



Mobility
Networks
Logistics

Anlage entfällt
ersatzlos

Anlage 17.20

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: Neubau Zweigleisiger Überbau Ladestraße

Leistungsphase: Entwurfsplanung

Auftraggeber: DB ProjektBau GmbH
Regionalbereich Mitte
BV-MI-P (4-8, 7)
Hahnstraße 52
60528 Frankfurt (Main)

Auftragsnummer: PF 7 0368 01

Bearbeiter: Dipl.-Ing. M.Sc. An. Ehrhardt

Dieser geotechnische Bericht umfasst 28 Seiten und 7 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, 18.02.2011

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

.....
Dipl.-Ing. M.Sc. An. Ehrhardt

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	7
2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	8
2.4 Hydrologische Verhältnisse	12
2.5 Baugrundmodell	13
2.6 Bodenrechenwerte	14
2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Grundwassers	16
2.8 Erdbebeneinwirkung	17
2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes	17
3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	19
3.1 Allgemeines	19
3.2 Flachgründung	19
3.3 Bohrpfahlgründung	21
3.4 Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse	23
3.5 Baugrubensicherung und Wasserhaltung	23
3.6 Zusatzbelastung auf Pfähle	25
3.7 Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	25
3.8 Einfluss auf angrenzende Bebauung	26
3.9 Ausbildung der Hinterfüllung	26
3.10 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	27
4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	28

Anlagenverzeichnis

Anlage 17.20.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.20.2	Lage- und Anschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.20.3	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.20.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.20.4.1	Körnungslinien	4 Blatt
Anlage 17.20.4.2	Zustandsgrenzen	2 Blatt
Anlage 17.20.4.3	Beton- und Stahlaggressivität des Grundwassers	8 Blatt
Anlage 17.20.5	Fundament-/Setzungsdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.20.6	Kampfmittelfreimessung	6 Blatt
Anlage 17.20.7	Fotodokumentation	8 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, Okt. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 4/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 5/ Laborergebnisse 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 GRUNDWASSERMESSSTELLEN, 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/ 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 14/ Programm „GGU-Axpile“, Berechnung und graphische Darstellung von Bohr- und Rammpfählen nach DIN 4014 bzw. DIN 1054, Version 5.08, 16.10.2010, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. J. Buß.

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.

Die vorhandene Eisenbahnüberführung Ladestraße wird dazu mit einem neuen zweigleisigen Überbau, einschließlich der dazugehörigen Widerlager erweitert.

Die DB International GmbH, Baugrund wurde auf der Grundlage der Bestellung /U 1/ mit der Erkundung, Darstellung und Bewertung der Baugrundverhältnisse im Untersuchungsbereich der Brückenerweiterung, mit Angabe bodenmechanischer Kennwerte für die Gründung der Brücke beauftragt.

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

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse für den Brückenneubau 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.-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 17.20.6 beigefügt.

Die Aufschlussarbeiten im Bereich der Eisenbahnüberführung Ladestraße wurden durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH vom 04.11.2010 bis 10.12.2010 ausgeführt.

Zur Erkundung der Baugrundverhältnisse waren in Abstimmung mit dem Auftraggeber je Brückenwiderlager eine Kernbohrung (B) mit Tiefen bis 20 m und 2 Kleinbohrungen im Damm (BS, Ø 60 mm) bis max. 10 m unter Gelände geplant. Für die Ermittlung der Lagerungsverhältnisse des Baugrundes waren insgesamt 4 schwere Rammsondierung (DPH) mit Tiefen zwischen 10 und 20 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 je Ansatzpunkt ausgeführt.

