für Bohrarbeiten im Festgestein

Aufgrund der örtlich in den Kalksteinen festgestellten einaxialen Druckfestigkeiten von > 120 MN/m², ist stellenweise damit zu rechnen, dass zusätzliche Maßnahmen zum Bohren z.B. kleinkalibriges Vorbohren, Meißeln, Kernbohrung mit Rollenmeißeln o.Ä. notwendig sind und sollten vorbereitet sein.

1.6.4 DIN 18 304 Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten

Für Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten können die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß Tabelle 1.6-6 verwendet werden. Die Einteilung in Homogenbereiche gilt dabei für ein Rammgerät mit starrer Führung und schwerem Rammbar oder Vibrator. Für ein Anbaugerät an den Hydraulikarm eines Baggers (z.B. bei gleisgebundenen Arbeiten an ein 2-Wege-Gerät) sind z. T. nur um mehrere Meter geringere Rammtiefen möglich.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Ramm-A	Ramm-B
Schicht Nr.	1, 2	3
ortsübliche Bezeichnung	Kies, Sand, Schluff, Ton <i>Auffüllungen/Quartär</i>	Ton, Sand <i>Tertiär</i>
Korngrößenverteilung mit Korngrößenband ²⁾		
Massenanteil		
Steine [%]	< 20	< 20
Blöcke [%]	< 5	< 5
große Blöcke [%]	< 5	< 5
Wassergehalt w_n [%]	0 - 40	0 - 40
Plastizitätszahl I_p	5 - 50	5 - 50
Konsistenzzahl I_c / Bezeichnung ¹⁾	0,5 – 1 weich – steif	0,1 bis > 1 breiig – halbfest
bezogene Lagerungsdichte I_D / Bezeichnung ¹⁾	0,15 – 0,85 locker – dicht	0,15 – 0,85 locker – dicht
Bodengruppe	UL, UM, TL, TM, TA, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*	UL, UM, TL, TM, TA, SW, SU, SU*, ST, ST*, GW, GU, GU*, GT, GT*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Das Körnungsband bezieht sich nur auf den Massenanteil ohne Stein, Blöcke und Große Blöcke

Tabelle 1.6-6: Homogenbereiche gemäß DIN 18 304 für Ramm-, Rüttel- und Pressarbeiten in Boden

1.7 Hydrogeologische Verhältnisse

Der nächstgelegene und größte Vorfluter im Untersuchungsgebiet ist der ca. 1 km nördlich liegende Main. Im Süden steigt das Gelände an („Sachsenhäuser Berg“). Es ist somit davon auszugehen, dass die Grundwasserströmungsrichtung überwiegend in Richtung Norden ausgerichtet ist.

Grundsätzlich ist das Grundwasser in der Regionalgeologie in zwei Horizonten anzutreffen:

- in den gemischtkörnigen Böden des Quartärs als zirkulierendes Porengrundwasser

- unregelmäßig in primär nichtbindigen Horizonten des Tertiärs / Hydrobien – also in den zwischengeschalteten Sanden oder Kalksteinen

In den Hydrobien (Schicht 3) kann das Grundwasser sowohl gespannt als auch ungespannt vorliegen. Die wasserführenden tertiären Horizonte bilden in der Regel keinen durchgehenden Grundwasserleiter aus, sondern schwimmen in einer tonigen Matrix [U 2]. Die beiden o.g. Grundwasserhorizonte korrespondieren erfahrungsgemäß über hydraulische Fenster, so dass die Druckhöhe des gespannten Grundwassers im Tertiär i.d.R. dem Wasserstand im Quartär entspricht.

Es ist aufgrund von Durchlässigkeitsunterschieden Stauwasser bis in Höhe der Geländeoberfläche bzw. oberhalb vom Tertiär zu rechnen. Diese weisen in der Regel eine geringe Ergiebigkeit auf und bluten bei Anschnitt relativ schnell aus.

Grundwasser wurde bei der aktuellen Bohrkampagne in 2023 in einer Tiefe zwischen 4,5 m und 6,0 m u. Gelände, also nur im Tertiär, festgestellt (vgl. Tabelle 1.7-1).

Grundwassermessstellen sind gemäß Fachinformationssystem Grundwasser- und Trinkwasserschutz Hessen (GruSchu) des Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie in greifbarer Entfernung nicht vorhanden, sodass auf entsprechende Messdaten nicht zurückgegriffen werden konnte. Zu einer im Zuge von [U 2] erstellten Grundwassermessstelle liegen leider keine Messdaten vor und sie wurde in der Örtlichkeit auch nicht aufgefunden. Die aktuelle Erkundungsbohrung BK 4 wurde im Rahmen des Projekts zu einer Grundwassermessstelle (BK-GWM 4) ausgebaut und mit einem Datenlogger ausgestattet. Wir empfehlen die Messdaten der GWM bis zum Beginn der Baumaßnahme regelmäßig zu erfassen und auszuwerten.

Während der aktuellen Erkundung wurde Wasser angetroffen. Die angetroffenen Wasserstände sind in Tabelle 1.7-1 zusammengefasst.

Bohrung	Datum	Höhe Bohrung [m DBREF]	Wasser angebohrt		Wasser nach Bohrende		Schicht
			[m uGOF]	[m DBREF]	[m uGOF]	[m DBREF]	
BK1	12.06.23	98,06	4,40	93,66	-	-	
BK1	19.06.23	98,06	-	-	3,30	94,76	
BK3	21.06.23	98,82	3,90	94,92	-	-	
BK3	28.06.23	98,82	4,81	94,01	-	-	

Bohrung	Datum	Höhe Bohrung	Wasser angebohrt		Wasser nach Bohrende		Schicht
		[m DBREF]	[m uGOF]	[m DBREF]	[m uGOF]	[m DBREF]	
BK-GWM 4	12.07.23	99,21	7,50	91,71	-	-	

Tabelle 1.7-1: Angetroffene Wasserstände während der Baugrunderkundung

Die in der Grundwassermessstelle BK-GWM 4 Ruhewasserstände sind in Tabelle 1.7-2 zusammengefasst dargestellt.

GWM	Datum	Höhe GWM POK	Höhe GWM GOK	Ruhewasserstand		
		[m DB_REF]	[m DB_REF]	[m u. POK]	[m u. GOK]	[m DB_REF]
BK-GWM4	17.07.23	100,18	99,21	5,00	4,03	95,18
BK-GWM4	01.08.23	100,18	99,21	4,70	3,73	95,48

Tabelle 1.7-2: Ruhewasserstände der BK 4 / GWM 4

Zwischenzeitlich wurde die erstellte Tertiärmessstelle GWM BK 4 mit einem Datenlogger ausgestattet. Innerhalb der Messreihe vom 17.08.2023 bis 29.02.2024 wurden folgende Druckhöhen beobachtet:

Max: 96,3 m NHN

Min: 95,4 m NHN

Mittel: 95,9 m NHN

Durch die Projektleitung der DB wurden weitere Messdaten aus Grundwassermessstellen zur Verfügung gestellt ([U 11]), die bei unserer Bewertung herangezogen wurden. Die Messstelle GWM 18/20 im Bereich Mörfelder Landstraße / Oppenheimer Landstraße weist für den Messzeitraum 27.09.2022 bis 06.02.2024 folgende Druckhöhen auf:

Max: 95,43 m NHN

Min: 95,25 m NHN

Mittel: 95,33 m NHN

Die gemessene Druckhöhe liegt in den tertiären Böden der Schicht 3.

Auch die weiteren 30 betrachteten Bestandsaufschlüsse [U 2], [U 11] bis [U 13] weisen überwiegend das Fehlen quartärer Böden der Schicht 2 und - wenn überhaupt – Wasser lediglich im Tertiär (Schicht 3) aus. Ein durchgehender Porengrundwasserleiter mit zirkulierendem Grundwasser ist also nicht vorhanden.

Einzelne quartäre Linsen mit Stauwasser können jedoch nicht ausgeschlossen werden. So wurde in einer ca. 100 m entfernten Bohrung [U 12] Wasser im Quartär auf einem Niveau von 95,2 mNN festgestellt. Die Unterkante des Quartärs bzw. Oberkante des darunter befindlichen, gering durchlässigen Tertiärs wurde in dieser Bohrung bei 95,1 mNN aufgeschlossen. Die Mächtigkeit dieser quartären Linse beträgt also nur einen Dezimeter und somit nur ein geringes Wasserdargebot.

