



DB Mobility
Networks
Logistics

Anlage entfällt
ersatzlos

Anlage 17.1b

UNGÜLTIG

DB International GmbH
Baugrund
Bereich West / Südwest
Büro Frankfurt am Main
Oskar-Sommer-Straße 15
60596 Frankfurt am Main
Tel. 069 6319-176
Fax 069 6319-118

Zertifiziert nach
DIN EN ISO 9001:2000
DQS Reg.-Nr. 005051 QM

Geotechnischer Bericht

Bauvorhaben: Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe

Teilobjekt: Stützwand und Dammverbreiterung km 78,050 - km 78,450

- Abschnitt km 78,050 - km 78,165 (Stw. Aufenthaltsraum)
- Abschnitt km 78,180 - km 78,450 (Stw. Ladestraße)

Leistungsphase: Entwurfsplanung

Auftraggeber: DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Mitte
BV-MI-P (4-8_T)
Hahnstraße 52
60528 Frankfurt (Main)

Auftragsnummer: PF 3 0368 01

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Ch. Sielisch

Dieser geotechnische Bericht umfasst 32 Seiten und 7 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, 03.03.2011

.....
Dipl.-Ing. Ch. Sielisch

.....
Dipl.-Geol. U. Tang

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	4
1.1 Unterlagen	4
1.2 Vorgang / Aufgabenstellung	5
1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen	5
2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	8
2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	8
2.2 Geologische Situation	8
2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	9
2.4 Hydrologische Verhältnisse	13
2.5 Baugrundmodell	14
2.6 Bodenrechenwerte	16
2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Grundwassers	18
2.8 Erdbebeneinwirkung	19
2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes	19
3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	21
3.1 Allgemeines	21
3.2 Flachgründung	21
3.2.1 Stützwand km 78,050 - km 78,165 - Aufenthaltsraum	21
3.2.2 Stützwand km 78,180 - km 78,450 - Ladestraße	23
3.3 Baugrubensicherung und Wasserhaltung	25
3.4 Verankerung	26
3.5 Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	28
3.6 Einfluss auf angrenzende Bebauung	29
3.7 Ausbildung der Hinterfüllung / Dammverbreiterung	29
3.8 Tragschichtsystem	30
3.9 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	30
4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	32

Anlagenverzeichnis

Anlage 17.15.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.15.2	Lage- und Aufschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.15.3	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	2 Blatt
Anlage 17.15.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.15.4.1	Körnungslinien	11 Blatt
Anlage 17.15.4.2	Zustandsgrenzen	3 Blatt
Anlage 17.15.4.3	Beton- und Stahlaggressivität des Wassers	14 Blatt
Anlage 17.15.5	Fundament-/Setzungsdiagramme	4 Blatt
Anlage 17.15.6	Kampfmittelfreimessung	1 Blatt
Anlage 17.15.7	Fotodokumentation	3 Blatt

1 Einleitung

1.1 Unterlagen

Zur Ausarbeitung dieses Geotechnischen Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /U 1/ Bestellung 0086/VEW/22669874 vom 10.08.2010 zum Vertrag 0015/RA8/92166128 vom 06.08.2010 auf Grundlage unseres Angebotes ID30616 vom 19.07.2010.
- /U 2/ Vorplanung Lagepläne LP21A, 22A, 23A, 04A und 05A, von DB ProjektBau GmbH, Stand: Juli 2004 / Okt. 2009 / Aug. 2010.
- /U 3/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Umweltgeotechnik GmbH, Okt. 2010 bis Dez. 2010.
- /U 4/ Laboregebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 5/ Laboregebnisse der Fa. Wessling Laboratorien GmbH Nov. 2010.
- /U 6/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.
- /U 7/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.
- /U 8/ Datenauszug zu Grundwassermessstellen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und der HESSENWASSER GMBH & CO. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSTELLEN, Stand: Sept. 2010.
- /U 9/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 01.10.2008.
- /U 10/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2007.
- /U 11/ EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2006.
- /U 12/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ Stand: 05/2005.
- /U 13/ ZTVE-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.
- /U 14/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen, Juli 2007.
- /U 15/ Programm „GGU-FOOTING“, Berechnungen von Fundamenten nach DIN 4017 und DIN 4019 bzw. DIN 1054, Version 6.25, 16.06.2010, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Johann Buß.
- /U 16/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Witt, K. J., Verlag Ernst & Sohn, 2009.

Außerdem kommen die gegenwärtig gültigen DIN-Normen und Richtlinien für Erd- und Grundbau zur Anwendung.

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Der Ausbau des Knotens Frankfurt(Main)-Sportfeld ist ein Teilprojekt der Gesamtmaßnahme Frankfurt RheinMain^{plus}. Der Knoten Frankfurt(Main)-Sportfeld soll in der 2. Ausbaustufe im Streckenabschnitt zwischen Frankfurt(Main)-Sportfeld und Frankfurt(Main)-Gutleuthof durch zwei zusätzliche Fernverkehrsgleise ausgebaut werden. Beginnend ab der neuen Eisenbahnüberführung Gutleuthof bei ca. km 78,050 bis ca. km 78,450 der neuen Strecke 4010 wird der Bestandsdamm für die neuen Streckengleise verbreitert (Dammverbreiterung). Der entstehende Geländesprung wird hier zusätzlich mit einer Stützwand gesichert werden.

Nachfolgend werden zwei Teilabschnitte der Stützwand betrachtet:

1. „Stützwand Aufenthaltsraum“ km 78,050-78,165 (ab EÜ Gutleuthof bis EÜ Ladestraße)
2. „Stützwand Ladestraße“ km 78,180-78,450

Die DB International GmbH, Baugrund wurde auf der Grundlage der Bestellung /U 1/ mit der Erkundung, Darstellung und Bewertung der Baugrundverhältnisse im Untersuchungsbereich der neuen Stützwand sowie der Erstellung eines geotechnischen Berichtes mit Angabe bodenmechanischer Kennwerte für die Gründung beauftragt.

Des Weiteren waren umweltanalytische Untersuchungen des im Untersuchungsbereich erkundeten Bodens durchzuführen.

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse für den Stützwandneubau dargestellt und bewertet. Die abfalltechnische Beurteilung erfolgt in einem separaten Bericht.

1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen

Während des Streckenbegangs durch Mitarbeiter der DB International GmbH vom 06. bis 08.10.2010 wurden durch die Fa. Geolog die Ansatzpunkte der Kernbohrungen und der Rammsondierungen nach Vorgabe des RP Darmstadt auf Kampfmittelverdacht hin untersucht und freigemessen. Das Freimessprotokoll der Radarmessungen ist in Anlage 17.15.6 beigelegt.

Für die Beurteilung der Baugrundverhältnisse am Standort der neuen Stützwand werden die Erkundungen für die Eisenbahnüberführungen Gutleuthof und Ladestraße herangezogen. Die Aufschlussarbeiten wurden durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH vom 22.10.2010 bis 05.01.2011 ausgeführt.

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber waren im Bereich der Brückenwiderlager je eine Kernbohrung (B) mit einer schweren Rammsondierung (DPH) bis 20 m unter Gelände sowie je 1 Kleinbohrung im Hinterfüllbereich/Damm (BS, Ø 60 mm), ebenfalls mit schweren

Rammsondierungen bis max. 10 m unter Gelände geplant. Darüber hinaus waren am Dammfuss und im Bestandsdamm Kleinbohrungen und schwere Rammsondierungen bis max. 8 m unter Gelände vorgesehen.

Die schweren Rammsondierungen im Dammbereich/ Böschungsschulter konnten aufgrund unzureichender Platzverhältnisse nicht ausgeführt werden. Nach Rücksprache mit dem AG sind diese durch zwei leichte Rammsondierungen (DPL-5) ersetzt worden.

Für die Klärung der Kabel- und Leitungsfreiheit wurden vor Bohrbeginn Schürfe (S) bis max. 1,2 m Tiefe je Ansatzpunkt ausgeführt.

Die Aufschlüsse DPH 133, S/RKS/DPL-5 134, S/RKS 133a, S/RKS 134a, S/RKS/DPL-5 135, DPH 136/137, S/RKS/DPL-5 138 und S/RKS 143 mussten aufgrund eines zu hohen Eindringwiderstandes vorzeitig abgebrochen werden.