Die Aufschlüsse S/RKS/DPL-5 135, DPH 136, DPH 137 und S/RKS/DPL-5 138 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]
34,745	S/RKS 135	2,0 m r.d.GA	100,44	96,24	4,20
34,745	DPL-5 135	2,0 m r.d.GA	100,44	96,24	4,20
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
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
34,792	S/RKS 138	1,8 m r.d.GA	100,34	96,24	4,10
34,792	DPL-5 138	1,8 m r.d.GA	100,34	96,24	4,10

S...Schurf, B...Kernbohrung, RKS...Kleinbohrung, DPH...schwere Rammsondierung, DPL-5...leichte Rammsondierung mit einer Sondierspitze $A=5\text{cm}^2$, l./r. d. GA...links/rechts der Gleisachse

*) bezogen auf Streckengleis 3620

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 17.20.2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NN in der Anlage 17.20.3 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 137 sind Grundwasserproben entnommen und bezüglich Beton- und Stahlaggressivität untersucht worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 2x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 2x kombinierte Sieb-/Schlammanalyse nach DIN 18123,
- 2x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122 und
- 1x Bestimmung der Beton-/Stahlaggressivität (Wasser) nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 17.20.4 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 vorhandene Eisenbahnüberführung bei Bahn-km 34,773 der Strecke 3520 überquert die Ladestraße mit den Fahrspuren der Straße. Die Bestandsgleise der Bahnstrecken liegen hier auf einem 5-6 m hohen Damm. Im Bereich des südlichen Widerlagers schließt sich in der Verlängerung ein Bahngelände mit Aufenthaltsräumen an, in dessen Bereich auch mit zahlreichen erdverlegten Kabel und Leitungen zu rechnen ist.

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 über-

deckt. 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 Kieselschiefer 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 Kieselschiefer 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

Mit den im Gleisbereich ausgeführten Erkundungen S/RKS 135, 138 wurde zunächst der Gleisschotter mit einer Gesamtschotterstärke von 1,0-1,1 m. Der Schotter wurde als leicht bis stark verschmutzt eingeschätzt, mit einem vom Bohrmeister abgeschätzten Feinanteil zwischen 20 und 35 %. Am Ansatz der Erkundungen S/RKS 135, 138 ist der Schotter leicht verschmutzt (0,20 m bzw. 0,40 m), in der darunter liegenden Mischzone (0,60 m - 0,90 m) wiederum stark verschmutzt (30 % - 35%).

Eine Übersicht der erkundeten Schotterdicken und geschätzten prozentualen Feianteile 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]	Feianteil geschätzt [%]	mechanisch reinigungsfähig
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

Auffüllungen

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

Die rolligen Auffüllungen stellen sich als schwach schluffige bis schluffige **Fein- bis Mittelsande**, mit kiesigen Bestandteilen dar. Darüber hinaus waren die aufgefüllten Sande in geringer Menge mit Wurzelresten durchsetzt. Nach DIN 18196 werden die sandigen Auffüllungen den Bodengruppen [SU, SU*] zugeordnet. Die Schichtdicke der Auffüllungen schwankt zwischen 1,80-4,10 m. Am Ansatzpunkt der Erkundungen S/B 136 und S/B 137 wurde ab GOK aufgefüllter Mutterboden [OH] in einer Mächtigkeit von 0,30-0,40 m erkundet.

Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllungen im Damm ist gemäß den Ergebnissen der leichten Rammsondierungen als mitteldicht einzuschätzen. Die am Dammfuss ausgeführten schweren Rammsondierungen weisen auf eine mitteldichte Lagerung hin. Die Rammsondierungen im Dammbereich mussten infolge eines unzureichenden Bohrfortschritts vorzeitig abgebrochen werden.

Anstehender Boden

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

Die **Hochflutablagerungen** stellen sich als enggestufte und schwach schluffige kiesige Fein- und Mittelsande mit schwach steinigen Anteilen der Bodengruppen SE und SU dar. Die Lagerungsdichte der Sande ist im Ergebnis der Rammsondierungen als locker bis dicht zu bewerten. Die erkundete Schichtdicke liegt zwischen 0,4 m (bis Endtiefe S/RKS 135) und 3,5 m.

Unter den Hochflutablagerungen folgen die **Mainterrassen**. Das sind vorwiegend intermittierend gestufte kiesige Mittel- bis Grobsande bzw. intermittierend gestufte sandige Mittelkiese der Bodengruppen SI, GI nach DIN 18196. Die Lagerungsdichte ist im Ergebnis der Rammsondierungen und der Angaben des Bohrmeisters zum Bohrfortschritt als mitteldicht einzuschätzen. Die Schichtdicke liegt in den Kernbohrungen bei 2,2-2,9 m.