Die Bewertung der Grundwasserstände wurde nach DIN EN 1997-2, 3.6.3 auf Grundlage der verfügbaren Informationen vorgenommen. Da zuverlässige Daten von Langzeitmessungen für den unmittelbaren Bereich des geplanten Bauwerks fehlen, ist es erforderlich, Annahmen für die Planung und statischen Berechnungen für die Bauzeit und den Endzustand vorsichtig auf Grundlage der begrenzt verfügbaren Informationen abzuschätzen.

Ein durchgehender Grundwasserhorizont ist wie oben beschrieben nicht zu erwarten, insofern werden zur Verdeutlichung keine Bemessungswasserstände sondern die Druckhöhe des tiefer liegenden, gespannten tertiären Grundwassers der Schicht 3 angegeben.

Druckhöhe Bauzeit

96,5 m im DB_REF

Druckhöhe Endzustand

97,0 m im DB_REF

Für Fragen der Abdichtung und der Materialbeanspruchung mit Wasser (Beanspruchung wasserempfindlicher Böden, Angriffsgrad, etc.) ist der maßgebliche Wasserstand bzw. die Wasserwechselzone auch aufgrund der zu erwartenden Stau- und Schichtwässer bis auf Geländehöhe anzusetzen.

Soweit durch rückstaufreie Drainagemaßnahmen der Aufstau bzw. die Einwirkung von Wasser an den jeweiligen Bauwerken/Bauteilen sowie der Verkehrsanlage wirkungsvoll verhindert wird, kann der Bemessungswasserstand auf die jeweilige Rohroberkante der Drainage abgesenkt werden. Die Bandbreiten der Durchlässigkeitsbeiwerte für die anstehenden Schichten sind in der Tabelle 1.7-3 angegeben.

Es ist insbesondere in den Wechselfolgen der Hydrobien von einer ausgeprägten Anisotropie der Durchlässigkeiten auszugehen, d. h. sie sind parallel der Schichtung durchlässiger als senkrecht dazu.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeitsbeiwert k_f [m/s]	Durchlässigkeitsbereich ¹⁾
1	Auffüllungen	1×10^{-4} bis 1×10^{-9}	stark bis sehr schwach durchlässig
2	Quartär <i>bindig</i> <i>rollig</i>	1×10^{-6} bis 1×10^{-9} 1×10^{-2} bis 1×10^{-5}	schwach bis sehr schwach durchlässig stark durchlässig bis durchlässig
3	Hydrobien- schichten	1×10^{-4} bis 1×10^{-11}	(stark) durchlässig bis sehr schwach durchlässig ²⁾

1) Bezeichnung gemäß DIN 18 130

2) nur die rolligen Lagen sind durchlässig

Tabelle 1.7-3: Durchlässigkeitsbeiwerte der Schichten

Für die Einleitung in den Mischwasserkanal sind die Ergebnisse der Laboruntersuchungen nach den Einleitrichtlinien der Stadtentwässerung Frankfurt zu beachten. Die Grundwasserprobe P9286_Moerf.Landstr._GW1 wurde auf die Einleitrichtlinie der Stadtentwässerung Frankfurt mit Stand vom 19.12.2018 [U 29] analysiert und den Richtwerten gegenübergestellt.

An der Grundwasserprobe P9286_Moerf.Landstr._GW1 wurde neben den Einleitrichtlinien der Stadtentwässerung Frankfurt der Betonangriffsgrad nach DIN 4030 untersucht (siehe Anlage 4.2). Aufgrund eines leicht erhöhten Anteils kalklösender Kohlensäure in der Wasserprobe ist das Grundwasser der Expositionsklasse XA 1 (schwach angreifend) nach DIN 4030 zuzuordnen.

Zusätzlich wurde die Wasserprobe auf die nach der DIN 50 929 geforderten Analysenparameter zur Feststellung des Metallangriffsgrads untersucht. Im Ergebnis ist von einer geringen Mulden- und Lochkorrosion und einer sehr geringen Flächenkorrosion von unlegierten Stählen an der Wasser-/Luftgrenze auszugehen.

1.8 Wasserwirtschaftliche Verhältnisse

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß den Onlineportalen des HLNUG [U 2] außerhalb von Trinkwasser- und Heilquellenschutzgebieten sowie gemäß [U 7] außerhalb von Risikogebieten im Falle von Hochwasserereignissen. Aus Erfahrungen im Projektgebiet ist jedoch bei starken Niederschlägen im Bereich der EÜ, aufgrund einer derzeit unterdimensionierten Entwässerung und kleinräumigen morphologischen Vertiefung, mit lokalen Überschwemmungen zu rechnen.

Trinkwasserbrunnen sind gemäß den Onlineportalen des HLNUG [U 2] im Umfeld des Projektgebiets nicht vorhanden.

1.9 Erdbebenzone

Gemäß DIN EN 1998-1/NA sowie der Erdbebenzonenkarte nach DIN 4149 liegt das Projektgebiet in der **Erdbebenzone 0** sowie **empfohlenen Untergrundklasse T** (Übergangsbereich zwischen Gebieten mit felsartigem Untergrund und Beckenstrukturen). Als Baugrundklasse empfehlen wir die **Baugrundklasse B** anzunehmen.

2. UMWELTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN

2.1 Bodenaushub

Aus den entnommenen Einzelproben der Bohrungen wurden insgesamt 11 Bodenmischproben zusammengestellt und analysiert. Die Mischproben wurden zur Festlegung der Verwertungsmöglichkeiten gemäß den Vorgaben der ErsatzbaustoffV untersucht. Eine Übersicht zur Probenbildung ist der Tabelle 2.1-1 zu entnehmen. Die dazugehörigen Probenprotokolle liegen dem Bericht als Anlage 7.1 bei. Aufgrund der Überschreitungen von Grenzwerten der Proben MP 2, MP 3, MP 5, MP 6, MP 7 und BK 1_G.11 wurden Nachanalysen durchgeführt. Die durchgeführten Untersuchungen wurden in der nachfolgenden Tabelle ergänzt.

Probenbezeichnung	Aufschluss-Nr.	Tiefe von bis [m]	Art	Art und Menge des Fremdanteils	Untersuchungsumfang	Nachanalysen
P9286/BS2/MP1	BS 2	2,0-4,3	A (S, u', g')	(> 10 Vol.%)	BM-0*	-
P9286/BS6/MP2	BS 6	1,0–7,0	T, u, s'	(< 10 Vol.%)	BM-0*	-
MP 1	BK 1	0,0-1,35	A (G/U, s'-s)	Beton-, Glas-, Fliesen, Ziegelbruch (> 10 Vol.%)	BM-F	-
MP 2	BK 1	1,35-3,0	T, u', g', s'	keine	BM-0	Ergänzungspaket von BM-0 zu BM-F inkl. Thallium/Quecksilber + DepV
MP 3	BK 1	3,0-30,0	T, S, Kst	keine	BM-0	Ergänzungspaket von BM-0 zu BM-F inkl. Thallium/Quecksilber
MP 4	BK 3	0,0-2,0	A (G, s, t', u')	Ziegel-, Asphaltbruch (> 10 Vol.%)	BM-F	-
MP 5	BK 3	2,0-3,15	G/T, s, u'	keine	BM-0	Ergänzungspaket von BM-0 zu BM-F inkl. Thallium/Quecksilber +DepV
MP 6	BK 3	3,15-20,0	T, S, Kst	keine	BM-0	Ergänzungspaket von BM-0 zu BM-F inkl. Thallium/Quecksilber
MP 7	BK 4	0,0-5,4	A (G/S, u', t')	Beton-, Ziegelbruch, Aluminium (> 10 Vol.%)	BM-F	DepV
BK 1_G.11	BK 1	6,0-6,65	T, s*, u'	keine Fremdanteile, auffälliger Geruch	BM-0	DepV
BK 1_G.25	BK 1	12,55-23,0	T, s', u'	keine Fremdanteile, auffälliger Geruch	BM-0	-

Tabelle 2.1-1: Probenbildung und Untersuchungsumfang

Unter Berücksichtigung der Vorgaben der ErsatzbaustoffV wurden aufgrund eines mineralischen Fremdanteils von > 10 Vol.-% die Proben MP1, MP 4 und MP 7 gemäß dem Untersuchungsumfang BM-F untersucht. Alle anderen Proben mit einem FA von < 10 % wurden nach BM-0 bzw. BM-0* untersucht.

