



Mobility
Networks
Logistics

UNGÜLTIG

Anlage entfällt
ersatzlos

Anlage 17.1

DB International GmbH
Baigrund
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

NUR ZUR INFORMATION

Geotechnischer Bericht

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

Teilobjekt: Stützwand und Dammverbreiterung km 5,050 - km 4,450

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.-Geol. U. Tang

Dieser geotechnische Bericht umfasst 28 Seiten und 8 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, 01.03.2011

.....
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	7
2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	7
2.2 Geologische Situation	8
2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	9
2.4 Hydrologische Verhältnisse	12
2.5 Baugrundmodell	13
2.6 Bodenrechenwerte	14
2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Bodens	15
2.8 Erdbebeneinwirkung	16
2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes	16
3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	19
3.1 Allgemeines	19
3.2 Flachgründung	19
3.2.1 Abschnitt 1 (km 5,027 - km 4,867)	19
3.2.2 Abschnitt 2 (km 4,842 - km 4,475)	21
3.3 Baugrubensicherung und Wasserhaltung	24
3.4 Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	25
3.5 Einfluss auf angrenzende Bebauung	26
3.6 Ausbildung der Hinterfüllung / Dammverbreiterung	26
3.7 Tragschichtsystem	27
3.8 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	27
4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	28

Anlagenverzeichnis

Anlage 17.1.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.1.2	Lage- und Aufschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.1.3	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.1.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.1.4.1	Körnungslinien	6 Blatt
Anlage 17.1.4.2	Zustandsgrenzen	1 Blatt
Anlage 17.1.4.3	Glühverlust	1 Blatt
Anlage 17.1.4.4	Beton- und Stahlaggressivität	4 Blatt
Anlage 17.1.5	Fundament-/Setzungsdiagramme	4 Blatt
Anlage 17.1.6	Kampfmittelfreimessung	6 Blatt
Anlage 17.1.7	Fotodokumentation	3 Blatt
Anlage 17.1.8	Ergänzende Stellungnahmen	4 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 0016/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, Nov. 2010 bis Dez. 2010.
- /U 4/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 5/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.
- /U 6/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.
- /U 7/ Datenauszug zu Grundwassermessstellen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und der HESSENWASSER GMBH & CO. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN, Stand: Sept. 2010.
- /U 8/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 01.10.2008.
- /U 9/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2007.
- /U 10/ EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 4. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2006.
- /U 11/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Stand: 05/2005.
- /U 12/ ZTVE-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.
- /U 13/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen, Juli 2007.
- /U 14/ 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 15/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Witt, K. J., Verlag Ernst & Sohn, 2009.
- /U 16/ Geotechnischer Bericht EÜ Adolf Miersch-Straße

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. Zwischen der Eisenbahnüberführung Golfstraße und der neu geplanten Eisenbahnüberführung Waldfriedstraße, sowie in der Verlängerung in Richtung der Eisenbahnüberführungen Adolf - Miersch - Straße wird der Bestandsdamm bahnrechts der Strecke 3683 verbreitert (Dammverbreiterung). Infolge des dadurch neu zu planenden Rad- und Fußweges entlang des Dammes bedingen die vorhandenen Platzverhältnisse im Bereich des Dammfußes diesen zusätzlich mit einer Stützwand zu sichern.

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, mit Angabe bodenmechanischer Kennwerte für die Gründung beauftragt.

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

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse für die Dammverbreiterung und die Stützwand dargestellt und bewertet. Die zfalltechnische Beurteilung erfolgt in einem separaten Bericht.

1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen

Während des Streckenbegangs durch Mitarbeiter der DB International GmbH vom 06.-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 17.1.6 beigelegt.

Für die Beurteilung der Baugrundverhältnisse am Standort der neuen Stützwand werden teilweise die Erkundungen für die Eisenbahnüberführungen Waldfriedstraße und Adolf - Miersch - Straße herangezogen. Die Aufschlussarbeiten wurden durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH vom 18.10.2010 bis 02.11.2010 ausgeführt.

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber waren entlang der neu geplanten Böschungsfußkante 7 Kleinbohrung (BS, Ø 60 mm), mit schweren Rammsondierungen bis max. 8,00 m unter Gelände geplant. Darüber hinaus wurde eine Kernbohrung (B) mit einer schweren

Rammsondierung (DPH) bis 24,40 m unter Gelände aus dem Erkundungsumfang der EÜ Waldfriedstraße hinzugezogen

Für die Klärung der Kabel- und Leitungsfreiheit wurden vor Bohrbeginn Schürfe (S) je Ansatzpunkt ausgeführt.