Die Aufschlüsse stellen sich geordnet nach steigendem Kilometer im Einzelnen wie folgt dar:

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse

km ¹⁾	Aufschluss	Lage ¹⁾	Ansatzhöhe [m NN]	Endtiefe [m NN]	Aufschlusstiefe [m]
34,651	S/RKS 134	1,2 m r.d.GA	100,93	94,43	6,50 ²⁾
34,651	DPL-5 134	1,2 m r.d.GA	100,93	93,53	7,40 ²⁾
34,655	S/B 133	16,5 m r.d.GA	95,13	73,13	22,00
34,655	DPH 133	16,5 m r.d.GA	95,13	84,63	10,50 ²⁾
34,709	S/RKS 133a	16,0 m r.d.GA	94,81	87,31	7,50 ²⁾
34,709	DPL-5 133a	16,0 m r.d.GA	94,81	86,81	8,00
34,715	S/RKS 134a	1,5 m r.d.GA	100,59	93,89	6,70 ²⁾
34,745	S/RKS 135	2,0 m r.d.GA	100,44	96,24	4,20 ²⁾
34,745	DPL-5 135	2,0 m r.d.GA	100,44	96,24	4,20 ²⁾
34,464	S/B 136	13,0 m r.d.GA	95,12	71,12	24,00
34,464	DPH 136	13,0 m r.d.GA	95,12	86,22	8,90 ²⁾
34,782	S/B 137	12,0 m r.d.GA	95,06	70,06	25,00
34,782	DPH 137	12,0 m r.d.GA	95,06	86,36	8,70 ²⁾
34,792	S/RKS 138	1,8 m r.d.GA	100,34	96,24	4,10 ²⁾
34,792	DPL-5 138	1,8 m r.d.GA	100,34	96,24	4,10 ²⁾
34,885	S/RKS 140	11,5 m r.d.GA	95,80	87,80	8,00
34,885	DPH 140	11,5 m r.d.GA	95,80	87,30	8,50
34,905	S/RKS 139	2,4 m r.d.GA	100,14	97,14	3,00
35,000	S/RKS 142	12,5 m r.d.GA	96,25	88,25	8,00
35,000	DPH 142	12,5 m r.d.GA	96,25	88,25	8,00
35,005	S/RKS 141	2,2 m r.d.GA	100,84	97,84	3,00

km ¹⁾	Aufschluss	Lage ¹⁾	Ansatzhöhe [m NN]	Endtiefe [m NN]	Aufschlussstiefe [m]
35,054	S/RKS 143	in GA	101,66	100,11	1,55 ²⁾
35,086	S/RKS 144	12,5 m r.d.GA	97,05	89,05	8,00
35,086	DPH 144	12,5 m r.d.GA	97,05	89,05	8,00

S...Schurf, B...Kernbohrung, RKS...Kleinbohrung, DPH...schwere Rammsondierung, DPH-L-5...leichte Rammsondierung mit einer Sondierspitze A=5cm², l./r. d. GA...links/rechts der Gleisachse

¹⁾ bezogen auf Streckengleis 3620

²⁾ vorzeitiger Abbruch, zu hoher Eindringwiderstand

Alle Ansatzpunkte wurden nach Lage und Höhe auf m NN des DB Referenznetzes und die Gleisachse des nächstgelegenen Streckengleises eingemessen. Die Entnahme von Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtenwechsel. Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse /U 3/ können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Baugrund eingesehen werden. Die Lage der Aufschlüsse ist aus Anlage 17.15.2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NN in der Anlage 17.15.3 dargestellt.

Die entnommenen Bodenproben wurden durch den Bearbeiter nach DIN 4020 und DIN EN ISO 14688 spezifiziert. Zur genaueren Klassifizierung der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 und Bodenklassen nach DIN 18300 sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen und chemischen Untersuchungen unterzogen worden. Aus den Kernbohrungen S/B 133 und S/B 137 sind Grundwasserproben entnommen und bezüglich Betonaggressivität und Stahlkorrosivität untersucht worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 9x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 2x kombinierte Sieb-/Schlammanalyse nach DIN 18123,
- 3x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122 und
- 2x Bestimmung der Betonaggressivität/Stahlkorrosivität (Wasser) nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 17.15.4 entnommen werden.

Weiterhin sind chemische Laboruntersuchungen an Bodenproben aus dem Bereich der Stützwand durchgeführt worden. Die umweltanalytischen Untersuchungen werden in einem separaten Bericht dargestellt und ausgewertet.

2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Die neu geplante Stützwand mit Dammverbreiterung km 78,050 – km 78,450 befindet sich zwischen dem nordöstlichen Widerlager der EÜ Gutleuthof und dem südwestlichen Widerlager der EÜ Ladestraße (Abschnitt Stützwand Aufenthaltsraum) und dem nordöstlichen Widerlager der EÜ Ladestraße bis zum Ende des Planungsbereiches (Abschnitt Stützwand Ladestraße). Die Bestandsgleise der Bahnstrecken 3620/3520 liegen hier auf einem ca. 6 m hohen Damm. Die Böschungen des Bestandsdammes sind stark bewachsen. Neben dem Damm verläuft die Ladestraße mit anschließendem Aufenthaltsgebäude und Parkflächen. Die EÜ Ladestraße überquert die Ladestraße, die als Zufahrt zum ICE-Werk Griesheim und weiteren Betriebsgebäuden dient.

2.2 Geologische Situation

Das Untersuchungsgebiet liegt regionalgeologisch in der hessischen Senke zwischen dem Rheinischen Schiefergebirge, dem Vogelsberg im Norden, dem Odenwald im Süden und dem Mainzerbecken im Westen. Die mächtige Grabenfüllung des Oberrheingrabens endet im Norden etwa auf der Höhe von Rüsselsheim. Von Süden her bis dorthin sind über 2.000 m mächtige Tertiärschichten und über 100 m Quartär-Ablagerungen bekannt. Je weiter im Süden desto häufiger ist das Erkundungsgebiet geprägt durch eiszeitliche Flugsande mit Dünenbildung. Häufig sind diese Schichten kalkhaltig und besitzen Kalkkonkretionen. Die Mächtigkeit dieser quartären Flugsande kann mehrere Meter betragen. Nach Norden nehmen die Mächtigkeiten dieser Schichten ab. In großen Teilen des Erkundungsgebietes stehen unter den Terrassensanden und -kiesen des Mains die Gesteine des Oligozäns aus dem Unteren Tertiär in Form des Rupeltones an. Darunter befinden sich die unteren Meeressande als Untergrenze des Tertiärs und der Übergang zu den Gesteinen des Rotliegenden. Die Anstehenden Gesteine werden durch eine nach Nordwesten immer mächtiger werdende Deckschicht aus Gesteinen des Tertiärs überdeckt. Im nordwestlichen Bereich des Erkundungsgebietes können einzelne Kalksteinschichten (Hydrobienschichten) angetroffen werden. Im Bereich der Flussniederungen stehen an der Oberfläche quartäre Lockergesteine aus Flusssedimenten, Niederterrassen von Main und kleineren Nebenflüssen an. Der Rhein und der Main sowie ihre Nebenflüsse haben im Quartär am nördlichen Ende des Oberrheingrabens Sand und Kies abgelagert. Gelegentlich sind Schluff und Ton sowie Torf eingelagert. Dort wo diese Sedimente auf den ähnlichen Schichten des Pliozäns liegen, ist die Abgrenzung zu diesen schwierig. Als typische pliozänzeitliche Schichten der Untermain-Ebene gelten feinkörnige kalkfreie Sande (grau, weiß, gelblich) mit Einlagerungen von Tonlinsen, Braunkohlen und Kiesen. Die Gerölle dieser Kiese be-

stehen aus gebleichtem Buntsandstein, scharfkantigem Gangquarz, Quarzit und Hornstein. Der schwarze Kieseliefer aus Frankenwald und Fichtelgebirge fehlt weitgehend. Die Pleistozän-Schichten der Untermain-Ebene bestehen aus Sanden und Kiesen mit gelegentlichen schluffig-tonigen Einlagerungen. Die Gerölle der Kiese bestehen aus ungebleichtem Buntsandstein, Kalkstein, Hornstein, Quarz, Quarzit, Basalt und schwarzem Kieseliefer aus Frankenwald und Fichtelgebirge. Hinzu kommen lokale Gerölle aus Spessart und Odenwald. Diese Sedimente sind in der Regel kalkhaltig, können aber sekundär entkalkt sein. Im oberflächennahen Bereich der urban genutzten Bereiche ist infolge der Baumaßnahmen mit anthropogenen Auffüllungen zu rechnen. Durch den Einbau von zumeist lokal vorkommenden Böden ist dabei eine zweifelsfreie Unterscheidung zwischen aufgefülltem und gewachsenem Boden nicht immer möglich. Ergeben sich im Verlauf der Bohrarbeiten auffällige Abweichung von der hier beschriebenen Geologie ist unverzüglich der Baugrundgutachter zu informieren.

2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte

Gleisschotter

Der Gleisschotter wurde mit den im Damm ausgeführten Schürfen und Kleinbohrungen mit einer Gesamtschotterstärke von 0,45 m bis 1,1 m angetroffen. Der Schotter ist in der oberen Zone, 0,19...0,5 m, leicht verschmutzt bis verschmutzt, mit einem abgeschätzten Feinanteil von < 20 %. Der Schotter ist hier mit sandigen und kiesigen, zum Teil auch humosen Bestandteilen durchsetzt und wird als reinigungsfähig eingeschätzt. Die darunter liegende Mischzone in einer Höhe von 0,14...0,9 m ist stark verschmutzt, mit einem vom Bohrmeister abgeschätzten Feinanteil von 25-35 %. Gemäß Bohrmeisterangaben ist die Mischzone nicht reinigungsfähig.

Eine Übersicht der erkundeten Schotterdicken und geschätzten prozentualen Feinanteile der Mischzone ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Einschätzung der mechanischen Reinigungsfähigkeit gilt vorbehaltlich einer abfalltechnischen Einstufung des Schotters.