Aufgrund von organoleptischen Auffälligkeiten (auffälliger Geruch) wurden die Proben BK 1_G11 und BK 1_G25 als Einzelproben untersucht.

Die Originalanalytik und die Prüfverfahren für die Einzelparameter sowie die Probenprotokolle sind der Anlage 4.2 (Prüfberichte AR-23-JS-002870-01 der Eurofins Umwelt West GmbH sowie 2023PK06520 bis 2023PK06522, 2023PK07019 bis 2023PK07021, 2023PK07726 und 2023PW9711 der GEOTAIX Umwelttechnologie GmbH) zu entnehmen. Die Analysenergebnisse werden ebenfalls in der Anlage 4.2 den Materialwerten der ErsatzbaustoffV gegenübergestellt.

ERGEBNISSE: Anhand der Ergebnisse der chemischen Untersuchung werden die analysierten Proben unterschiedlichen Materialklassen gemäß ErsatzbaustoffV zugeordnet.

Die nachstehende Tabelle 2.1-2 liefert eine kurze Übersicht der Ergebnisse der chemischen Untersuchungen.

Probe	Einstufung	Einstufungsrelevante Parameter	
		Parameter	Konzentration
P9286/BS2/MP1	BM-0*	PAK n. EPA	3,51 mg/kg
P9286/BS6/MP2	BM-0	-	-
MP 1	BM-F1	el. Leitfähigkeit	378,0 µS/cm
MP 2	> BM-F3	el. Leitfähigkeit Sulfat (EL)	2.210,0 µS/cm 1.380 mg/l
MP 3	BM-F3	el. Leitfähigkeit Arsen (FS)	759,0 µS/cm 40,7 mg/kg
MP 4	BM-F0*	-	-
MP 5	> BM-F3	el. Leitfähigkeit Sulfat (EL)	2.490,0 µS/cm 1.530 mg/l

Probe	Einstufung	Einstufungsrelevante Parameter	
		Parameter	Konzentration
MP 6	BM-F3	el. Leitfähigkeit	1.180 µS/cm
MP 7	> BM-F3	el. Leitfähigkeit Sulfat (EL)	2.430,0 µS/cm 1580 mg/l
BK 1_G.11	> BM-F3	el. Leitfähigkeit Sulfat (EL)	2.340,0 µS/cm 1.400 mg/l
BK 1_G.25	BM-F3	el. Leitfähigkeit Sulfat (EL) Arsen (FS)	1.860,0 µS/cm 1.000 mg/l 52,0 mg/kg

Anm: FS = Feststoff, EL = Eluat

Tabelle 2.1-2: Bewertung der chemischen Untersuchungen gemäß ErsatzbaustoffV

Die Probe P9286/BS6/MP2 hält die Materialwerte der Materialklasse BM-0 ein.

Das Material der Probe P9286/BS2/MP1 ist unter Berücksichtigung der Materialwerte der ErsatzbaustoffV der Materialklasse BM-0* zuzuordnen.

Das Probenmaterial von MP3, MP 6 und BK1_G.25 hält die Materialwerte für die Materialklasse BM-F3 ein.

Die Mischproben MP 1, MP 4 und MP 7 wurden aufgrund des FA > 10 % nach BM-F analysiert. Dabei halten die Proben MP 1 und MP 4 die Materialwerte der Materialklasse BM-F1 bzw. BM-F0* ein. Die MP 7 überschreitet aufgrund erhöhter Sulfat-Konzentrationen sowie einer erhöhten elektrischen Leitfähigkeit die Materialwerte von BM-F3.

Die Proben MP 2, MP 5, und BK 1_G.11 überschreiten alle die Materialwerte von BM-F3 gemäß ErsatzbaustoffV. Grund für die Überschreitung ist der Parameter der elektrischen Leitfähigkeit, sowie im Einzelfall von Sulfat im Eluat. Eine Verwertung nach ErsatzbaustoffV ist ohne Abstimmung mit der zuständigen Behörde nicht möglich.

Die Einstufung bezieht sich auf die durchgeführte Analytik der untersuchten Feinfraktion. I.d.R. weist eine Analytik der Feinfraktion eine höhere Schadstoffbelastung auf, als eine Analytik in der Gesamtfraktion.

Die analysierten Proben, die der Materialklasse >BM-F3 zuzuordnen sind, wurden nach den Vorgaben der DepV nachanalysiert.

Wird bewertungsrelevant ausschließlich der Sulfatwert überschritten, ist gemäß ErsatzbaustoffV (Anlage 1, Tabelle 3, Fußnote 5) die Ursache zu prüfen. Handelt es sich dabei um naturbedingt erhöhte Sulfatkonzentrationen, ist eine Verwertung innerhalb der betroffenen Gebiete in Abstimmung mit der zuständigen Behörde möglich. Außerhalb dieser Gebiete ist über eine Verwertungseignung im Einzelfall zu entscheiden.

Bei der elektrischen Leitfähigkeit und/oder dem pH-Wert handelt es sich um stoffspezifische Orientierungswerte. Bei Abweichungen ist die Ursache zu prüfen und eine endgültige Einstufung ist in Abstimmung mit der zuständigen Behörde zu treffen.

Aufgrund des zu erwartenden zeitlichen Abstands zwischen der hier vorliegenden Untersuchung und dem Zeitpunkt der Baumaßnahme werden für die Entsorgung Deklarationsanalysen kurz vor der Baumaßnahme oder baubegleitend erforderlich. Die hier durchgeführten Untersuchungen stellen eine Vorabdeklaration dar.

2.2 Gleisbereich

Zur Bewertung des Gleisschotter im Bereich der EÜ wurde die Schottermischprobe P9286/SCH1 gemäß Altschotterverordnung der Ril 880.4010 analysiert. Des Weiteren wurde die Probe auf bahntypische Herbizide nach EBV, Tab. 4 untersucht.

Aufgrund erhöhter PAK-Gehalte im Gesamtschotter wurde die Mischprobe P9286/SCH1 dem Zuordnungswert **Z 1.2** gemäß Ril 880.4010 zugeordnet.

Aufgrund keiner Überschreitungen der analysierten Parameter (bahntypische Herbizide) wurde die Mischprobe P9286/SCH1 gemäß EBV, Tab. 4 mit dem Zuordnungswert **BM-F0*** eingestuft.

2.3 Entsorgung / Abfallschlüssel

Gemäß § 3 des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) wird unter dem Begriff Abfallentsorgung sowohl die Verwertung als auch die Beseitigung verstanden. Nach § 2 KrWG steht eine Wiederverwertung vor der Beseitigung (i.d.R. Deponie).

ENTSORGUNG: Bei den vorliegenden Untersuchungen zeigen sich keine Überschreitungen der Grenzwerte gemäß dem Hazard Check [U 31], daher handelt es sich um keinen gefährlichen Abfall. Das Material kann dementsprechend einer geeigneten Verwertung zugeführt werden.

ABFALLSCHLÜSSEL: In der nachfolgenden Tabelle werden für die anstehende Entsorgung Abfallschlüssel nach EWC/AVV vorgeschlagen. Die vorläufige Einstufung der Materialien erfolgte auf Grundlage vorliegender Altgutachten, organoleptischer Ansprachen und der durchgeführten chemischen Untersuchungen.

Material	AVV-Schlüssel	Abfallbezeichnung EWC (2001) / AVV
Bodenaushub (nicht gefährlich)	17 05 04	Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen
Boden-Bauschutt-Material Bodenanteil < 50 Vol. % (nicht gefährlich)	17 01 07	Gemische aus Beton, Ziegeln, Fliesen und Keramik mit Ausnahme derjenige, die unter 17 01 06 fallen

Tabelle 2.3-1: Abfallschlüsselnummern der anfallenden Materialien

Grundsätzlich sind Abfälle zu vermeiden und es ist eine Wiederverwertung vor Ort anzustreben. Entstandene Abfälle sind möglichst der Verwertung zuzuführen. Ist dies unmöglich muss der Abfall entsprechend KrWG §15 beseitigt werden. Für die ordnungsgemäße Entsorgung sind die nötigen Genehmigungen (Entsorgungsnachweise, vereinfachte Entsorgungsnachweise) bei den zuständigen Behörden durch den Auftraggeber / -nehmer einzuholen.