Die Aufschlüsse DPH 75, 70, sowie die S/RKS 66, 75 (1 x umgesetzt), 75a 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	Aufschluss	Lage	Ansatzhöhe [m NN]	Endtiefe [m NN]	Aufschlusstiefe [m]
5,000	S/RKS 62	14,0 m r.d.GA	100,76	92,76	8,00
5,000	DPH 62	14,0 m r.d.GA	100,76	92,76	8,00
4,900	S/RKS 66	14,0 m r.d.GA	100,24	93,94	6,30
4,900	DPH 66	14,0 m r.d.GA	100,24	92,24	8,00
4,865	S/B 70	13,0 m r.d.GA	101,38	77,38	24,00
4,865	DPH 70	13,0 m r.d.GA	101,38	88,78	12,60
4,765	S/RKS 75	15,0 m r.d.GA	100,06	97,86	2,20
4,765	S/RKS 75a	15,0 m r.d.GA	100,06	97,56	2,50
4,765	DPH 75	15,0 m r.d.GA	100,06	92,66	7,40
4,665	S/RKS 80	14,9 m r.d.GA	98,98	90,98	8,00
4,665	DPH 80	14,9 m r.d.GA	98,98	90,98	8,00
4,560	S/RKS 85	11,0 m r.d.GA	98,29	90,29	8,00
4,560	DPH 85	11,0 m r.d.GA	98,29	90,29	8,00
4,480	S/RKS 90	12,0 m r.d.GA	98,95	90,95	8,00
4,480	DPH 90	12,0 m r.d.GA	98,95	90,95	8,00

S...Schurf, B...Kernbohrung, RKS...Kleinbohrung, DPH...schwere Rammsondierung,

l./r. d. GA...links/rechts der Gleisachse

¹⁾ bezogen auf Streckengleis 3683

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 (Strecke 3683) 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 17.1.2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NN in der Anlage 17.1.3 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 der Kernbohrung S/B 70 ist eine Wasserprobe entnommen und bezüglich Beton- und Stahlaggressivität untersucht worden. Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 5x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 1x kombinierte Sieb-/Schlammanalyse nach DIN 18123,
- 1x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122
- 1x Glühverlust nach DIN 18 128 und
- 1x Bestimmung der Beton-/Stahlaggressivität (Wasser) nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 17.1.4 entnommen werden.

Weiterhin sind chemische Laboruntersuchungen an Bodenproben aus dem Bereich der Eisenbahnüberführung 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 5,050 - km 4,450 (laut unserer Beauftragung /U 1/) der Strecke 3683 gliedert sich in 2 Abschnitte. Abschnitt 1 befindet sich zwischen dem nördlichen Widerlager der EÜ Golfstraße und dem südlichen Widerlager der geplanten EÜ Waldfriedstraße. Die Stützmauer schließt an beiden EÜ's an die jeweiligen Flügelwände an und ist ca. 160 m lang. Abschnitt 2 erstreckt sich vom nördlichen Widerlager der EÜ Waldfriedstraße ca. 367 m in Richtung des südlichen Widerlagers der EÜ Adolf - Miersch - Strasse. Die Bestandsgleise der Bahnstrecken 3683 liegen hier auf einem 6,00 -7,00 m hohen Damm. Die Böschungen des Bestandsdamms sind stark bewachsen. Am Fuß des Bestandsdamms verläuft ein Fuß- und Radweg. Im Bereich rechts und links des Weges sind umfangreiche Kabel- und Leitungsbestände vorhanden.

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 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 pliozän-zeitliche Schichten der Untermain-Ebene gelten feinkörnige kalkfreie Sande (grau, weiß, gelblich) mit Einlagerungen von Tonlinsen, Braunkohlen und Kiesen. Die Gerölle dieser Kiese bestehen aus gebleichtem Buntsandstein, scharfkantigem Gangquarz, Quarzit und Hornstein. Der schwarze Kiesel-schiefer 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 Kiesel-schiefer 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

Auffüllungen

Außer mit der ausgeführten Bohrung wurde mit den Kleinbohrungen am Dammfuss beginnend ab Geländeoberkante bzw. unter der ca. 0,04 m - 0,08 m dicken Asphaltsschicht des Bestands-Fuß- und Radweges, rollige Auffüllungen erkundet worden.