Tabelle 2: Erkundete Schotterverhältnisse

Aufschluss-Nr.	Lage zu GA	Gesamt-schotterhöhe [m]	Höhe Mischzone [m]	Feinanteil geschätzt [%]	mechanisch reinigungsfähig
134	1,2 m r.d.GA	0,70	0,20	25	nein
134a	1,5 m r.d.GA	1,00	0,65	30	nein
135	2,0 m r.d.GA	1,00	0,60	35	nein
138	1,8 m r.d.GA	1,10	0,90	35	nein
139	2,4 m r.d.GA	0,45	0,24	35	nein
141	2,2 m r.d.GA	0,60	0,41	35	nein
143	in GA	0,65	0,24	25	ja

Auffüllungen

Mit den ausgeführten Bohrungen und Kleinbohrungen am Dammfuss bzw. in der Dammschulter des Bestandsdammes sind beginnend ab Geländeoberkante bzw. unter dem Gleisschotter im Damm rollige Auffüllungen erkundet worden.

Die rolligen Auffüllungen stellen sich überwiegend als schwach schluffige bis schluffige **Fein- bis Mittelsande**, mit kiesigen und steinigen Bestandteilen dar. Darüber hinaus wurden lokal auch weitgestufte schwach kiesige bis kiesige Fein-/Mittelsande und intermittierend gestufte sandige bis stark sandige, steinige **Kiese** erkundet. Die aufgefüllten Sande und Kiese sind mit größeren Kornfraktionen (Steine, Sandsteinstücke) durchsetzt. Nach DIN 18196 werden die Auffüllungen den Bodengruppen [SW, SU, SU*, GI] zugeordnet. Oberflächlich wurde am Dammfuss eine aufgefüllte sandige Mutterbodenschicht mit einer Dicke von 0,1 m bis 0,4 m der Bodengruppe [OH] angetroffen. Die Gesamtschichtdicke der Auffüllungen in den Bohrungen und Kleinbohrungen am Dammfuss schwankt zwischen 0,2-1,8 m. Die im Damm liegenden Kleinbohrungen ergaben Mächtigkeiten zwischen 0,9-5,7 m. Alle im Damm ausgeführten Kleinbohrungen enden in den Auffüllungen. Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllungen ist gemäß den Ergebnissen der Rammsondierungen als locker bis mitteldicht, lokal auch dicht, einzuschätzen. Die leichten Rammsondierungen im Damm mussten aufgrund eines unzureichenden Bohrfortschrittes vorzeitig abgebrochen werden.

Anstehender Boden

Unterhalb der Auffüllungen folgen die quartären Hochflutablagerungen und Mainterrassen sowie die tertiären Ablagerungen als anstehende Böden.

Hierbei handelt es sich zuerst um **Hochflutsande**. Das sind enggestufte und schwach schluffige bis schluffige, schwach kiesige bis kiesige und teilweise schwach steinige Fein- bis Mittelsande der Bodengruppen SE, SU und SU*. Die Lagerungsdichte dieser rolligen Böden ist im Ergebnis der Rammsondierungen als locker bis mitteldicht zu bewerten. Die Unterkante der Hochflutablagerungen liegt bei 1,8 m bis 4,7 m unter GOK (93,01...90,36 m NN).

Die **Mainterrassen** wurden mit den Kernbohrungen unter den Hochflutsedimenten erkundet. Sie stellen sich als eng- bis intermittierend gestufte, kiesige bis stark kiesige Fein- bis Grobsande bzw. sandige Grobkiese dar. Lokal begrenzt wurde in der Bohrung S/B 133 auch ein schluffiger Mittelsand angetroffen. Gemäß DIN 18186 können diese Böden den Bodengruppen SE, SU SI, GI und SU* zugeordnet werden. Die Lagerungsdichte der Sande und Kiese ist gemäß der am Dammfuss ausgeführten schweren Rammsondierungen als locker und mitteldicht zu bewerten. Die Schichtmächtigkeit der quartären Ablagerungen ist in den

Aufschlüssen zwischen 2,2-7,2 m eingemessen worden, die Unterkante schwankt zwischen 6,1-6,9 m unter GOK (89,03...88,16 m NN). Die Kleinbohrungen S/RKS 140, 142 und 144 enden in den Terrassensanden und -kiesen.

Unter den quartären Schichten folgen bis Endtiefe (22...25 m unter GOK 73,23...70,06 m NN) der Bohrungen die **Sedimente des Tertiärs**. Das sind eng- bis intermittierend gestufte und teilweise schwach schluffige, schwach tonige bis tonige hellbraun-graue Fein- bis Mittelsande der Bodengruppen SE, SI, SU, ST und ST*. Zum Teil sind in die Sande Holzreste bzw. geringe organische Beimengungen eingelagert. Die Lagerungsdichte ist gemäß der Angaben des Bohrmeisters zum Bohrfortschritt als dicht einzuschätzen. Die schweren Rammsondierungen DPH 133 und DPH 137 mussten infolge eines zu hohen Eindringwiderstandes im Horizont der Sande abgebrochen werden.

In diese rolligen tertiären Sedimente sind immer wieder in unterschiedlichen Tiefen bindige Ablagerungen eingelagert. Das sind blaugraue bis graue leicht- und mittelplastische, teilweise schwach bis stark sandige Tone der Bodengruppen TL und TM. Am Ansatz der Bohrung S/B 137 ist auch ein Sand-Ton-Gemisch der Bodengruppe ST*_{m.P.}-TM (m.P. - mit Plastizität) erkundet worden. Die Konsistenz war zum Zeitpunkt der Erkundung und aus Handspezifizierung und Laborversuch steif bis halbfest, im Übergangsbereich zu den unterlagernden wasserführenden Sanden auch weich/steif und breiig. Die Schichtdicke liegt in den Bohrungen zwischen 1,9 m bis 3,9 m. Die Kleinbohrung RKS 133a endet in diesen Tönen. Die Bohrungen 133, 136 und 137 wurden aufgrund einer tiefliegenden Tonschicht um 2-5 m verlängert.

Den erkundeten Böden lassen sich die in folgender Tabelle 3 enthaltenen Kennwerte (Laboruntersuchung an repräsentativen Einzelproben sowie regionale Erfahrungswerte) zuordnen.

Tabelle 3: Bodenkennwerte und Zuordnungen

	Auffüllung	Anstehender Boden			
		Hochflut	Terrasse	Tertiär	
Bezeichnung	Sand/Kies	Sand	Sand/Kies	Sand	Ton
Bodengruppe nach DIN 18196	[SW, SU, SU*, GI, OH]	SE, SU, SU*	SE, SI, SU*, GI, SU	SE, SI, SU, ST, ST*	TL, TM, ST* _{m.P.} -TM
Kornanteil d ≤ 0,063 mm [%]	0,9 [GI] 2,3 [SE] 9,6...11,9 [SU]	3,1...4,5 (SE) 8,3 (SU)	1,1...4,1 (SE)	28...30 (ST*)	38,5...88,1
Kornanteil d > 2,0 mm [%]	33,2 [SE] 9,7...13,9 [SU] 57,9 [GI]	7,3...22,1 (SE) 21,7 (SU)	0,3...22,9 (SE)	0 (ST*)	---
Ungleichförmigkeitszahl U [-]	5,9 [SE] 6,5...9,6 [SU] 46,1 [GI]	2,3...3,7 (SE) 6,9 (SU)	2,6...2,7 (SE)	---	---
natürl. Wassergehalt w _n [%]	---	---	---	---	17,9...22,1
korr. Wassergehalt w _k [%]	---	---	---	---	17,9...22,1
Fließgrenze w _L [%]	---	---	---	---	25,3...49,0
Ausrollgrenze w _P [%]	---	---	---	---	14,8...17,5
Plastizitätszahl I _P [%]	---	---	---	---	7,8...34,2
Konsistenzzahl I _C [-] bez. auf Gesamtprobe	---	---	---	---	0,41...0,92
Konsistenz handspezifiziert	---	---	---	---	breiig... halbfest
Lagerungsdichte	locker...mittel-dicht (dicht)	locker... mittel-dicht	locker... mit-teldicht	dicht	---
Durchlässigkeitswert k _f [m/s]					
nach Beyer, USBR/Bialas	7,8...2,7*10 ⁻⁴ [SE, GI] 4,8...4,0*10 ⁻⁵ [SU]	2,2...3,1*10 ⁻⁴ (SE) 8,0*10 ⁻⁵ (SU)	2,3*10 ⁻⁴ ... 1,0*10 ⁻³ (SE)	2,3*10 ⁻⁷ ... 2,0*10 ⁻⁶ (ST*)	---
Erfahrungswerte	10 ⁻³ ...10 ⁻⁵ 10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷ [SU*, OH]	10 ⁻³ ...10 ⁻⁵ 10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷ (SU*)	10 ⁻³ ...10 ⁻⁵ 10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷ (SU*)	10 ⁻³ ...10 ⁻⁶ 10 ⁻⁶ ...10 ⁻⁸ (ST*)	10 ⁻⁷ ...10 ⁻¹⁰
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark bis schwach durch-lässig	stark bis schwach durchlässig	stark bis schwach durchlässig	stark bis schwach durchlässig	schwach bis sehr schwach durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 *)	1 [OH] 3 4 [SU*]	3 4 (SU*)	3 4 (SU*)	3 4 (ST*)	4 2 (breiig)
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 09	F1 [SW, GI] F1-F2 [SU] F3 [SU*, OH]	F1 (SE) F1-F2 (SU) F3 (ST*)	F1 (SE, SI, GI) F1-F2 (SU) F3 (SU*)	F1 (SE, SI) F1-F2 (SU) F3 (ST) F3 (SU*)	F3

Tabellenwerte sind Mittelwerte bzw. Einzelwerte aus Laborversuchen.