2.4 Deponieverordnung

Gemäß Artikel 3 der Mantelverordnung wurde die DepV angepasst. Material welches gemäß der ErsatzbaustoffV güteüberwacht und klassifiziert ist, kann ohne ergänzende Analytik als nicht gefährlicher Abfall der DK I oder als Inertabfall der DK 0 entsorgt werden. Bodenmaterial und Baggergut welches chemisch untersucht und einer Materialklasse zugeordnet ist, gilt als klassifiziert im Sinne der ErsatzbaustoffV.

Deponieklasse	In die DepV einzustufende Klassen gem. ErsatzbaustoffV
DK 0	BM-0, BM-0*, BM-F0*, BM-F1 , BG-0, BG-0*, BG-F0*, BG-F1
DK 1	BM-F2, BM-F3 , BG-F2, BG-F3, RC-1, RC-2, RC-3

Tabelle 2.4-1: Übersicht über die Einstufung nach DepV in Abhängigkeit der vorliegenden Ergebnisse aus der ErsatzbaustoffV

Werden die Materialwerte gemäß ErsatzbaustoffV für Bodenmaterial und Baggergut der BM-F3 bzw. BG-3 überschritten, wird eine Untersuchung und Bewertung gemäß Deponieverordnung notwendig.

ERGEBNISSE: Der nachfolgenden Tabelle 2.4-2 kann auf Basis der durchgeführten Analytik gemäß DepV, die Zuordnung des Materials in die Deponieklassen entnommen werden.

Probe	Einstufung nach DepV	Einstufungsrelevante Parameter	
		Parameter	Gehalte
MP 2	DK I	Sulfat gelöste Feststoffe	925 [mg/l] 1700 [mg/l]
MP 5	DK I	Sulfat gelöste Feststoffe	259 [mg/l] 470 [mg/l]
MP 7	DK I	Sulfat gelöste Feststoffe	392 [mg/l] 590 [mg/l]
BK_1_ G.11	DK I	Sulfat gelöste Feststoffe extra. lip. Stoffe	1700 [mg/l] 2700 [mg/l] 0,22 [M-%]

Tabelle 2.4-2: Bewertung der chemischen Untersuchungen gemäß DepV

Alle nach DepV analysierten Proben sind in die Kategorie DK I einzustufen. Gründe für die Einstufung sind bei allen Proben die Gehalte an Sulfat und gelöste Feststoffe. Bei der Probe BK_1_G.11 zudem der Parameter extra. lip. Stoffe.

3. BEWERTUNG DER GEOTECHNISCHEN UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

3.1 Baugrundbeurteilung

Die geplante Gründung kommt in den Hydrobien zu liegen. Die tertiären Sedimente setzen sich aus einer unregelmäßigen Wechsellagerung von meist ausgeprägt plastischen Tonen, Kalksteinen sowie Sanden zusammen. Die Hydrobienschichten sind, sofern Maßnahmen zur Begegnung mit dem Grundwasser getroffen werden, für die geplante Flachgründung geeignet. Eine Tiefgründung über Bohrpfähle ist in den Einheiten der Hydrobien ebenfalls möglich.

4. FOLGERUNGEN, HINWEISE/EMPFEHLUNGEN UND ANGABEN

4.1 Geotechnische Kategorie

Unter Berücksichtigung der Größe des Bauwerks, der Komplexität der Gründungsarbeiten und der erforderlichen Wasserhaltungsmaßnahmen wird das Bauwerk in die geotechnische Kategorie 2 nach Normenhandbuch EC 7 eingeordnet.

4.2 Gründung Widerlager

Da eine Tiefgründung aus bauphysikalischen Gründen bei den vorliegenden Randbedingungen (Arbeiten unter Hilfsbrücken) nur schwer zu realisieren ist, ist aus Projektsicht eine Flachgründung zu favorisieren. Zur Klärung der Machbarkeit einer Flachgründung wurden vorlaufend gesonderte Setzungsbetrachtungen durchgeführt, die in [U 4] dokumentiert sind.

Dementsprechend ist gemäß den aktuellen Planungsunterlagen [U 8] eine Flachgründung für die Widerlager 10 und 20 mit Fundamentplatten vorgesehen. Die Fundamentabmessungen beider Platten betragen gemäß [U 8] 18,23 m x 15,97 m bei einer Grundfläche von 291,13 m². Die Plattendicke

ist mit 1,80 m angegeben. Die Gründungssohle (GS) wird mit 95,3 m DB_REF angegeben. Die Gründungssohle liegt damit im Übergangsbereich zwischen Schicht 1 bzw. Schicht 2 und den tertiären Sedimenten der Schicht 3. Oberflächennah können diese häufig in aufgeweichtem Zustand anstehen, weshalb wir einen Bodenaustausch bis 2,0 m u. Gründungssohle empfehlen.

4.2.1 Flachgründung

Als Flachgründung ist zurzeit eine Plattengründung für beide Widerlager geplant. Zur Abschätzung der Setzungen wurden detaillierte Setzungsberechnungen mit dem Steifemodulverfahren unter Ansatz der von der Ingenieurgesellschaft KEMPA mbH übermittelten Bauwerksgeometrien und –lasten [U 8] durchgeführt, die in [U 4] dokumentiert sind und auf die an dieser Stelle verwiesen sei.

Die Ergebnisse der Setzungsberechnungen werden wie folgt zusammengefasst:

Unter der Annahme von 2 m Bodenaustausch betragen die maximalen rechnerischen Setzungen (Endsetzungen) aus dem Eigengewicht der Widerlager vor der Herstellung des Überbaus ca. 4 cm. Die maximalen rechnerischen zusätzlichen Setzungen aus dem Eigengewicht des Überbaus und der Hinterfüllung betragen ca. 1 cm. Ein Teil der Setzungen aus dem Eigengewicht der Widerlager wird bereits eingetreten sein, bevor der Überbau montiert wird. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Setzungen sich zeitverzögert durch die Konsolidierung des Bodens einstellen. Die Höhe der Setzungen und Konsolidierung der Böden hängt also u.a. maßgeblich von der Bauzeit der einzelnen Bauteile ab.

Es ist zu hinterfragen, ob und in welcher Größenordnung die Verkehrslasten für die Gebrauchstauglichkeit und das Setzungsverhalten überhaupt relevant sind. Für die Verkehrslasten kommen durch die kurze Dauer der Belastung hier neben dem vorgenannten zeitverzögerten Konsolidierungsverhalten des Bodens auch dynamische Faktoren aus der Einwirkung zum Tragen, die in dem gewählten Berechnungsmodell nicht berücksichtigt werden können. Eine gängige Vorgehensweise ist, dass sich nur 50 % der Setzungen infolge von Verkehrslasten tatsächlich im Laufe der Nutzung einstellen.

Die Gründung ist in frostfreier Tiefe vorzusehen.

4.2.2 Tiefgründung

In [U 3] wird eine Tiefgründung über Pfähle beschrieben. Zwischenzeitlich wurde aus oben beschriebenen Gründen und im Ergebnis von [U 4] festgelegt, dass das Bauwerk flach gegründet werden soll. Eine Tiefgründung kommt nach derzeitiger Kenntnis nicht zum Tragen. Sollte dies wider Erwarten der Fall werden, so sind die Angaben aus [U 3] zu verifizieren.

4.3 Gründung Lärmschutzwände

Im Zuge der Bauarbeiten sollen in den Übergangsbereichen zwischen Bestand und Neubau ca. 20 m Lärmschutzwände (LSW) bahnlinks sowie bahnrechts neu errichtet werden. Der genaue Standort sowie die Abmessungen und Konstruktion der LSW sind nicht bekannt. Die geplanten Lärmschutzwände liegen in Dammlage voraussichtlich teilweise im Bestandsdamm und teilweise im neu zu erstellenden Hinterfüllbereich der Widerlager. Letztere sind nach Ril 836.4108 Bild 2 lagenweise mit Material GW, GI, SW, oder SI mit einer Proctordichte von mind. 100 % zu hinterfüllen.