Die rolligen Auffüllungen stellen sich als eng - weitgestufte und schwach schluffige - schluffige **Fein- bis Mittelsande**, mit kiesigen und steinigen Bestandteilen dar. Darüber hinaus wurden auch weitgestufte sowie schwach schluffige, schwach sandige bis stark sandige **Kiese** erkundet. Die aufgefüllten Sande und Kiese sind mit größeren Kornfraktionen (Schotter) und Wurzeln durchsetzt. Nach DIN 18196 werden die Auffüllungen den Bodengruppen [SE, SW, SU, GW, SI GU] zugeordnet. Die Schichtdicke in den Bohrungen am Dammfuss schwankt zwischen 0,25 m - 3,50 m. Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllungen ist gemäß den Ergebnissen der schweren Rammsondierungen und den Angaben des Bohrmeisters zum Bohrfortschritt als locker einzuschätzen.

Anstehender Boden

Unterhalb der Auffüllungen folgen die quartären Hochflutablagerungen und Mainterrassen sowie die tertiären Ablagerungen als anstehende Böden. Am Ansatzpunkt der S/B 70 wurde eine 0,20 m mächtige anstehende Schicht aus Mutterboden angetroffen, die nach DIN 18196 der Bodengruppe OH zugerechnet wird. Wegen der geringen Mächtigkeit, wird diese Schicht im Einzelnen nicht weiter betrachtet.

Bei dem anstehenden Boden handelt es sich zuoberst um **Hochflutsande**. Das sind eng-intermittierend gestufte und schwach kiesige Fein- bis Grobsande der Bodengruppen SE, SI. Die Lagerungsdichte dieser rolligen Böden ist im Ergebnis der Rammsondierungen als locker bis mitteldicht zu bewerten.

Die Unterkante der Hochflutablagerungen liegt in der Bohrung S/RKS 62 und 66 bei 3,20 m bzw. 3,40 m unter GOK (97,04 m NN) und in der S/B 70 bei 4,00 m unter GOK (97,38 m NN). Die Kleinbohrungen RKS 75 und 75a mussten infolge eines unzureichenden Bohrfortschritts innerhalb dieser Schichten vorzeitig abgebrochen werden. In den anderen Erkundungen konnten diese Schichten nicht nachgewiesen werden.

Die **Mainterrassen** wurden mit der Kernbohrung S/B 70 und den Kleinbohrungen RKS 62, 66, 80, 85 und 90 unter den Hochflutsedimenten, bzw. direkt unter den Auffüllungen erkundet. Sie stellen sich zum einen als eng-, weit-, bis intermittierend gestufte **Mittel - Grobsande** mit kiesigen bis stark kiesigen Anteilen dar, zum anderen untergeordnet als intermittierend gestufte

Kiese. Gemäß DIN 18186 können diese Böden den Bodengruppen SE, SW, SI und SI-GI zugeordnet werden. Die Lagerungsdichte der Sande und Kiese ist gemäß der schweren Rammsondierungen als locker bis mitteldicht, bei größeren Überlagerungen bis dicht zu bewerten. Die Schichtmächtigkeit der quartären Terrassenablagerungen ist mit der Bohrung S/B 70 mit 9,70 m eingemessen worden, die Unterkante liegt bei 13,70 m unter GOK (87,68 m NN).

Bis auf die S/B 70 enden alle übrigen Kleinbohrungen in diesen Terrassenablagerungen.

Unter den quartären Schichten folgen bis zur Endtiefe von 24,00 m unter GOK, (77,38 m NN) der Bohrungen S/B 70 die **Sedimente des Tertiärs**. Das sind vorwiegend enggestufte und zum Teil schwach schluffige graue Mittelsande der Bodengruppen SE und SU. Die Lagerungsdichte ist gemäß der Angaben des Bohrmeisters zum Bohrfortschritt als dicht einzuschätzen. Die Bohrung S/B 70 wurde aufgrund der Tonschicht zwischen 13,70 m - 17,00 m unter GOK um 4,00 m verlängert.

Diese Schicht besteht aus grauen mittelplastischen bis ausgeprägt plastischen, schwach sandigen, schwach organischen Tonen der Bodengruppe TM und TA. Die Konsistenz war zum Zeitpunkt der Erkundung und aus Handspezifizierung und Laborversuch als steif einzustufen.

Den erkundeten Böden lassen sich die in folgender Tabelle 2 enthaltenen Kennwerte (Laboruntersuchung an repräsentativen Einzelproben sowie regionale Erfahrungswerte) zuordnen.