*) In Abhängigkeit vom Steinanteil auch höher.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten wurden von Oktober bis Dezember 2010 durchgeführt. Mit den ausgeführten Erkundungen sind die in Tabelle 4 aufgezeigten Grundwasserstände eingemessen worden.

Tabelle 4: Wasserstände

Aufschluss	Wasseranschnitt [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m NN]	Datum
B 133	3,80	---	91,33 *)	01.12.2010
B 136	4,00	3,80	91,32	09.11.2010
B 137	4,80	3,80	91,26	08.11.2010

*) Wasseranschnitt bei Bohrung

Mit den Kernbohrungen S/B 133, 136 und 137 sind die Grundwasserstände zwischen 91,26...91,33 m NN (3,8 m unter Gelände) eingemessen worden. Mit den Kleinbohrungen S/RKS 142 und 144 sind die erkundeten Terrassensande bei 4,6 m bzw. 4,8 m als nass beschrieben worden. Wir gehen am Standort der Stützwand von einem durchgehenden Grundwasserhorizont aus.

Die erkundeten aufgefüllten Sande und Kiese sind überwiegend gut wasserdurchlässig. Die schluffigen Hochflut- und Terrassensande sind schwach wasserdurchlässig. Auf diesen Schichten ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Die mit den Kernbohrungen angetroffenen Mainterrassen und tertiären Sande weisen eine gute Durchlässigkeit auf, die Tone sind prinzipiell schwach bis sehr schwach durchlässig, aufgrund der Tiefenlage jedoch von untergeordneter Bedeutung für die Versickerung. Generell ist von einer guten Versickerungsfähigkeit am Standort auszugehen.

Im Rahmen einer Recherche zu Grundwassermessstellen zum Projekt Umbau Knoten Frankfurt wurden beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und bei der HESSENWASSER GMBH & Co. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN die Wasserstände zu Grundwassermessstellen entlang der Bahntrasse abgefragt (/U 7/ und /U 8/). Diese sind nachrichtlich in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Wasserstände zu Grundwassermessstellen

Messstelle	Rechtswert	Hochwert	GOK [m NN]	Wasserstand [m GOK]			Wasserstand [m NN]		
				min	max	MW	min	max	MW
G03090	3473726,4	5548109,9	109,65	12,4	16,5	14,5	93,3	97,4	95,3
G04450	3474297,5	5548331,3	108,55	11,9	14,6	13,3	94,0	96,6	95,3
G04500	---	---	95,37	2,7	4,8	3,8	90,6	92,7	91,6
G00740	---	---	99,51	4,1	6,8	5,5	92,7	95,4	94,0
G05190	---	---	109,77	13,8	15,6	14,7	94,2	95,9	95,1

Gemäß des aktuellsten Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie /U 7/ fällt der Grundwasserhorizont von ca. 95 m NN auf 92,5 m NN Richtung Main hin ab.

Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand in Abhängigkeit der festgestellten Ergebnisse aus den Kernbohrungen zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1 m bei 92,4 m NN anzusetzen.

2.5 Baugrundmodell

Im Ergebnis der Baugrunderkundungen und der Laboruntersuchungen lässt sich für den Untersuchungsbereich ein Baugrundmodell entwickeln, welches für die Bewertung der Baugrundverhältnisse herangezogen werden kann. Zur besseren Übersicht wurde für den Ausbau des Knotens Frankfurt (M)-Sportfeld ein einheitliches Schichtenmodell entwickelt. Dabei wurden Böden mit annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften in Schichten zusammengefasst.

Schicht 1: Auffüllung, rollig, nicht bis schwach bindig Mächtigkeit: 0,9-3,7 m

- Fein-/Mittelsand, weitgestuft, schwach schluffig, schwach kiesig bis kiesig, schwach steinig, Sandsteinstücke, schwach humos
- Kies, intermittierend gestuft, sandig bis stark sandig, steinig
- lockere Lagerung (**Schicht 1.2.1, 1.4.1**)
- mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2**)
- dichte Lagerung (**Schicht 1.2.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SW, SU, GI]**

Auffüllung, rollig, gemischtkörnig Mächtigkeit: 0,6-2,9 m

- Fein-/Mittelsand, Mutterboden, kiesig, schluffig, Wurzelreste
- lockere Lagerung (**Schicht 1.3.1, 1.9.1**)
- mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.3.2**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SU*, OH]**

- Schicht 5: Hochflutsande** Mächtigkeit: 1,3-3,5 m
- Fein-/Mittelsand, enggestuft, schwach schluffig bis schluffig, schwach kiesig bis kiesig, schwach steinig, Sandsteinstücke
 - lockere Lagerung (**Schicht 5.1.1, 5.2.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 5.1.2**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SU, SU***
- Schicht 10: Terrassensande / -kiese** Mächtigkeit: 2,2-7,2 m
- Fein-/Grobsand, enggestuft bis intermittierend gestuft, schluffig, kiesig bis stark kiesig, schwach steinig
 - Kies, intermittierend gestuft, sandig bis stark sandig
 - mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.1, 10.1.4, 10.2.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.2, 10.2.2**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SI, SU, SU*, GI**
- Schicht 15: Tertiäre Sande** Mächtigkeit: 4,8-8,4 m, bis Endtiefe erkundet
- Fein-/Mittelsand, eng- und intermittierend gestuft, schwach schluffig, schwach tonig bis tonig, Holzreste, schwach organisch
 - dichte Lagerung (**Schicht 15.1.3, 15.3.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SI, SU, ST, ST***
- Schicht 16: Tertiäre Tone** Mächtigkeit: 1,9-3,6 m
(1,0 m S/RKS 133a)
- Ton, Sand-Ton-Gemisch, leicht- bis mittelplastisch, schwach schluffig, schwach bis stark sandig
 - breiige Konsistenz (**Schicht 16.1.1**)
weich/steife Konsistenz (**Schicht 16.1.2**)
steife und steif/halfeste Konsistenz (**Schicht 16.1.3**)
halfeste Konsistenz (**Schicht 16.1.4**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **TL, TM, ST*_{m.p.}-TM**

2.6 Bodenrechenwerte

Den erkundeten Baugrundsichten werden aus den Laborversuchen und Erfahrungen für erd-statische Berechnungen folgende charakteristische Berechnungskennwerte zugeordnet:

Tabelle 6a: Bodenrechenwerte

Bodenart	Auffüllung, rollig						
	[SU]	[SW,SU]	[SU]	[SU*]		[GI]	[OH]
Bodengruppe nach DIN 18196							
Schicht-Nr.	1.2.1	1.2.2	1.2.3	1.3.1	1.3.2	1.4.1	1.9.1
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mittel-dicht	dicht	locker	mittel-dicht	locker	locker
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	35,0	29,0	30,0	30,0	27,5
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,5	17,5	18,5	17,0	18,0	16,5	15,5
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	10,0	11,0	9,0	10,0	9,0	7,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	20,0	40,0	8,0	15,0	12,0	---

Tabelle 6b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Hochflutablagerungen		
	SE, SU	SE	SU*
Bodengruppe nach DIN 18196			
Schicht-Nr.	5.1.1	5.1.2	5.2.1
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	locker
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	29,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	1,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,0	17,0	17,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	8,5	9,5	9,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	20,0	8,0

Tabelle 6c: Bodenrechenwerte

Bodenart	Terrassenablagerungen				
	SE, SI	SE-SI	SU*	GI	GI, SI
Bodengruppe nach DIN 18196					
Schicht-Nr.	10.1.1	10.1.2	10.1.4	10.2.1	10.2.2
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	locker	locker	mitteldicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	27,5	32,5	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,0	17,0	17,0	16,5	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	8,5	9,5	9,0	9,0	10,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	25 ab 5 m ¹⁾ : 40	45 ab 5 m ¹⁾ : 70	15	30 ab 5 m ¹⁾ : 45	50 ab 5 m ¹⁾ : 80

¹⁾ bezogen auf OK anstehender Boden (= UK Auffüllung)

Tabelle 6d: Bodenrechenwerte

Bodenart	Tertiäre Sande			Tertiäre Tone		
	SE-SI, SU	ST* (ST)	ST* _{m.p.} -TM	TL	TL, TM	TM
Bodengruppe nach DIN 18196						
Schicht-Nr.	15.1.3	15.3.3	16.1.1	16.1.2	16.1.3	16.1.4
Konsistenz, Lagerungsdichte	dicht	dicht	breiig	weich/steif	steif, steif/ halbfest	halbfest
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	35,0	35,0	17,5	17,5	20,0	22,5
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²] ¹⁾	0,0	0,0	1,0	2,0	5,0	8,0
undrainierte Kohäsion c_u [kN/m ²] ²⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	25,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	18,0	21,0	15,0	17,5	18,0	19,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	10,0	11,0	5,0	7,0	8,0	9,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	90 ab 5 m ³⁾ : 120 ab 10 m ³⁾ : 190	65 ab 5 m ³⁾ : 90 ab 10 m ³⁾ : 135	1,5	6,0	10 ab 5 m ³⁾ : 15 ab 10 m ³⁾ : 20	15 ab 5 m ³⁾ : 20 ab 10 m ³⁾ : 25

¹⁾ Bei bindigen Böden im konsolidierten Zustand.

²⁾ Der zugehörige innere Reibungswinkel beträgt $\varphi_u = 0$.