Voraussichtlich ist eine Ausführung als Rammrohrgründung am zweckmäßigsten.

Die in nachfolgender Tabelle 4.3-1 angegebenen Werte gelten unter der Bedingung, dass die Kopf-löcher der Rammrohre auf dem obersten Meter mit rolligem Material qualifiziert verdichtet werden. Die Bettungsmoduln $k_{s,k,dyn}$ wurden nach der bekannten Formel $k_{s,k} = E_{s,k} / D_s$ für einen mittleren Pfahldurchmesser von $D_s = 0,70$ m ermittelt. Werden andere Pfahldurchmesser gewählt, sind die Bettungsmoduln entsprechend der tatsächlichen Durchmesser anzupassen.

Schicht Nr.	Bodengruppe nach DIN 18 196	Steifemodul ¹⁾ $E_{s,k,stat}$ [MN/m ²]	Steifemodul ¹⁾ $E_{s,k,dyn}$ [MN/m ²]		Bettungsmodul ¹⁾ $k_{s,k,dyn}$ [MN/m ³]	
			von	bis	von	bis
H	GW, GI, SW, SI	50	200	350	280	500
1	[GW, GI, GU, GT, GU*, GT*, SE, SU, ST, SU*, ST*]	10	80	250	110	350

1) Belastungsbereich 100 kN/m² bis 250 kN/m²
H = Hinterfüllbereich

Tabelle 4.3-1: Dynamische Bettungsmoduln

Sofern sich aus den statischen Nachweisen größere Tiefen ergeben, ist auf die in den tertiären Ablagerungen eingeschalteten Kalksteine hinzuweisen, die als gut tragfähig jedoch nicht rammbar einzustufen sind. Aus der Erfahrung zahlreicher Projekte mit Bestandsdämmen kann nicht ausgeschlossen werden, dass sich im Dammaufbau auch Steine, Blöcke oder vereinzelt auch große Blöcke befinden. Ferner ist im Allgemeinen bei Rammpfahlgründungen damit zu rechnen, dass bei großen Rammtiefen große Rammwiderstände auftreten können. In der Folge können Zusatzmaßnahmen, wie Vorbohren erforderlich werden.

Für die Ableitung von Rammpfahlwiderständen ohne Probelastungen wird in der EA-Pfähle eine Pfahleinbindung von mindestens 2,5 m in eine tragfähige Schicht gefordert. Für den Bereich unterhalb der Pfähle wird für den Ansatz eines Pfahlspitzendruckes ein Boden gefordert, der einen Spitzenwiderstand der Drucksonde von $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ aufweist. Unabhängig davon wird in der EA-Pfähle empfohlen, die Pfähle so tief einzubringen, dass unterhalb der Pfahlfüße $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$ gewährleistet ist.

Bei der Rammung von offenen Stahlrohren kann sich im Pfahlfußbereich eine Verspannung des eindringenden Bodens zwischen den inneren Mantelflächen einstellen. Dadurch wird eine innere Mantelreibung über eine bestimmte Höhe im Pfahlfußbereich mobilisiert, die auch durchmesserabhängig als Pfropfen bezeichnet werden kann.

Die charakteristischen Pfahlkennwerte für die Rammrohrgründung der Lärmschutzwände können der Tabelle 4.3-2 entnommen werden. Im Bestandsdamm wurden bei den Untersuchungen auf den obersten 2 – 3 m geringe Schlagzahlen festgestellt. Für die Rammrohre im Bestandsdamm darf Mantelreibung daher nur unterhalb einer Höhe von 100,5 mNN angesetzt werden.

Schicht Nr.	Charakteristische Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1$ D_{eq} $q_{s,k}$ [kN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzendruck $q_{P\text{fropfen},k}$ [kN/m ²]		Charakteristischer Pfahlspitzendruck auf die Profilauflastungsfläche $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [l]		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [l]	
		$s/D_{eq} = 0,035$	$s/D_{eq} = 0,1$	$s/D_{eq} = 0,035$	$s/D_{eq} = 0,1$
H	60	2.500	4.750	10.300	20.000
1	20	1.200	2.250	3.900	7.500

H = Hinterfüllbereich

Tabelle 4.3-2: Charakteristische Pfahlkennwerte für offene Stahlrohre mit $D \leq 0,8 \text{ m}$

4.4 Gründung Damm / Hinterfüllbereich

Ein Neubau des Dammes ist nicht geplant. Gegenstand der nachfolgenden Erläuterungen ist vielmehr der Hinterfüllbereich also der Anschluss der neu zu erstellenden Widerlager zum Bestandsdamm. Beim Übergang von Dammschüttungen auf Kunstbauwerke sollen Setzungen und Steifigkeitsunterschiede minimiert werden. Die Gestaltung und bauliche Durchbildung der Übergänge ist unter besonderer Beachtung der Ril 836.4106 zu planen. Insbesondere ist Bild 6 zu beachten. Sofern Ersatzbaustoffe verwendet werden sollen, ist Ril 836.4108 zu beachten.

Der im Untergrund anstehende Boden muss eine verformungsarme Abtragung der Lasten und eine standsichere Gründung der Erdkörper gewährleisten. Nach Ril ist „der Untergrund zu verdichten bzw. sind besondere Maßnahmen zur Verbesserung des Untergrundes erforderlich“. Rollige Böden müssen nachverdichtet werden, bindige Böden mindestens eine steife Zustandsform aufweisen.

Grundsätzlich ist das Untergrundplanum so zu profilieren und zu verdichten, dass vorstehende Randbedingungen erfüllt sind. Im Dammgründungsbereich werden voraussichtlich die Böden der Schicht 2 oder 3 angetroffen werden. Die bindigen Böden beider Schichten wurden auf Höhe des voraussichtlichen Gründungsplanums in größtenteils weicher und steifer Konsistenz erkundet. Die bindigen weichen Böden sind als nicht ausreichend scherfest und tragfähig anzusehen. Sollten Auffüllungen angetroffen werden und nicht gründungsfähige Einlagerungen wie Schutt oder Fundamentreste angetroffen werden, sind derartige Einlagerungen aus den Gründungssohlen zu entfernen und zu separieren.

Der bindige Boden im Planum muss mindestens eine steife Konsistenz aufweisen und darf nicht aufgeweicht sein. Aufgeweichte Bereiche sind lagenweise durch Austauschboden zu ersetzen. Der Umfang dieser ggf. erforderlichen Maßnahmen ist durch den Fachgutachter vor Ort festzulegen.

Da die bindigen Böden bei ungünstigen Witterungsbedingungen / Wassersättigung und mechanischer Beanspruchung aufweichen, darf der Aushub nur rückschreitend (kein Befahren des Planums) und bei trockener, frostfreier Witterung mit einem Tieflöffelbagger mit gerader Schneide ausgeführt werden.

Die erste Lage direkt auf den anstehenden bindigen Böden darf wegen einer möglichen Lagerungsstörung nur mit einem leichten Verdichtungsgerät oder in wenigen Übergängen statisch verdichtet werden. Das Planum darf nicht dynamisch verdichtet werden.

4.5 Gründung Fahrweg

Den Anlagen zum Ingenieurvertrag sind folgende Angaben zur bestehenden Gleistrasse zu entnehmen:

- Die Gleistrasse liegt in einer Geraden und geht bei Bahn-km 36,2+11,97 (streckenführendes Gleis) am Widerlager Frankfurt Stadion (FSP) in einen Übergangsboden über.
- Die Überhöhung steigt bis Bahn-km 36,3+02,25 linear auf 135 mm an.
- Der Gleisabstand beträgt im Bauwerksbereich ca. 4,5 m.
- Die Kilometrierungslinie verläuft im Abstand von 2,0 m parallel zum streckenführenden Gleis.
- Der Kreuzungswinkel zwischen Streckenachse und der Mörfelder Landstraße beträgt ca. 53,09 gon.

In den Gleismesssschrieben vom 13.02. und 14.02.2023 [U 28] wurden keine Auffälligkeiten festgestellt. Gemäß den überlieferten Unterlagen sind keine Höhen- und Richtungsfehler feststellbar.

Die maximale Geschwindigkeit im Bauwerksbereich beträgt 85 km/h.