Tabelle 2: Bodenkennwerte und Zuordnungen

	Auffüllung	Anstehender Boden			
		Hochflutab- lagerungen	Terrasse	Tertiär	
Bezeichnung	Sand/Kies	Sand	Sand/Kies	Sand	Ton
Bodengruppe nach DIN 18196	[SE, SU, SW, SI, GW, GU]	SE, SI	SE, SW, SI, SI-GI	SE, SU	TM TA
Kornanteil $d \leq 0,063$ mm [%]	---	2	2,5 ... 3,7	---	80,8
Kornanteil $d > 2,0$ mm [%]	---	8 ... 17	3,4 ... 28,0	---	---
Ungleichförmigkeits- zahl U [-]	---	2,58 ... 3,00	2,8 ... 3,2	---	---
natürl. Wassergehalt w_n [%]	---	---	---	---	23,8
Glühverlust Vgl [%]	---	---	---	---	4,5
korr. Wassergehalt w_k [%]	---	---	---	---	23,85
Fließgrenze w_L [%]	---	---	---	---	71,06
Ausrollgrenze w_P [%]	---	---	---	---	19,28
Plastizitätszahl I_P [%]	---	---	---	---	51,78
Konsistenzzahl I_C [-] bez. auf Gesamtprobe	---	---	---	---	0,91
Konsistenz handspezifiziert	---	---	---	---	steif
Lagerungsdichte	locker	locker... bis mitteldicht	mitteldicht... dicht	dicht	---
Durchlässigkeitswert k_f [m/s]					
nach Beyer, USBR/Bialas	---	$3,2...4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,0...5,7 \cdot 10^{-4}$	---	---
Erfahrungswerte	$10^{-3}...10^{-6}$	$10^{-3}...10^{-5}$	$10^{-3}...10^{-5}$	$10^{-3}...10^{-5}$	$10^{-8}...10^{-10}$
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark bis durch- lässig	stark bis durchlässig	stark bis durchlässig	stark bis durchlässig	sehr schwach durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 *)	3	3	3	3	4
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 09	F1 [SE, SI, SW, GW] F2 [SU, GU]	F1	F1	F1 (SE) F2 (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 November 2010 durchgeführt. Mit den ausgeführten Erkundungen sind die in Tabelle 3 aufgezeigten Grundwasserstände eingemessen worden.

Tabelle 3: Wasserstände

Aufschluss	Wasseranschnitt [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m NN] *)	Datum
S/B 70	4,00	3,95*)	97,43	27.10.2010
S/RKS 80	3,18	---	95,80	02.11.2010
S/RKS 85	3,60	---	94,69	02.11.2010
S/RKS 90	3,50	---	95,45	02.10.2010

*) der Höhenunterschied resultiert u. E. aus einer Messungenauigkeit beim Einmessen des Bohransatzpunktes bezogen auf SO und dessen Umrechnung auf m NN, Mittelwert ~ 97,4 m NN.

Mit der Kernbohrung S/B 70 und den Kleinbohrungen sind die Grundwasserstände bei 94,69 - 97,43 m NN (3,18 m - 3,95 m unter Gelände) eingemessen worden. Die erkundeten aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese sind überwiegend gut wasserdurchlässig. Die mit der Kernbohrung 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 der aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese 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 GRUNDWASSERMESSTELLEN die Wasserstände zu Grundwassermessstellen entlang der Bahntrasse abgefragt (/U 6/ und /U 7/). Diese sind nachrichtlich in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: 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 6/ 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 Erkundungen zuzüglich eines Sicherheitszuschlages vom 1,00 m für den Abschnitt 1 bei 98,3 m NN (siehe auch Gutachten EÜ Waldfriedstraße) bzw. für den Abschnitt 2 bei 96,3 m NN (gemittelt, siehe zusätzlich Gutachten EÜ Adolf - Miersch - Strasse) 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: 0,25 m - 3,50 m
- Fein-/Mittelsand, eng- weitgestuft, schwach schluffig bis schluffig, schwach kiesig bis kiesig, schwach steinig, Schotter, Wurzeln
 - Kies, weitgestuft, schwach schluffig, sandig bis stark sandig,
 - lockere Lagerung (**Schicht 1.2.1, 1.4.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SE, SU, SI, SW, GW, GU]**

- Schicht 5:** **Hochflutsande** Mächtigkeit: 1,00 m - 3,80 m
- Fein-/Grobsand, eng- intermittierend gestuft, schwach kiesig
 - lockere Lagerung (**Schicht 5.1.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 5.1.2**)
dichte Lagerung (**Schicht 5.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SI**