³⁾ bezogen auf OK anstehender Boden (= UK Auffüllung).

2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Grundwassers

Zur Bestimmung der Beton- und der Stahlaggressivität des Grundwassers sind aus den Bohrungen S/B 133 und S/B 137 Wasserproben entnommen und auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe untersucht worden. Die Analyse erfolgte im Labor der Wessling GmbH, die Auswertung im Labor der DB International GmbH. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 17.15.4 beigefügt.

Betonaggressivität

Die untersuchten Wasserproben sind wie folgt einzuschätzen:

Bohrung S/B 133: **schwach betonangreifend** nach DIN 4030 (Anlage 17.15.4.3, Blatt 1)

Expositionsklasse XA1 nach DIN EN 206-1

Bohrung S/B 137: **nicht betonangreifend** nach DIN 4030 (Anlage 17.15.4.3, Blatt 5)

Expositionsklasse X0 nach DIN EN 206-1

Stahlkorrosivität

Die Untersuchung der Wasserproben auf Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Eisenwerkstoffe ergab folgende Ergebnisse:

Tabelle 7: Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Werkstoffe

S/B 133 (Anlage 17.15.4.3, Blatt 2-4)		
Freie Korrosion	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
im Unterwasserbereich	sehr gering	sehr gering
an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering
S/B 137 (Anlage 17.15.4.3, Blatt 6-8)		
Freie Korrosion	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
im Unterwasserbereich	sehr gering	sehr gering
an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering

Tabelle 8: Mittlere Korrosionsgeschwindigkeit

S/B 133 (Anlage 4.3, Blatt 2-4)		
Freie Korrosion	Abtragungsrate $w(100a)$ [mm/a]	Eindringtiefe $w_{Lmax}(30a)$ [mm/a]
im Unterwasserbereich	0,01	0,05
an der Wasser/Luft-Grenze	0,01	0,05
S/B 137 (Anlage 17.15.4.3, Blatt 6-8)		
Freie Korrosion	Abtragungsrate $w(100a)$ [mm/a]	Eindringtiefe $w_{Lmax}(30a)$ [mm/a]
im Unterwasserbereich	0,01	0,05
an der Wasser/Luft-Grenze	0,01	0,05

2.8 Erdbebeneinwirkung

Der Untersuchungsbereich des Bauvorhabens „Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe“ wird nach DIN 4149:2005-04 wie folgt eingeordnet:

Tabelle 9: Einstufung gemäß DIN 4149

Erdbebenzone (Bild 2)	Erdbebenzone 0
geologische Untergrundklasse (Bild 3)	S = Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung
Baugrundklasse	C = dominierende Scherwellengeschwindigkeit ca. 150-350 m/s

2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes

Eine Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Rammfähigkeit (z.B. nach DIN-Norm) gibt es nicht. Die nachfolgende Einschätzung basiert auf der Grundlage von Erfahrungen mit den erkundeten Bodenarten, Lagerungsdichten bzw. Konsistenzen und erfolgt in Anlehnung an Empfehlungen des Arbeitskreises Ufereinfassungen (EAU).

Tabelle 10: Rammfähigkeit

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
1.2.1, 1.4.1, 1.3.1, 1.9.1	Auffüllung (Sand, Kies, Mutterboden), locker	leicht bis mittelschwer
1.2.2, 1.3.2	Auffüllung (Sand), mitteldicht	mittelschwer bis schwer
1.2.3	Auffüllung (Sand), dicht	schwer
5.1.1, 5.2.1	Hochflut: Sand, locker	leicht
5.1.2	Hochflut: Sand, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
10.1.1, 10.1.4, 10.2.1	Terrasse: Sand/Kies, locker	leicht bis mittelschwer
10.1.2, 10.2.2	Terrasse: Sand/Kies, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
15.1.3, 15.3.3	Tertiär: Sand, dicht	schwer bis sehr schwer
16.1.1, 16.1.2	Tertiär: Ton, breiig, weich/steif	leicht
16.1.3	Tertiär: Ton, steif, steif/halbfest	mittelschwer bis schwer
16.1.4	Tertiär: Ton, halbfest	schwer

Auffüllung:

In aufgefüllten Böden ist generell mit Steinen, Blöcken, o.ä. zu rechnen, die die Rammfähigkeit des Untergrundes wesentlich verschlechtern können.

In Abhängigkeit der Ergebnisse der Rammsondierungen werden die Auffüllungen bei lockerer Lagerung (Schicht 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1, 1.9.1) als leicht bis mittelschwer, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 1.2.2, 1.3.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 1.2.3) als schwer rammfähig eingeschätzt.

Hochflutablagerungen:

Die Sande werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei lockerer Lagerung (Schicht 5.1.1, 5.2.1) als leicht und bei mitteldichter Lagerung (Schicht 5.1.2) als mittelschwer bis schwer rammfähig eingeschätzt.

Terrassenablagerungen / Tertiär:

Die Sande und Kiese werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei lockerer Lagerung (Schicht 10.1.1, 10.1.4, 10.2.1) als leicht bis mittelschwer und bei mitteldichter Lagerung (Schicht 10.1.2, 10.2.2) als mittelschwer bis schwer rammfähig eingeschätzt. In Abhängigkeit der Konsistenz ist der breiige und weich/steife Ton (Schicht 16.1.1/16.1.2) als leicht, der steife bzw. steif/halbfeste Ton (Schicht 16.1.3) als mittelschwer bis schwer und der halbfeste Ton (Schicht 16.1.4) als schwer rammfähig zu bewerten.

Insgesamt ist der Baugrund unter den Auffüllungen vorwiegend als mittelschwer bis schwer rammfähig einzuschätzen. Insbesondere in den dicht gelagerten Sanden und den steif/halbfesten und halbfesten Tonen sind Rammhilfen wie Spülen oder Vorbohren einzuplanen. In aufgefüllten, locker gelagerten Sanden sowie locker gelagerten Hochflutsanden ist mit Verdichtungssetzungen beim Rammen zu rechnen. Ferner ist zu beachten, dass in den pleistozänen Böden der Schicht 10 aufgrund der geologischen Entstehung mit Findlingen (Steine und Blöcke) gerechnet werden muss.

Zu beachten ist außerdem, dass die enggestuften und/oder schwach schluffigen Hochflut- und Terrassensande (**Schicht 5.1, 10.1**) generell sehr verlagerungsempfindlich und bei lockerer Lagerung im Grundwasser **setzungsfließgefährdet** sind.

Zur Minimierung der Setzungsfließgefahr sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

- Zur Verringerung der dynamischen Anregung des Bodens sollten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden.
- Die Bohlen sollten nach Möglichkeit in einem Zug bis zur Endtiefe gerammt werden. Sofern ein Nachrammen vorgesehen ist, muss die Verweilzeit bis zum Rammen auf Endtiefe minimiert werden, um den „Festwachseffekt“ zu vermeiden.
- Es ist ein Rammgerät zu verwenden, das eine ausreichende Größe hat. Wird ein zu kleines Gerät verwendet, so dass kaum ein Rammfortschritt erzielt wird, wird die Rammenergie zum großen Teil in Schwingungsenergie umgesetzt, welche zur Verflüssigung des Bodens führen kann.
- Zur Vermeidung hoher Schwingenergien beim Ziehen der Bohlen sollten diese im Boden verbleiben.

Wir empfehlen, zur Auswahl der Rammtechnologie und Rammgeräte eine Fachfirma einzuschalten und Proberammungen vorzusehen. Die von uns vorgenommenen Einschätzungen zur Rammbarkeit schließen nicht die Erfahrungen von Baufirmen bei der Durchführung von Rammarbeiten mit ähnlichen Baugrundverhältnissen aus.

3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen

3.1 Allgemeines

Im Rahmen des Ausbaus Knoten Frankfurt(Main)-Sportfeld sind zwei zusätzliche Fernverkehrsgleise geplant. Diesbezüglich muss im Abschnitt km 78,050 - km 78,450 der neuen Strecke 4010 der Damm verbreitert werden. Zur Absicherung des Geländesprunges ist hier der Neubau einer Stützwand erforderlich. Gemäß der Vorplanung /U 2/ ist eine Verbreiterung bahnrechts vorgesehen. Bauwerkspläne und Lastangaben zur Stützwand und der sich anschließenden Dammböschung liegen uns nicht vor.

Für die Bemessung der Gründung einer Stützwand müssen die Nachweise der Gleitsicherheit, Kippsicherheit, Grund- und Böschungsbruchsicherheit, der Setzungen sowie der Festigkeit der Wand erbracht werden. In Abschnitt 3.2 wurden Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen für nachfolgende Teilabschnitte der Stützwand durchgeführt.

1. „Stützwand Aufenthaltsraum“ km 78,050-78,165 (ab EÜ Gutleuthof bis EÜ Ladestraße)
2. „Stützwand Ladestraße“ km 78,180-78,450

Auf deren Grundlage sind die aufnehmbaren Sohldrücke für eine mögliche Flachgründung der Stützwandabschnitte (Schwergewichtsmauer, Winkelstützwand, o.ä.) angegeben.

3.2 Flachgründung

3.2.1 Stützwand km 78,050 – km 78,165 – Aufenthaltsraum

Bei einer Flachgründung müssen die Fundamente von ihren Abmessungen so beschaffen sein, dass:

- a) die Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 gewährleistet ist und
- b) keine bauwerksschädlichen Setzungen bzw. Setzungsunterschiede eintreten.