Zustand des Schotters und aktuellen Planums

Zur Feststellung des Gleisoberbaus wurde der Schurf SCH 1 zwischen den Schwellen des südlichen Gleises (Gegenrichtung) durchgeführt. Der detaillierte Aufbau ist in Abschnitt 1.5 beschrieben und weicht von den heute geltenden Neubaukriterien ab.

Es sind planerische Überlegungen zu führen, ob der herzustellende Oberbau entsprechend der aktuellen Kriterien „Erneuerung“ oder „Neubau“ erfolgen soll oder ob ein Angleich an den Bestand zweckmäßiger ist.

Oberbau, Schutzschicht und abzusichernder Tragbereich

In Tabelle 4.5-1 sind die einzuhaltenden Regelanforderungen an das Tragschichtsystem nach Ril 836.4101A02 aufgeführt und für den Hinterfüllbereich anzuwenden.

Streckengeschwindigkeit $v > 80$ bis 160 km/h	Anforderung bei Verbesserung / Erneuerung bestehender Eisenbahnstrecken	Anforderung bei Neubau von Eisenbahnstrecken
OFTS	$E_{v2} \geq 50 \text{ MN/m}^2$	$E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$
Planum	$E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$, bei Neuschüttungen und Bodenaustausch wie Neubau $E_{v2} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ (bei Schutzschichten mit Geokunststoffen)	$E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$, $D_{Pr} \geq 0,97$ (GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST, OK) bzw. $D_{Pr} \geq 0,95$ und $n_A \leq 12 \%$ (GU*, GT*, SU*, ST*, U, T)
Mindestdicke der Schutzschicht, Zone I	$d = 20 \text{ cm}$ (bei F1-Material)	$d = 35 \text{ cm}$ (bei F1-Material)

1) nach ZTVE StB 17, Tab. 1 Frostsicherheitsklassen (F1 = nicht frostempfindlich)

Tabelle 4.5-1: Regelanforderungen Tragschichtsystem nach Ril 836.4101A02

Die Wahl des Materials der Schutzschicht (KG 1 oder KG 2) richtet sich nach dem eingebauten Material der Hinterfüllung.

Im bestehenden Dammbereich auf Höhe des neuen Planums stehen rollige bis gemischtkörnige Böden an. Beim gemischtkörnigen Boden handelt es sich um einen schlecht versickerungsfähigen, wasserempfindlichen Untergrund gemäß DBS 918062. Dort fordert die Ril 836.4101 in Anhang 3 für die vorliegenden Entwurfsgeschwindigkeiten $v_e = 80$ bis 160 km/h bei Schotteroberbau eine Schutzschicht aus dem Korngemisch 1. Die Kriterien sind in der Ril 836.4101A03 spezifiziert. Bei einer Schutzschichtdicke von $> 30 \text{ cm}$ ist entsprechend Ril 836.4101A03 unter der mindestens 20 cm mächtigen Lage aus KG 1 ggf. KG 2-Material oder andere geeignete Baustoffgemische anzuordnen.

Für Erdbauwerke ist nach Ril 836.4101A06 die **Trennstabilität** der Trag- bzw. Schutzschicht gegen Durchmischung mit dem Untergrund nachzuweisen. Ggf. ist der Einbau von Vlies zur Trennung zweckmäßig.

4.5.1 Baugrube

Für das Bauvorhaben ist eine Baugrube erforderlich. Da tiefere Baugruben als 1,25 m geplant sind, ist ein Verbau nach DIN 4124 erforderlich. Für Baugruben mit einer Tiefe von mehr als 5 m ist auf jeden Fall ein statischer Nachweis der Standsicherheit zu führen (DIN 4124).

Aufgrund der an die Baugrube angrenzenden Verkehrsflächen und Versorgungsleitungen ist der Baugrubenverbau auf erhöhten aktiven Erddruck ($0,5 \times e_a + 0,5 \times e_0$) zu bemessen. Die bodenmechanischen Rechenwerte für die Standsicherheitsberechnungen des Baugrubenverbaus können Tabelle 1.5-14 entnommen werden. Für die Bemessung einer Verbauwand darf der Wandreibungswinkel für Bohrträgerwände, Spundwände und Bohrpfehlwände höchstens mit $|\delta_{a/p}| = 2/3 \varphi_k'$ angesetzt werden, für Schlitzwände höchstens mit $|\delta_{a/p}| = 1/2 \varphi_k'$.

Für den Nachweis des vertikalen Lastabtrags von Verbauwänden dürfen für Bohrpfehlwände die Kennwerte der Tabelle 4.5-2 verwendet werden. Der Ansatz dieser Tabellenwerte setzt voraus, dass im wesentlichen nur Erddruck (+ großflächige Baustellenlasten) auf die Verbauwand wirken und keine setzungsempfindliche Bebauung im Einflussbereich der Verbauwand vorhanden ist (vertikale Setzung und damit Verformung der Wand kann zugelassen werden).

Zusätzlich ist ein Wasserdruck anzusetzen. Es sind die Anmerkungen und Einschränkungen der EAPfähle zu beachten. Bezüglich der anzusetzenden Wasserdrücke wird auf Abschnitt 1.7 verwiesen.

Für die Ermittlung der charakteristischen Mantelwiderstände nach EAB, sind im Bereich zwischen Baugrubensohle und theoretischem Fußpunkt der Verbauwand bei Ermittlung der Mantelreibung die Mantelflächen nach EAB, Bild EB 85-1 in Ansatz zu bringen. Im Bereich unterhalb des theoretischen Fußpunkts darf bei Ermittlung der Mantelreibung die umlaufende Abwicklungsfläche in Ansatz gebracht werden.

Wenn die Vertikalverformung der Wand begrenzt werden soll (z.B. bei Nutzung als Auflager für Hilfsbrücken) oder eine Verformung der Wand aufgrund nahe gelegener, setzungsempfindlicher Bebauung nicht zugelassen werden kann, dürfen die Kennwerte der Tabelle 4.5-2 nicht verwendet werden. Es sind dann gesonderte Kennwerte zu verwenden, die mit dem Baugrundgutachter abzustimmen sind.

Schicht	charakteristischer Pfahlspitzenwiderstands $q_{b,k}$ [kN/m ²]	charakteristische Mantelreibung $q_{s1,k}$ [kN/m ²]
3 Hydrobienschichten	$s/D = 0,02$ 500 $s/D = 0,03$ 650 $s/D = 0,10$ 1.100	65

Tabelle 4.5-2: Charakteristische Kennwerte für Bohrpfähle

Zur Ermittlung der maßgebenden Biegemomente aus horizontaler Belastung der Bohrpfahlwand kann für die Hydrobienschichten unterhalb der Baugrubensohle von den charakteristischen Bettungsmoduli gemäß Tabelle 6.4-2 ausgegangen werden.

Tiefe unter Baugrubensohle	charakteristischer Bettungsmoduli $k_{s,k}$ [MN/m ²]
1 – 3 m	0 – 70 (linear zunehmend)
> 3 m	70
Kalkbänke	1.000

Tabelle 4.5-3: Charakteristische Bettungsmoduli für Bohrpfähle in den Hydrobien

Der Bettungsverlauf sollte erst 1 m unter Gelände einsetzen und linear ab 1 m u. GOK auf einer Strecke von 3 m ansteigen von 0 MN/m³ bis auf den zutreffenden Wert. Unterhalb von 3 m wird der Bettungsverlauf konstant mit dem abgeschätzten Bettungsmodul gem. Tabelle 4.5-3 festgelegt. Bettungssprünge im Übergang zum Fels sind durch Übergänge auszugleichen.

Falls Wasser angetroffen wird, ist bei der Herstellung der Bohrpfähle grundsätzlich mit einer ausreichenden Wasserauflast zu arbeiten, um einen hydraulischen Grundbruch (Aufbrechen der Bohrschale) auszuschließen. Ein Zutritt von Wasser im Bohrloch kann während des Betoniervorgangs zu einem Entmischen des Betons und somit zu einer mangelhaften Qualität des betonierten Bohrpfahls führen. Daher ist gemäß DIN EN 1536, Pkt. 8.2.3.6 innerhalb der Verrohrung ein Überdruck mit min. 1,0 m Spiegeldifferenz zur bauzeitlichen Druckhöhe (vgl. Abschnitt 1.7) zu erzeugen. Dieser Überdruck ist während des Betoniervorgangs aufrecht zu erhalten. Gemäß DIN EN 1536, Pkt. 8.2.3.9 ist auch bei trockenem Aushub zu überprüfen, ob Wasser zutritt. Im Falle des Eindringens von Wasser

ist der Aushub auch dann unter Wasserüberdruck durchzuführen. Die Vorgaben der DIN EN 1536 sind zu beachten.