- Schicht 10: Terrassensande / -kiese** Mächtigkeit: 3,10 m - 9,70 m
- Mittel- bis Grobsand, eng-, weit- bis intermittierend gestuft, kiesig bis stark kiesig
 - Kies, intermittierend gestuft
 - lockere Lagerung (**Schicht 10.1.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.2**)
dichte Lagerung (**Schicht 10.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SW, SI, SI-GI**

- Schicht 15: Tertiäre Sande** Mächtigkeit: bis Endtiefe
- Fein-/Mittelsand, enggestuft, schwach schluffig
 - dichte Lagerung (**Schicht 15.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SU**

- Schicht 16: Tertiäre Tone** Mächtigkeit: 3,30 m
- Ton, mittel- bis ausgeprägt plastisch, schwach organisch, schwach sandig
 - steife Konsistenz (**Schicht 16.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **TM, TA**

2.6 Bodenrechenwerte

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

Tabelle 5a: Bodenrechenwerte

Bodenart	Auffüllung, rollig			Hochflutablagerungen		
	[SE, SU, SW]	[SW]	[GW, GU]	SE	SI, SE	SI, SE
Bodengruppe nach DIN 18196						
Schicht-Nr.	1.2.1	1.2.2	1.4.1	5.1.1	5.1.2	5.1.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	locker	locker	mitteldicht	dicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	30,0	30,0	32,5	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,5	17,5	16,5	16,0	17,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	10,0	9,0	8,5	9,5	10,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	20,0	12,0	10,0	20,0	35,0

Tabelle 5b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Terrassenablagerungen			Tertiäre Sande	Tertiäre Tone
	SE, SI-GI	SE, SW, SI-SE, SI-GI	SI-SE	SE, SU	TM, TA
Bodengruppe nach DIN 18196					
Schicht-Nr.	10.1.1	10.1.2	10.1.3	15.1.3	16.1.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	dicht	dicht	steif
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	35,0	35,0	20,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,0	17,0	18,0	18,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	8,5	9,5	10,5	10,0	8,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	25	45 ab 5 m ¹): 70	75 ab 5 m ¹): 120 ab 10 m ¹):190	90 ab 5 m ³): 120 ab 10 m ³):190	10 ab 5 m ⁴): 15 ab 10 m ⁴): 20

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

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

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

⁴) Bei bindigen Böden im konsolidierten Zustand.

2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Bodens

Zur Bestimmung der Beton- und der Stahlaggressivität des Grundwassers ist aus der Bohrung S/B 70 eine Wasserprobe entnommen und auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe untersucht worden. Die Analysen erfolgten im Labor der DB International GmbH und im Labor Wessling GmbH. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 17.1.4 beigefügt.

Betonaggressivität

Die untersuchte Wasserprobe ist nach DIN 4030 als **nicht betonangreifend** einzuschätzen (Anlage 17.1.4.4, Blatt 01), was der **Expositionsklasse X0** nach DIN EN 206-1 entspricht.

Stahlkorrosivität

Die Untersuchung auf Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Eisenwerkstoffe ergab folgende Ergebnisse (Anlage 17.1.4.4, Blatt 02 - 04):

Tabelle 6: Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Werkstoffe

Freie Korrosion	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
im Unterwasserbereich	sehr gering	sehr gering
an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering

Die Abschätzung der mittleren Korrosionsgeschwindigkeit stellt sich nach DIN 50929 Teil 3, wie folgt dar:

Tabelle 7: Mittlere Korrosionsgeschwindigkeit

freie Korrosion	Abtragungsrate $w(100a)$ [mm/a]	max. Eindringtiefe $w_{Lmax}(30a)$ [mm/a]
Freie Korrosion im Unterwasserbereich	0,01	0,05
Freie Korrosion 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 8: 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 9: Rammfähigkeit

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
1.2.1, 1.4.1,	Auffüllung (Sand, Kies), locker	leicht bis mittelschwer
1.2.2	Auffüllung (Sand), mitteldicht	mittelschwer bis schwer
5.1.1	Hochflut: Sand, locker	leicht bis mittelschwer
5.1.2	Hochflut: Sand, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
5.1.3	Hochflut: Sand, dicht	schwer
10.1.1	Terrasse: Sand/Kies, locker	leicht bis mittelschwer
10.1.2	Terrasse: Sand/Kies, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
10.1.3	Terrasse: Sand, dicht	schwer bis sehr schwer
15.1.3	Tertiär: Sand, dicht	schwer bis sehr schwer
16.1.3	Tertiär: Ton, steif	mittelschwer bis 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, 1.4.1) als leicht bis mittelschwer, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 1.2.2) 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) als leicht, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 5.1.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 5.1.3) als schwer rammfähig eingeschätzt.