Aus den bahnrechten Baugrundprofilen ab der Bohrung S/B 133 bis zur Bohrung S/B 137 ist ersichtlich, dass der Baugrund unter geringmächtigen locker gelagerten sandigen Auffüllungen aus locker bis mitteldicht gelagerten Hochflutsanden (Schicht 5) besteht. Die Unterkante liegt zwischen 1,8-3,9 m unter GOK. Darunter folgen die locker und mitteldicht gelagerten Sande und Kiese der Mainterrassen (Schicht 10), gefolgt von überwiegend steifen Tonen (Schicht 16) sowie dicht gelagerten Sanden (Schicht 15).

Bei Annahme einer frostfreien Gründung von $\geq 0,8$ m unter GOK liegt die Gründungstiefe bei ca. 94,0 m NN (bezogen auf S/RKS 133a). Aufgrund der im gründungsrelevanten Bereich anstehenden locker gelagerten Hochflutsande empfehlen wir zur Reduzierung und Vergleichmäßigung der Setzungen im Bereich der Gründungssohle, den Einbau eines $\geq 0,5$ m dicken Kiespolsters. Die Unterkante des Kiespolsters liegt bei ca. 1,3 m unter GOK. Die Aushubsohle sollte vor Einbau des Kiespolsters tiefenwirksam nachverdichtet werden. Das Kiespolster ist aus einem gut verdichtbaren Material der Bodengruppe GW, GI, SW oder SI herzustellen, welches bis zu einer Dichte $D_{Pr} \geq 1,0$ zu verdichten ist. Bei dem Kiespolster ist zu beachten, dass dieses gegenüber dem Gründungskörper einen allseitigen Überstand in Höhe Unterkante Kiespolster besitzen muss, welcher mindestens so groß wie die Auffüllhöhe ist. Für das Kiespolster wurden folgende charakteristische Berechnungskennwerte zum Ansatz gebracht:

$$\varphi_k' = 35,0^\circ; \quad c_k' = 0 \text{ kN/m}^2; \quad \gamma_k / \gamma_k' = 19 / 11 \text{ kN/m}^3; \quad E_{s,k} = 80 \text{ MN/m}^2$$

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

Fundamentlänge:	$a = 115$ m
Fundamentbreite:	$b = 2 \dots 4$ m
Gründungstiefe:	$t_{\min} \approx 0,8$ m (auf mind. 0,5 m Kiespolster)
Baugrundprofil:	S/B 133
Grundwasser:	$t_{GW} \approx 2,41$ m unter GOK = 92,4 m NN (Abschnitt 2.4)
Vorbelastung:	$\sigma_V \approx 13,6$ kN/m ² (Aushubentlastung am Dammfuss)
angenommene zulässige Setzung:	$s_{zul} \leq 2$ cm

In Anlage 17.15.5, Blatt 01 und 02 wurden bei Annahme der Sicherheiten nach DIN 1054:2005-01, Lastfall 1 und lotrecht mittiger Belastung Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: aufnehmbarer Sohldruck

	aufnehmbarer Sohldruck [kN/m ²]			Setzung [cm]		
	Anlage 17.15.5, Blatt 01	Kiespolster d = 0,5 m				
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	297	340	157	5,6	8,5	4,0
Setzung max. s = 2,0 cm	114	90	85	2,0	2,0	2,0
Anlage 17.15.5, Blatt 02	Kiespolster d = 1,0 m					
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	332	367	186	5,1	7,6	4,0
Setzung max. s = 2,0 cm	138	106	100	2,0	2,0	2,0

Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen $\sigma_{zul} = 157...340 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,0...8,5 cm für ein 0,5 m dickes Kiespolster und zwischen $\sigma_{zul} = 186...367 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,0...7,6 cm für ein 1,0 m dickes Kiespolster.

Diese hohen Setzungen können vom Bauwerk vermutlich nicht schadensfrei aufgenommen werden. Bei einer angenommenen zulässigen Setzung von 2,0 cm ergibt sich, je nach Fundamentabmessungen, ein aufnehmbarer Sohldruck von $\sigma_{zul} = 114...85 \text{ kN/m}^2$ für ein 0,5 m dickes Kiespolster und von $\sigma_{zul} = 138...100 \text{ kN/m}^2$ für ein 1,0 m dickes Kiespolster.

Folgerung:

Bei einer Flachgründung der Stützwand auf einem Kiespolster können die aufnehmbaren Sohldrücke je nach Fundamentabmessungen in Abhängigkeit von den zulässigen Setzungen der Anlage 17.15.5, Blatt 01 und Blatt 02 entnommen werden.

Auffüllungen in der Aushubsohle sind auszukoffern und das Kiespolster ist entsprechend zu verstärken. Die Fundamentsohle ist durch einen fachkundigen Geotechniker abnehmen zu lassen.

Die angegebenen aufnehmbaren Sohldrücke gelten zur Vorbemessung. Sie ersetzen nicht die notwendigen erdstatischen Nachweise (Grundbruchsicherheit, Gleiten, Kippen, Setzungen) unter Ansatz der tatsächlichen Fundamentabmessungen und Lasten.

3.2.2 Stützwand km 78,180 – km 78,450 – Ladestraße

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

Fundamentlänge:	a = 270 m
Fundamentbreite:	b = 2...4 m
Gründungstiefe:	$t_{min} \approx 0,8 \text{ m}$ (auf mind. 0,5 m Kiespolster)
Baugrundprofil:	S/B 137
Grundwasser:	$t_{GW} \approx 2,66 \text{ m}$ unter GOK = 92,4 m NN (Abschnitt 2.4)
Vorbelastung:	$\sigma_v \approx 13,2 \text{ kN/m}^2$ (Aushubentlastung am Dammfuss)
angenommene zulässige Setzung:	$s_{zul} \leq 2 \text{ cm}$

In Anlage 17.15.5, Blatt 03 und 04 wurden bei Annahme der Sicherheiten nach DIN 1054:2005-01, Lastfall 1 und lotrecht mittiger Belastung Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: aufnehmbarer Sohldruck

	aufnehmbarer Sohldruck [kN/m ²]			Setzung [cm]		
	Anlage 17.15.5, Blatt 03	Kiespolster d = 0,5 m				
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	380	544	674	4,6	12,9	19,6
Setzung max. s = 2,0 cm	170	90	80	2,0	2,0	2,0
Anlage 17.15.5, Blatt 04	Kiespolster d = 1,0 m					
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	398	564	693	4,3	12,6	19,1
Setzung max. s = 2,0 cm	188	100	80	2,0	2,0	2,0

Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen $\sigma_{zul} = 380...674 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,6...19,6 cm für ein 0,5 m dickes Kiespolster und zwischen $\sigma_{zul} = 398...693 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,3...19,1 cm für ein 1,0 m dickes Kiespolster.

Diese hohen Setzungen können vom Bauwerk vermutlich nicht schadensfrei aufgenommen werden. Bei einer angenommenen zulässigen Setzung von 2,0 cm ergibt sich, je nach Fundamentabmessungen, ein aufnehmbarer Sohldruck von $\sigma_{zul} = 170...80 \text{ kN/m}^2$ für ein 0,5 m dickes Kiespolster und von $\sigma_{zul} = 188...80 \text{ kN/m}^2$ für ein 1,0 m dickes Kiespolster.

Folgerung:

Bei einer Flachgründung der Stützwand auf einem Kiespolster können die aufnehmbaren Sohldrücke je nach Fundamentabmessungen in Abhängigkeit von den zulässigen Setzungen der Anlage 17.15.5, Blatt 03 und Blatt 04 entnommen werden.

Die angegebenen aufnehmbaren Sohldrücke gelten zur Vorbemessung. Sie ersetzen nicht die notwendigen erdstatischen Nachweise (Grundbruchsicherheit, Gleiten, Kippen, Setzungen) unter Ansatz der tatsächlichen Fundamentabmessungen und Lasten.

3.3 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Wird die Stützwand flach gegründet, sind Baugruben erforderlich. Baugruben bis 1,25 m Tiefe können nach DIN 4124 senkrecht ausgehoben werden. Tiefere Baugruben müssen geböscht oder verbaut werden. Unbelastete Böschungen bis 5,0 m Höhe können nach DIN 4124 über Grundwasser unter einem Neigungswinkel von 45° (Sande, Kiese) abgeböscht werden. Für belastete und/oder höhere Böschungen ist die Standsicherheit nachzuweisen. Die Böschungswinkel sind nach den tatsächlich anstehenden Erdstoffen im Böschungsbereich anzulegen. Bei der Herstellung von Baugruben sind weitergehende Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 sowie des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau zu beachten. Sofern Verbauarbeiten vorgesehen sind bzw. die Stützwand als Spundwandverbau ausgeführt wird, können die Rechenwerte zur Verbauberechnung Abschnitt 2.6, Tabelle 6a-d entnommen werden. Angaben zur Rammfähigkeit des Untergrundes enthält Abschnitt 2.9.