Die Bohrpfähle sind verrohrt herzustellen und der anschließende Betoniervorgang im Kontraktorverfahren durchzuführen. Zur Herstellung der Pfahlaufstandsebene ist ein Bohreimer mit glatter Schneide ohne Pilotbohrer zu verwenden. Bei der Herstellung der Bohrpfähle sind die Vorgaben der DIN EN 1536 zu beachten. Eine geeignete Vorflut für das durch den Beton verdrängte Wasser ist sicherzustellen und eine wasserrechtliche Genehmigung für die Einleitung erforderlich.

Beim Aushub ist zu beachten, dass die feinkörnigen Böden (Schicht 2 und Schicht 3) witterungsempfindlich und bei erhöhten Wassergehalten stark bewegungsempfindlich sind. Diese Böden können bei ungünstigen Witterungsbedingungen / Wassersättigung und mechanischer Beanspruchung aufweichen und sich verflüssigen. Der Boden ist dann nicht wieder einbaufähig und auch nicht mehr tragfähig. Dynamische Beanspruchungen dieser Böden sind zu vermeiden. Der Aushub muss rückschreitend erfolgen. Das Aushubgerät ist grundsätzlich mit einer Grabenschaufel (Baggerschaufel mit gerader Schneide) auszurüsten. Damit lässt sich die Aushubsohle weitgehend ohne Störung des Baugrundes herstellen. Die erste Lage direkt auf den anstehenden bindigen Böden darf wegen einer möglichen Lagerungsstörung nur mit einem leichten Verdichtungsgerät oder in wenigen Übergängen statisch verdichtet werden. Das Planum darf nicht dynamisch verdichtet werden.

Die Baugrubensohlen dürfen nicht befahren werden und sind unverzüglich abzudecken bzw. zu überbauen, um die anstehenden Böden vor ungünstigen Witterungseinflüssen zu schützen. Aufgeweichte Bereiche sind vollständig aus der Aushubsohle zu entfernen und gegen ein rolliges, gut verdichtbares, steinfreies Material, (Bodengruppen nach DIN 18 196: GW, SW, SI, GI oder Tragschichtmaterial, z. B. 0/45 gemäß ZTV SoB-StB) auszutauschen.

Die bindigen Böden sind überwiegend gut lösbar, aber schlecht verdichtungsfähig und frostempfindlich. Sie sind für einen Wiedereinbau ohne Zusatzmaßnahmen (Bodenverbesserung) i.d.R nicht geeignet, außer es können Sackungen (z.B. in Grünflächen) hingenommen werden. In den Hydrobien können unregelmäßig Kalksteine angetroffen werden. Dies sollte beim Aushub beachtet werden. Felsspitzen sind zu entfernen. Die Sohle ist im Anschluss mit geeignetem Bodenmaterial oder Magerbeton zu profilieren.

4.5.2 Verpressanker

Für die Bemessung einer Verbauwand darf der Wandreibungswinkel für Bohrträgerwände, Spundwände und Bohrfahlwände höchstens mit $|\delta_{a/p}| = 2/3 \varphi_k'$ angesetzt werden.

Gemäß Planung ist für Teilbereiche des Verbaus eine Rückverankerung notwendig. In Tabelle 4.5-4 ist vorläufig die Grenzlasterlast von Ankern in den betroffenen Böden mit Nachverpressung (nach Ostermayer) angegeben. Die Auelehme und Auffüllungen sind für die Lastenleitung nicht gut geeignet. Die Ankerneigungen sind daher in der weiteren Planung ggf. anzupassen, so dass die Verpresskörper auf voller Länge in den Hydrobieten zum Liegen kommen. Hierbei sind auch die bestehenden Leitungslagen zu berücksichtigen.

Schicht	charakteristische Mantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
3 Hydrobienschichten	150

Tabelle 4.5-4: Charakteristische Mantelreibung für Verpressanker zur Vorbemessung (mit Nachverpressung)

Die in Tabelle 4.5-4 angegebenen Werte gelten für Anker mit Verpresskörperlängen bis zu 10 m. Die Tragfähigkeit von Ankern mit größerer Verpresskörperlänge ist mit Untersuchungsprüfungen festzulegen.

Die Tragfähigkeit von Ankern mit Verpressstrecken in den Auffüllungen ist mit Eignungsprüfungen festzulegen. Jeder Bauwerksanker ist einer Abnahmeprüfung zu unterziehen. Die Regelungen insbesondere des Normenhandbuchs EC 7, der DIN EN 1537 und der DIN SPEC 18 537 sind zu beachten.

Um eine wenig nachgiebige Stützung zu erreichen, sind die Steifen einer Aussteifung zumindest kraftschlüssig zu verkeilen oder die Verpressanker auf mindestens 80 % der charakteristischen Beanspruchung im Bauzustand vorzuspannen und festzulegen. Bei (annähernd) unnachgiebig gestützten Konstruktionen, sind Steifen und Anker auf bis zu 100% vorzuspannen.

In bindigen Böden wird empfohlen die Bohrungen für die Verankerung im Lufthebeverfahren auszuführen. Beim Einsatz von Wasser oder Suspensionen als Bohrspülung kann es durch Wassereintritt zum angrenzenden Baugrund zu einer zumindest temporären Reduzierung der Ankertragfähigkeit kommen.

4.5.3 Nachbarbebauung

Das Bauvorhaben liegt im innerstädtischen und dicht besiedelten Bereich. Bei angrenzender Bebauung sind die Aushubgrenzen nach DIN 4123 und der Einfluss einer möglichen Grundwasserabsenkung zu beachten. Zudem ist bei angrenzender Bebauung (auch Leitungen, erdverlegte Kabel) eine Beweissicherung der Bestandsbebauung vor und nach Abschluss der Bauarbeiten zu empfehlen.

Die geplanten Baumaßnahmen bedürfen einer Abstimmung mit dem Betreiber der Bahnanlagen (VGF). Es sind Informationen zu den Anforderungen an Bautätigkeiten in der Nähe von VGF-Bestandsanlagen einzuholen und im Planungsverlauf abzustimmen.

Ferner sind Verankerungen im Nahbereich bestehender Leitungen geplant. Die nötigen Sicherheitsabstände je nach Betreiber sind zu beachten und bei Bedarf gesonderte Abstimmungen zu führen.

5. WASSERHALTUNG

5.1 Baugruben der Widerlager

5.1.1 Baugrubenkonstruktion

Für die Erstellung der Gründung und der Widerlager werden zwei Baugruben im bestehenden Bahndamm erforderlich (vgl. [U 9]).

Die Baugrubensohle (**BGS**) für die Fundamente liegt gemäß Planung unter Berücksichtigung einer 10 cm dicken Sauberkeitsschicht bei **95,30 m NHN**. Unterhalb der Gründungssohle ist ein 1,7 m dicker Bodenaustausch als WU-Beton bis auf tragfähige Böden vorgesehen. Die Aushubsohle (**AHS**) dafür liegt entsprechend bei **93,20 m NHN** also 3,3 m unterhalb der bauzeitlich anzunehmenden Druckhöhe des Grundwassers. Die Baugruben für die beiden Widerlager sind in Konstruktion und Geometrie nahezu identisch. Die Abmessungen betragen 21,60 m x 18,55 m bzw. 21,60 m x 20,20 m. Es ist ein wasserundurchlässiger, rückverankerter Verbau mit überschnittenen Bohrpfahlwänden geplant.