Terrassenablagerungen, Tertiär:

Die Sande und Kiese werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei lockerer Lagerung (Schicht 10.1.1) als leicht bis mittelschwer, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 10.1.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 10.1.3, 15.1.3) als schwer bis sehr schwer rammfähig eingeschätzt. In Abhängigkeit der Konsistenz ist der steife Ton (Schicht 16.1.3) als mittelschwer bis schwer rammfähig zu bewerten.

Insgesamt ist der Baugrund unter den Auffüllungen vorwiegend als mittelschwer rammfähig einzuschätzen. Insbesondere in den dicht gelagerten Sanden und den steifen 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 5,050 - km 4,450 der Strecke 3683 der bahnrechte Damm verbreitert werden. Aufgrund unzureichender Platzverhältnisse ist am Dammfuss hier der Neubau einer Stützwand erforderlich. Gemäß der Vorplanung /U 2/ ist eine Verbreiterung bahnrechts vorgesehen. Der Abschnitt gliedert sich in 2 Teilabschnitte. Abschnitt 1 mit einer Länge von ca. 160 m (km 5,027 - km 4,867) und Abschnitt 2 mit einer Länge von ca. 367 m (km 4,842 - km 4,475). 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 durchgeführt und auf deren Grundlage die aufnehmbaren Sohldrücke für eine mögliche Flachgründung der beiden Stützwände (Schwergewichtsmauer, Winkelstützwand, o.ä.) angegeben.

3.2 Flachgründung

3.2.1 Abschnitt 1 (km 5,027 - km 4,867)

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 der Strecke 3683 (S/RKS 62, 66 und S/B 70) ist ersichtlich, dass der Baugrund unter locker gelagerten sandigen und kiesigen Auffüllungen aus locker zum Teil aber auch mitteldicht gelagerten Hochflutsanden (Schicht 5) und Terrassensanden (Schicht 10) besteht. Diese folgen tlw. unterhalb der Auffüllungen oder der Schicht 5. Die mitteldicht bis nicht gelagerten Sande der Mainterrassen (Schicht 10), werden gefolgt von 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. 99,4 m NN. Aufgrund der im gründungsrelevanten Bereich anstehenden locker gelagerten Auffüllungen empfehlen wir zur Reduzierung und Vergleichmäßigung der Setzungen im Be-

reich der Gründungssole, den Einbau eines $\geq 1,0$ m dicken Kiespolsters. Die Unterkante des Kiespolsters liegt bei ca. 1,8 m unter GOK. Die Aushubsole 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 $\rho_{Pr} \geq 1,0$ 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 = 160,00 m
Fundamentbreite:	b = 2,00...4,00 m
Gründungstiefe:	t _{min} ≈ 0,80 m (auf mind. 1,00 m Kiespolster)
Baugrundprofil:	S/RKS 66
Grundwasser:	t _{GW} ≈ 1,94 m unter GOK = 98,3 m NN (Abschnitt 2.4)
Vorbelastung:	σ _v ≈ 13,52 kN/m ² (Aushubentlastung am Dammfuss)
angenommene zulässige Setzung:	s _{zul} ≤ 2 cm

In Anlage 17.1.5, Blatt 01 und 02 wurden bei Annahme der Sicherheiten nach DIN 1054:2005-01, Lastfall 1 und lotrecht mitiger Belastung Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 10: aufnehmbarer Sohldruck

	aufnehmbarer Sohldruck [kN/m ²]			Setzung [cm]		
Anlage 17.1.5, Blatt 01	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	340	367	459	4,7	6,8	10,5
Setzung max. s = 2,0 cm	153	118	98	2,0	2,0	2,0
Anlage 17.1.5, Blatt 02	Kiespolster d = 1,5 m					
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	371	393	485	4,2	6,1	9,6
Setzung max. s = 2,0 cm	182	135	109	2,0	2,0	2,0

Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen $\sigma_{zul} = 340...459 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,7...10,6 cm für ein 1,00 m dickes Kiespolster und zwischen $\sigma_{zul} = 371...485 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,3...9,8 cm für ein 1,5 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 $\sigma_{zul} = 98..153 \text{ kN/m}^2$ für ein 1,00 m dickes Kiespolster und von $\sigma_{zul} = 109...182 \text{ kN/m}^2$ für ein 1,5 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 17.1.5, 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 Abschnitt 2 (km 4,842 – km 4,475)