Die horizontalen Bettungsziffern für durchgehende Verbauwände lassen sich in Anlehnung an die EAB /U 11/, Kapitel 4.6 (EB 102) näherungsweise ableiten zu:

$$k_{sh,k} = E_{sh,k}/t_B \quad (\text{für Ortbetonwände und Spundwände})$$

$$k_{sh,k} = E_{sh,k}/b \quad (\text{für Bohlträger})$$

mit: $E_{sh,k}$ - horizontale Steifemodul
 t_B - von der Bettung erfasste Einbindetiefe
 b - Flanschbreite bei gerammten Trägern, bei Trägern, die in vorgebohrte Löcher eingestellt werden, tritt der Bohrlochdurchmesser D an die Stelle von b

Der horizontale Steifemodul $E_{sh,k}$ kann aus dem vertikalen Modul E_s (siehe Tabelle 6a-d) mit dem Faktor 0,5 umgerechnet werden.

Grundwasser wurde mit den Erkundungen in einer Tiefe von 3,8 m unter GOK angetroffen. Der höchste Grundwasserstand (Bemessungswasserstand) wurde in Abschnitt 2.4 mit ~ 92,4 m NN angegeben.

Wir gehen davon aus, dass im Rahmen einer Flachgründung kein negativer Einfluss des Grundwassers eintritt. Eine Wasserhaltung ist in diesem Fall nicht erforderlich. Auf den schluffigen Hochflutsanden (Schicht 5.2) ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Dieses Wasser kann mit einer temporären Wasserhaltung gefasst werden.

3.4 Verankerung

Für eine mögliche Rückverankerung der Stützwand werden nachfolgend Hinweise und Empfehlungen gegeben.

Unter Verpressankern versteht man Stahlzugglieder, die in Bohrlöchern von ca. 80 bis 150 mm Durchmesser eingebaut sind und am erdseitigen Ende, in einem durch Einpressen von Zementmörtel hergestellten Verpresskörper, verankert werden. Die Kräfte werden vom Bauwerk über den Ankerkopf in das Stahlzugglied und von dort über den Verpresskörper im Bereich der Krafteintragungslänge in den Baugrund eingeleitet. Die Überprüfung des Tragverhaltens der Anker im Bereich der Krafteintragungslänge erfolgt durch Anspannen gegen das zu verankernde Bauteil. Den Einbau, die Prüfung und die Überwachung von Dauer- und Kurzzeitankern regelt die DIN EN 1537. An jedem Anker ist eine Abnahmeprüfung durchzuführen.

Für den Entwurf der Anker sind nach /U 16/ folgende Punkte zu beachten:

- Die freie Ankerlänge sollte mindestens 5 m betragen, um sicherzustellen, dass die Vorspannkraft planmäßig in den Baugrund und nicht durch Kraftkurzschluss von der Erdseite aus in das Widerlager eingeleitet wird.
- Die Verpresskörperlänge (Kraftertragslänge) sollte ganz im bindigen oder ganz im nichtbindigen Boden liegen. Übergangsbereiche sind zu vermeiden.
- Wegen möglicher Richtungsabweichungen des Bohrlochs und der gegenseitigen Beeinflussung bei der Kraftertragung sollten die Verpresskörper bei 15 m bis 20 m langen Ankern einen planmäßigen Achsabstand von mindestens $a = 1,5$ m aufweisen.
- Durch Spreizung der Anker in einer Reihe ist gegebenenfalls der planmäßige Mindestabstand von 1,5 m zu erzielen.
- Der planmäßige Abstand zwischen Verpresskörper und bestehenden Bauwerken oder empfindlichen Leitungen sollte 3 m nicht unterschreiten. Um bei Ankern unter verformungsempfindlichen Bauwerken Schäden infolge der konzentrierten Krafterleitung und Zerrung des Bodens zu verhindern, ist eine Staffelung der Ankerlängen zu empfehlen. Bei besonders empfindlichen Bauwerken oder wenn größere Verschiebungen des ganzen Bodenblockes zu erwarten sind, sollten die Anker so lang ausgeführt werden, dass die Verpresskörper nicht unter diese Bauwerke zu liegen kommen.
- Die Verpresskörper sollten mindestens 4 m unter der Geländeoberkante liegen.
- Die Ankerneigung gegenüber der Horizontalen muss wegen der Herstellung mindestens 10° betragen. Wegen der Tragkraft sind in Böden mit wechselnden Schichten mindestens 15° bis 20° Neigung anzustreben.

- Bruch oder Kriechen eines einzelnen Ankers darf die Standsicherheit der verankerten Konstruktion nicht gefährden.
- An einspringenden Wandecken müssen die senkrecht zueinander angeordneten Anker einen ausreichenden Sicherheitsabstand aufweisen.
- Ab einem Verpresskörperabstand von mehr als dem Zehnfachen des Verpresskörperdurchmessers ist keine maßgebliche gegenseitige Beeinflussung mehr zu erwarten.
- Bei üblichen Verpresskörperdurchmessern von 100 mm bis 150 mm sollte im Allgemeinen ein planmäßiger Abstand der Verpresskörper von 1,50 m nicht unterschritten werden.

Die Verpresskörper der Anker müssen in die mitteldicht bis dicht gelagerten Sande und Kiese der Schicht 10.1.2, 10.2.2, 15.1.3 einbinden.

Nachfolgend wird zur Bemessung der Anker Diagramme aus /U 16/ dargestellt. Für nichtbindige Böden sind in den nachfolgenden Grafiken die Grenzlasten beim Bruch in Abhängigkeit von der Krafteintragungslänge (Verpresskörperlänge) für verschiedene Lagerungsdichten dargestellt.

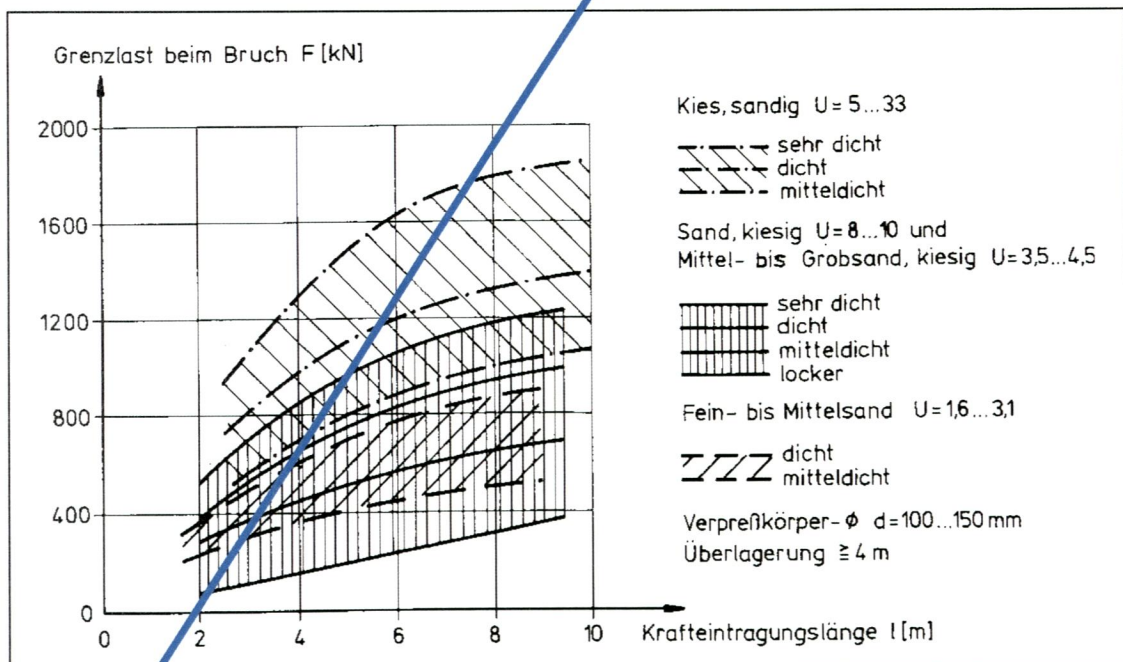


Bild 1: Grenzlast von Ankern in nichtbindigen Böden (nach Ostermeyer) aus /U 16/

3.5 Entwässerung / Versickerungsfähigkeit

Entwässerungsanlagen sind nach Ril 836 dort vorzusehen, wo das Grund- oder Schichtwasser höher als bis 1,50 m unter SO ansteigen kann.