Der hydraulische Grundbruch ist für den Bodenaustausch (AHS) maßgebend. Der Verbau ist entsprechend bis zu einem Niveau von ca. **86 m NHN** als überschnittene, wasserdichte Bohrpfahlwand vorgesehen, um seitliche Wasserzutritte sowie hydraulischen Grundbruch infolge unterhalb der Baugruben anstehender, wasserführender Zwischenlagen zu vermeiden. Unterhalb dieses Niveaus sind die statisch erforderlichen Bohrpfahlwände aufgelöst, wodurch evtl. vorhandene Grundwasserströmungen möglichst wenig beeinflusst werden. Der hydraulische Grundbruch ist rechnerisch bis zur Tiefe der überschnittenen Bohrpfahlwand in der Statik nachzuweisen.

5.1.2 Zweck und Dauer der Grundwasserhaltung

Für den störungsfreien Baugrubenaushub der Baugruben und die qualitätsgerechte Ausbildung der Gründungssohlen ist die Trockenhaltung der Baugruben notwendig. Diese sollte bis 0,5 m unter die tiefste Aushubsohle reichen.

Eine Grundwasserabsenkung oder -entspannung ist bei der gewählten, oben beschriebenen Baugrubenkonstruktion nicht erforderlich.

Für die Abschätzung der Lenzwassermenge der Baugruben zum Erreichen des Absenkziels wird einmalig ein Porenanteil von $n_0 = 0,20$ angenommen.

Mit den oben angegebenen Kennwerten wird die Lenzwassermenge überschlägig mit ca. 600 m³ angenommen.

Bei baupraktisch wasserdichten Baugruben fließt Sickerwasser aus unvermeidbaren Imperfektionen der senkrechten und horizontalen Baugrubenumschließungen über die Dauer der Absenkung der Baugrube zu. Diese sogenannte Systemdurchlässigkeit hängt von der Qualität der Ausführung ab und beträgt für überschnittene Bohrpfahlwände erfahrungsgemäß zwischen 0,02 und 2 l/s pro 1.000 m² benetzter Wandungsfläche. Bei der Berechnung wurde für die benetzte Wandungsfläche ein mittlerer Wert von 0,5 l/s pro 1.000 m² abgeschätzt. Als benetzte Wandungsfläche der Baugrube wurde dabei die Fläche zwischen der bauzeitlich anzunehmenden Druckhöhe des Grundwassers und der Oberkante der Unterwasserbetonsohle – also 1,60 m – angenommen. Für die horizontale Abdichtung in Form der Unterwasserbetonsohle wird ein Erfahrungswert der Systemdurchlässigkeit von 0,05 l/s pro 1.000 m² angesetzt.

Mit den oben angegebenen Kennwerten wird die Sickerwassermenge überschlägig mit ca 0,6 m³/Std angenommen.

Es sei der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass gem. Kapitel 1.7 kein durchgehender Grundwasserhorizont oberhalb des Tertiärs zu erwarten ist. Dennoch wird vorgeschlagen, auf der sicheren Seite liegend bei der weiteren Planung die o.g. Wassermengen zur Trockenhaltung der Baugruben zu beachten.

Ferner wird der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass außerdem Tag- und Niederschlagswasser zutreten wird.

Die Trockenhaltung der Baugruben kann über eine offene Wasserhaltung erfolgen.

5.2 Ableitung des geförderten Wassers in den Kanal

5.2.1 Allgemein

Laut telefonischer Auskunft des Planers ist die Ableitung in den städtischen Mischwasserkanal vorgesehen.

5.2.2 Wasserqualität

Für die Einleitung in den Mischwasserkanal sind die Ergebnisse der Laboruntersuchungen nach der Einleitrichtlinie der Stadtentwässerung Frankfurt zu beachten. Die Grundwasserprobe P9286_Moerf.Landstr._GW1 wurde auf die Einleitrichtlinie der Stadtentwässerung Frankfurt mit Stand vom 19.12.2018 [U 29] analysiert und den Richtwerten gegenübergestellt. Die Ergebnisse finden sich in Anlage 4. Hierbei wurden die zulässigen Sulfatkonzentrationen sowohl für den Regenwasser- als auch Schmutz- oder Mischwasserkanal überschritten.

Probleme mit erhöhten Sulfatgehalten sind in Frankfurt kein Einzelfall. In den Kalksteinen bewegt sich das Wasser auf Klüften und Lösungshohlräumen und löst an diesen Flächen gebundenes Sulfat [U 30]. Auch die Tone enthalten hohe Sulfat- oder Sulfidgehalte, die bei der Verwitterung des Materials und an Kontaktflächen zum Grundwasser gelöst werden können [U 30]. Der hohe Sulfatgehalt

des Grundwassers wird erfahrungsgemäß durch die tertiären Ablagerungen verursacht und ist geogen bedingt. In einer ersten Abstimmung mit der Stadtentwässerung Frankfurt am 28.02.2024 wurde dies bestätigt und vor dem Hintergrund der geringen Überschreitung und Mengen Zustimmung signalisiert, dass ein Ableiten des Grundwassers in den Kanal durchgeführt werden kann.

An der Grundwasserprobe P9286_Moerf.Landstr._GW1 wurde neben den Einleitrichtlinien der Stadtentwässerung Frankfurt der Betonangriffsgrad nach DIN 4030 und auf die nach der DIN 50 929 geforderten Analysenparameter zur Feststellung des Metallangriffsgrads untersucht.

Aufgrund eines leicht erhöhten Anteils kalklösender Kohlensäure in der Wasserprobe ist das Grundwasser der Expositionsklasse XA 1 (schwach angreifend) nach DIN 4030 zuzuordnen. Im Ergebnis ist von einer geringen Mulden- und Lochkorrosion und einer sehr geringen Flächenkorrosion von unlegierten Stählen an der Wasser-/Luftgrenze auszugehen.

Insbesondere beim Lenzen der Baugrube ist mit erhöhten Schwebstoffanteilen und Beeinflussung durch die Unterwasserbetonarbeiten im Wasser zu rechnen. Das anfallende Grundwasser ist vor der Einleitung in den Kanal über ein Absetzbecken und ggf. einer Neutralisationsanlage zu führen.

5.3 Wasserhaltung Verkehrsanlage und Bergsammler

Die geotechnische und hydrogeologische Beratung für die begleitenden Arbeiten an den v.g. Objekten liegen außerhalb unserer Beauftragung. Der guten Ordnung halber wird jedoch darauf verwiesen, dass die Planungen der bauzeitlichen Wasserhaltungen der einzelnen Objekte aus Synergiegründen möglichst aufeinander abgestimmt werden sollten. Ferner sollten Maßnahmen geplant werden, die ein Ansteigen des tiefer liegenden, unregelmäßig in primär nichtbindigen Horizonten der Hydrobien – also in den Sanden oder Kalksteinen – möglicherweise gespannt anstehenden Grundwassers vermeiden.

6. SONSTIGE EMPFEHLUNGEN

Vor Herstellung der Gründungselemente ist der anstehende Baugrund und die Gründungssohle gemäß Normenhandbuch EC 7-1, Abs.4.3.1 (1)P durch uns zu kontrollieren und abzunehmen.

Für die angrenzende bestehende Bebauung und für die wahrscheinlich im Nahbereich der Baumaßnahme vorhandenen Leitungen / Kanäle sowie die Verkehrsflächen wird eine Beweissicherung vor dem Beginn und nach Abschluss der Baumaßnahme empfohlen.

Eine Baugrunderkundung ist naturgemäß eine stichprobenartige Bestandsaufnahme, die zwischen den Aufschlüssen Ergebnisse interpoliert. Abweichungen in gewissem Umfang sind somit nicht gänzlich auszuschließen. Bei Abweichungen der angetroffenen Bodenverhältnisse von den in diesem Gutachten beschriebenen ist die Dr. Spang GmbH umgehend zu benachrichtigen.

Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Abänderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

i.V.



Dipl.-Ing. Heiner Fromm
(stellv. Niederlassungsleiter)

i.A.



M.Sc. Marcel Dinges
(Projektgeologe)

Verteiler:

- DB InfraGO AG, Herr Möll, Frankfurt am Main, 1 x, davon 1 x vorab per Mail an <michael.moell@deutschebahn.com>; Bastian Nootbaar <Bastian.Nootbaar@deutschebahn.com>; Christian Wolf <christian.wolf@deutschebahn.com>; Jürgen Lippold <lippold@ig-kempa.de>
- Dr. Spang GmbH, Witten, 1 x
- Dr. Spang GmbH, Frankfurt, 1 x