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 (S/B 70, S/RKS 75, 75a, 80, 85 und 90) ist ersichtlich, dass der Baugrund unter locker bis mitteldicht gelagerten sandigen und kiesigen Auffüllungen aus mitteldicht bis dicht gelagerten Hochflutsanden (Schicht 5) und locker bis mitteldicht gelagerten Terrassensanden (Schicht 10) besteht. Im Bereich der S/RKS 80, 85 und 90 fehlen die Hochflutablagerungen. Darunter bzw. unter den Auffüllungen folgen die steifen Tone (Schicht 16) sowie dicht gelagerten Sande (Schicht 15).

Bei Annahme einer frostfreien Gründung von $\geq 0,80$ m unter GOK liegt die Gründungstiefe bei ca. 98,2 m NN. Aufgrund der im gründungsrelevanten Bereich anstehenden locker gelagerten Auffüllungen empfehlen wir zur Reduzierung und Vergleichmäßigung der Setzungen im Bereich der Gründungssohle, den Einbau eines $\geq 1,00$ m dicken Kiespolsters. Die Unterkante des Kiespolsters liegt bei ca. 1,80 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 Gründungkörper 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:	$a = 367,00 \text{ m}$
Fundamentbreite:	$b = 2,00 \dots 1,00 \text{ m}$
Gründungstiefe:	$t_{\min} \approx 0,8 \text{ m}$ (auf mind. 1,0 m Kiespolster)
Baugrundprofil:	S/RKS 80
Grundwasser:	$t_{GW} \approx 2,69 \text{ m}$ unter GOK = 96,3 m NN (Gemittelter Wert siehe Abschnitt 2.4)
Vorbelastung:	$\sigma_v \approx 17,7 \text{ kN/m}^2$ (Aushubentlastung am Dammfuss)
angenommene zulässige Setzung:	$s_{zul} \leq 2 \text{ cm}$

In Anlage 17.1.5, 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 11 dargestellt.

Tabelle 11: aufnehmbarer Sohldruck

	aufnehmbarer Sohldruck [kN/m ²]			Setzung [cm]		
Anlage 17.1.5, Blatt 01	Kiespolster d = 1,00 m					
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	361	429	475	3,9	7,1	10,6
Setzung max. s = 2,0 cm	195	133	104	2,0	2,0	2,0
Anlage 17.1.5, Blatt 02	Kiespolster d = 1,50 m					
Fundamentbreite [m]	2,0	3,0	4,0	2,0	3,0	4,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	389	456	497	4,1	7,4	10,9
Setzung max. s = 2,0 cm	200	135	106	2,0	2,0	2,0

Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen $\sigma_{zul} = 361...475 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 3,9...10,6 cm für ein 1,00 m dickes Kiespolster und zwischen $\sigma_{zul} = 389...497 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 4,1...10,9 cm für ein 1,50 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 $\sigma_{zul} = 104...195 \text{ kN/m}^2$ für ein 1,00 m dickes Kiespolster und von $\sigma_{zul} = 106...200 \text{ kN/m}^2$ für ein 1,50 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 17.1.5, Blatt 03 und Blatt 04 entnommen werden.

Auffüllungen in der Kuschubsohle 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.

3.3 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) bzw. 60° (Tone bei mind. steifer Konsistenz) 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 5a-b 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 10/, 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 geramten Trägern, bei Trägern, die in vorgebohrte Löcher eingestellt werden, tritt der Bohrlochdurchmesser D an die Stelle von b

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

Grundwasser wurde mit den Erkundungen in einer Tiefe von 3,18 m bzw. 3,95 m unter GOK angetroffen. Der höchste Grundwasserstand (Bemessungswasserstand) wurde in Abschnitt 2.4 mit 98,3 m NN für den Stützmauer-Abschnitt 1 und mit einem gemittelten Wert von 96,4 m NN für den Abschnitt 2 angegeben.

Wir gehen davon aus, dass im Rahmen einer Flachgründung kein negativer Einfluss des Grundwassers eintritt. Eine Wasserhaltung ist in diesem Fall nicht erforderlich.