Nach DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ /U 12/ sind Böden versickerungsfähig, deren k_f -Werte im Bereich von 10^{-3} bis 10^{-6} m/s liegen. Ferner sollte die Mächtigkeit des Sickertraumes (Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt kein Grundwasser enthält), bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand, grundsätzlich mindestens 1,0 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

Die Versickerungsfähigkeit der Schichten ist in Abhängigkeit der aus Kornverteilungskurven ermittelten k_f -Werte (siehe Tabelle 3) und unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 0,2 nach DWA-A 138 wie folgt einzuschätzen:

Tabelle 13: Versickerungsfähigkeit von Böden nach DWA-A 138

Boden	Schicht	k_f -Werte [m/s]	$k_{f,korr}$ -Werte [m/s]	Versickerungsfähigkeit
Auffüllung, (Sand/Kies), rollig	1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.4.1, 1.4.1	7,8...2,7*10 ⁻⁷ [SE, GI] 4,8...4,0*10 ⁻⁵ [SU]	1,5*10 ⁻⁴ ...5,4*10 ⁻⁵ [SE, GI] 9,6...8,0*10 ⁻⁶ [SU]	versickerungsfähig
Auffüllung, (Sand, Mutterboden), gemischtkörnig	1.3.1, 1.3.2, 1.9.1	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
Hochflutsand, rollig	5.1.1, 5.1.2	2,2...3,1*10 ⁻⁴ (SE) 8,0*10 ⁻⁵ (SU)	4,4...6,2*10 ⁻⁵ (SE) 1,6*10 ⁻⁵ (SU)	versickerungsfähig
Hochflutsand, gemischtkörnig	5.2.1	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
Terrasse: Sand/Kies, rollig	10.1.1, 10.1.2, 10.2.1, 10.2.2	2,3*10 ⁻⁴ ...1,0*10 ⁻³ (SE)	4,6*10 ⁻⁵ ...2,0*10 ⁻⁴ (SE)	versickerungsfähig
Terrasse: Sand, gemischtkörnig	10.1.4	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
Tertiär: Sand, rollig	15.1.3	10 ⁻³ ...10 ⁻⁶	10 ⁻³ ...10 ⁻⁶	versickerungsfähig
Tertiär: Sand, gemischtkörnig	15.3.3	2,3*10 ⁻⁷ ...2,0*10 ⁻⁶ (ST*)	4,6*10 ⁻⁸ ...4,0*10 ⁻⁷ (ST*)	nicht versickerungsfähig
Tertiär: Ton	16.1.1-16.1.4	10 ⁻⁷ ...10 ⁻¹⁰	< 10 ⁻⁶	nicht versickerungsfähig

Mit den ausgeführten Aufschlüssen wurden im Untergrund aufgefüllte und anstehende Böden mit unterschiedlich hohem Feinkornanteil erkundet. Die Versickerungsfähigkeit der einzelnen Schichten kann der Tabelle 13 entnommen werden.

Im vorliegenden Fall besitzen die über dem Grundwasser erkundeten, aufgefüllten Sande und Kiese sowie die schwach schluffigen Hochflutsande der Bodengruppen [SW, SU, GI] und SE, SU k_f -Werte $>10^{-6}$ m/s und sind gemäß DWA-A138 ausreichend versickerungsfähig. Die gemischtkörnigen Auffüllungen und die schluffigen Hochflutsande der Bodengruppen [SU*, OH] und SU* sind bedingt versickerungsfähig, da ihre k_f -Werte im Grenzbereich von 10^{-6} m/s liegen. Die tertiären Tone sind nach DWA-A138 nicht versickerungsfähig. Die Terrassensande und -kiese sowie die tertiären Sande sind prinzipiell versickerungsfähig.

Fazit:

Im Bereich der Bohrpunkte ist eine Versickerung von nicht belastetem Niederschlagswasser gemäß DWA-A 138 möglich.

3.6 Einfluss auf angrenzende Bebauung

Um Nachsetzungen des Aufenthaltsgebäudes und des Bestandsdammes zu verhindern bzw. zu minimieren, sollten insbesondere bei Verbauarbeiten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden.

Darüber hinaus ist eine kontinuierliche Beobachtung und messtechnische Überwachung der in Betrieb befindlichen Gleisanlagen und Masten vorzunehmen. Ggf. ist eine Langsamfahrstelle als bahnseitige Schutzmaßnahme einzurichten. Im Vorfeld der Baumaßnahme sollte eine Beweissicherung an den Bauwerken und dem Leitungsbestand durchgeführt werden.

3.7 Ausbildung der Hinterfüllung / Dammverbreiterung

Mit dem Neubau der Stützwand ist die Hinterfüllung gemäß den Forderungen der Ril 836.4302 auszubilden.

Danach sind zur Bauwerksentwässerung ausreichend dimensionierte und instandhaltungsarme Anlagen vorzusehen, wenn die Stützbauwerke nicht zur Aufnahme von Wasserdrücken vorgesehen und bemessen werden sollen.

Zur Dränung der Mauerrückseiten dürfen Dränmatten verwendet werden, die den Anforderungen der geltenden Prüfbedingungen des EBA für Geokunststoffe entsprechen. Die Dräneinrichtungen sind hydraulisch zu bemessen, soweit sie nicht nur konstruktiv der Ableitung von Sickerwasser dienen.

Die Hinterfüllung/Dammverbreiterung und Entwässerung von Schwergewichts- und Winkelstützmauern sind nach den Regeln der Ril 836 /U 9/ und der ZTVE-StB 09 /U 13/ herzustellen.

Wir empfehlen für die Hinterfüllung/Dammverbreiterung in Anlehnung an die Ril 836.0501 Bild A 1.9 die Verwendung von grobkörnigen Böden als Schüttmaterial.

- GW, GI, GE, SE, SW, SI
- empfohlener Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 0,98$

Hinweise zur Dammverbreiterung

- Bewuchsbeseitigung und Abtragung Oberboden
- Herstellung einer abgetrepten Böschungsfäche am Bestandsdamm, die Stufen der Abtreppungen sollten eine Höhe von ca. 60 cm haben und ein nach außen geneigtes Gefälle von 5 % aufweisen
- Herstellung Untergrundplanum / Dammaufstandsfläche
- Ungeeignete Böden (z. B. Auffüllungen) sind gegen ein mind. 0,5 m dickes Kiessandgemisch auszutauschen.
- Die Aushubsohle ist tiefenwirksam nach zu verdichten.
- Der Bodenaushub, die Nachverdichtung und der Wiedereinbau sind zeitnah durchzuführen. Eine Durchfeuchtung, insbesondere der Aushubsohle ist unbedingt zu vermeiden.
- Lagenweiser Einbau und Verdichtung des Dammschüttmaterials ab UK Dammaufstandsfläche gemäß Ril 836.0501 Bild 2 und Bild A1.9, abweichend von dem in Bild A1.9 geforderten Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 0,97$ empfehlen wir ein $D_{Pr} \geq 0,98$.
- Prüfung des Verdichtungsgrades, Prüfmethode und Prüfumfang analog ZTVE-StB bzw. Ril 836.0501 Bild 1.

3.8 Tragschichtsystem

→ siehe separates Gutachten, Gleise/Weichen km 77,750 - km 78,500

3.9 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen

Die bei der Herstellung der Stützwand und der Dammverbreiterung anfallenden Erdmassen stellen sandige und kiesige Auffüllungen und die rolligen Hochflutablagerungen dar, darüber hinaus Oberboden im Bereich des Bestandsdammes. Die aufgefüllten und anstehenden Sande sind gemäß Ril 836, Modul 836.0504, Bild 2 als Hinterfüllmaterial der Stützwand nicht geeignet, die aufgefüllten Kiese sind geeignet.

Bis auf den Oberboden können die Sande jedoch in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o.ä. eingesetzt werden.

Fremdbestandteile wie Wurzeln, Bauschutt, Schlacke o.ä. sowie der Oberboden sind vor einer Wiederverwendung der Böden auszusondern.

Für den Wiedereinbau ist gemäß LAGA 20 bzw. Merkblatt „Entsorgung von Bauabfällen“, Hessen eine Haufwerksuntersuchung erforderlich. Die umweltanalytischen Laborergebnisse werden in einem gesonderten Bericht dargestellt und erläutert.

4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse und deren Bewertung für die neue Stützwand und die Dammverbreiterung von km 78,050 bis km 78,450 im Rahmen des Projektes Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe dargestellt. Die Untersuchungen beziehen sich auf die Ermittlung der Eigenschaften der aufgefüllten und anstehenden Böden zur Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Gründung des Bauwerkes. Die Dammanschüttung wurde ebenfalls beschrieben.

Des Weiteren wurden abfallanalytische Untersuchungen des Bodens vorgenommen, deren Auswertung in einem separaten Bericht erfolgt.

Der Baugrund besteht ab Geländeoberkante bzw. im Dammbereich aus dem Gleisschotter, dem aufgefülltem Mutterboden und den rolligen Auffüllungen in Form von Sanden und Kiesen mit unterschiedlich hohem Feinkornanteil. Im Dammbereich weisen die Auffüllungen Mächtigkeiten zwischen 1,55 m und 6,4 m auf und in Höhe Dammfuss 0,2 m bis 1,8 m. Darunter folgen locker bis mitteldicht gelagerte Hochflutsande, gefolgt von mitteldichten bis dichten Terrassensande und -kiesen. Unterhalb der Terrassensedimente stehen die dicht gelagerten tertiären Sande an, in die Zwischenlagen aus breiigem bis halbfestem Ton eingelagert sind.

Das Grundwasser wurde mit den Erkundungen bei 3,8 m unter Gelände eingemessen. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand bei ca. 92,4 m NN anzunehmen.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen ist eine Flachgründung der Stützwandabschnitte „Aufenthaltsraum“ und „Ladestraße“ möglich. Die Dammverbreiterung kann nach Nachverdichtung auf den anstehenden Sanden ausgeführt werden. In Bereichen mit Auffüllungen empfehlen wir einen ca. 0,5 m dicken Bodenaustausch. Der Dammaufbau ist entsprechend den Vorgaben zu prüfen.

Die punktförmig durchgeführten Bodenuntersuchungen geben einen guten Überblick über die vorhandenen Untergrundverhältnisse, sie schließen jedoch Abweichungen in Teilbereichen nicht aus. Wir empfehlen uns einzuschalten, wenn sich Abweichungen von den Untersuchungsergebnissen ergeben bzw. planungstechnische Änderungen durchgeführt werden, die Einfluss auf die Gründung des Bauwerkes haben können.

aufgestellt:

Dipl.-Ing. Ch. Sielisch