3.4 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 11/ sind Böden versickerungsfähig, deren k_f -Werte im Bereich von 10^{-3} bis 10^{-6} m/s liegen. Ferner sollte die Mächtigkeit des Sicker-raumes (Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt kein Grundwasser enthält), bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand, grundsätzlich mindestens 1,00 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 2) und unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 0,2 nach DWA-A 138 wie folgt einzuschätzen:

Tabelle 12: 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, 1.4.1	$10^{-3} \dots 10^{-6}$	$10^{-3} \dots 10^{-6}$	versickerungsfähig
Hochflutsand, rollig	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3	$3,2 \dots 4,3 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \dots 8,6 \cdot 10^{-5}$	versickerungsfähig
Terrasse: Sand/Kies, rollig	10.1.1, 10.1.2, 10.1.3	$2,0 \dots 5,7 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \dots 1,1 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig
Tertiär: Sand, rollig	15.1.3	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	versickerungsfähig
Tertiär: Ton	16.1.3	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	$< 10^{-6}$	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 12 entnommen werden.

Im vorliegenden Fall besitzen die über dem Grundwasser erkundeten, aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese der Bodengruppen [SW, SE, SU, GW, GU] sowie SI und SE, k_f -Werte $>10^{-6}$ m/s und sind gemäß DWA-A138 ausreichend versickerungsfähig. Die tertiären Tone (TM, TA) 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.

3.5 Einfluss auf angrenzende Bebauung

Um Nachsetzungen der Bestandsböschungen 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 Erdbauwerken, Signal- und Masteinrichtungen sowie dem Leitungsbestand durchgeführt werden.

3.6 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 EPA 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 8/ und der ZTVE-StB 09 /U 12/ 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

- Bewurmsbeseitigung und Abtragung Oberboden
- Herstellung einer abgetreppten Böschungsfläche 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

- Die in Höhe Untergrundplanum erkundeten Auffüllungen der Schichten 1.2.1; 1.4.1 und anstehenden Mutterbodens sind aufgrund ihrer lockeren Lagerung und der Inhomogenität 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 Prüfungsumfang analog ZTVE-StB bzw. Ril 836.0501 Bild 1.

3.7 Tragschichtsystem

Die Anforderungen an das Tragschichtsystem entnehmen Sie bitte dem eigenständigen Gutachten. Geotechnischer Bericht Tragschichtgutachten „Gleis km 5,1 - 4,5“

3.8 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen

Die bei der Herstellung der Stützwand und der Dammverbreiterung anfallenden Erdmassen stellen sandige und kiesige Auffüllungen und die rolligen Hochflutablagerungen und Terrassensande dar, darüber hinaus Oberboden im Böschungsbereich des Bestandsdammes. Diese Böden sind gemäß Ril 836 Modul 836.0504, Bild 2 als Hinterfüllmaterial der Stützwand nicht geeignet. Bis auf den Oberboden können sie 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 5,050 bis km 4,450 an der Strecke 3683 im Rahmen des Projektes Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe dargestellt. Die Stützwand gliedert sich abweichend von der Benennung bei Auftragserteilung in 2 Abschnitte, km 5,027 - km 4,867 und km 4,842 - km 4,475. 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 und der Aufbau des Tragschichtsystems wurden erläutert.

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

Der Baugrund besteht ab Geländeoberkante aus rolligen Auffüllungen in Form von eng- bis weitgestuften sowie schwach schluffigen Sanden und Kiesen. Am Dammfußbereich weisen die Auffüllungen Mächtigkeiten zwischen 0,25 m und 3,50 m auf. Im Bereich der S/B 70 wurden keine Auffüllungen erkundet. Darunter folgen locker bis dicht gelagerte Hochflutsande gefolgt von locker bis mitteldichten Terrassensande und -kiesen, steifen Tonen und den dicht gelagerten tertiären Sanden.

Das Grundwasser wurde mit der Kernbohrungen S/B 70 und bei 3,95 m unter Gelände angeschnitten. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand bei ca. 98,3 m NN für den Abschnitt 1 und für den Abschnitt 2 bei ca. 96,3 m NN (in Anlehnung an den Bemessungswasserstand der Erkundungen der Adolf - Miersch - Straße) anzunehmen.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen ist eine Flachgründung der Stützwand möglich. Die Dammverbreiterung kann auf einem ca. 0,5 m dicken Bodenaustausch ausgeführt werden. Der Dammaufbau ist entsprechend den Vorgaben zu prüfen. Auf Oberkante Planum ist der Einbau einer 40 cm dicken Schutzschicht mit einem KG 2 Material vorzunehmen.

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.-Geol. U. Tang