Unter den quartären Schichten folgen **Sedimente des Tertiärs**. Die **tertiären Sande** sind bis Endtiefe der Bohrungen S/B 136 und S/B 137 erkundet worden. Die Mächtigkeit der erkundeten Sandschichten liegt zwischen 5,0 m bei S/B 136 und 8,4 m bei S/B 137. Die tertiären Sande wurden als Mittel- und Feinsande mit grobsandigen, zum Teil schwach schluffigen sowie schwach tonigen und tonigen Anteilen sowie organischen Beimengungen aufgeschlossen. Die Sande werden den Bodengruppen SE, SI, SU ST und ST* zugeordnet. Die Lagerungsdichte konnte bis in eine Tiefe von 8,70 m bzw. 8,90 m als dicht nachgewiesen werden. Die schweren Rammsondierungen mussten hier abgebrochen werden. Darunter gehen wir auch weiterhin von einer dichten Lagerung aus.

In die Sande sind tertiäre Tone eingeschaltet. Die **tertiären Tone** sind mit S/B 136 und S/B 137 aufgeschlossen worden. Hierbei handelt es sich um leichtplastische schluffige, sandige Tone (TL), mittelpastische Tone (TM) bis tonige Sande mit Plastizität (ST*_{m.p.}) in breiiger bis halbfester Konsistenz. Die Mächtigkeit liegt zwischen 2,5 m und 3,9 m.

Der aufgefüllte Mutterboden wird aufgrund der untergeordneten Bedeutung und der geringen Schichtdicke im Weiteren nicht weiter betrachtet (in Anlage 3 als Schicht 1.9.1 dargestellt).

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	Tertiar	
Bezeichnung	Sand	Sand	Sand/Kies	Sand	Ton
Bodengruppe nach DIN 18196	[SU, SU*]	SE, SU	SI, GI	SE, SI, SU, ST, ST*	TL, TM, ST*-TM
Kornanteil $d \leq 0,063$ mm [%]	---	3 ... 4	---	28 ... 30	38,5 ... 88,1
Kornanteil $d > 2,0$ mm [%]	---	8 ... 22	---	0,0	---
Ungleichförmigkeitszahl U [-]	---	2,34 ... 3,66	---	---	---
natürl. Wassergehalt w_n [%]	---	---	---	---	20,2...22,1
korr. Wassergehalt w_k [%]	---	---	---	---	20,5...22,12
Fließgrenze w_L [%]	---	---	---	---	25,3...49,1
Ausrollgrenze w_P [%]	---	---	---	---	14,9...17,5
Plastizitätszahl I_P [%]	---	---	---	---	7,86...34,2
Konsistenzzahl I_c [-] bezogen auf Gesamtprobe	---	---	---	---	0,41 ... 0,84
Konsistenz handspezifiziert	---	---	---	---	breiig...halbfest
Lagerungsdichte	mitteldicht	locker...dicht	mitteldicht	dicht	---
Durchlässigkeitswert k_f [m/s]					
nach Beyer, USBR/Bialas	---	$2,2 \cdot 10^{-4} \dots 3,1 \cdot 10^{-4}$ (SE)	---	$2,2 \cdot 10^{-6} \dots 2,3 \cdot 10^{-7}$ (ST*)	---
Erfahrungswerte	$10^{-4} \dots 10^{-5}$ [SU] $10^{-7} \dots 10^{-7}$ [SU*]	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ (SE, SI, SU, ST) $10^{-5} \dots 10^{-7}$ (ST*)	$10^{-8} \dots 10^{-10}$
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark bis schwach durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig	stark bis schwach durchlässig	sehr schwach durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 *)	3 [SU] 4 [SU*]	3	3	3 (SE, SI, SU, ST) 4 (ST*)	4
Frostempfindlichkeit nach ZTV E - StB 09	F2 [SU] F3 [SU*]	F1 (SE) F2 (SU)	F1	F1 (SE, SI) F2 (SU, ST) F3 (ST*)	F3

Tabellenwerte sind Mittelwerte bzw. Einzelwerte aus Laborversuchen.

*) In Abhängigkeit vom Steinanteil auch höher.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

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

Tabelle 4: Wasserstände

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

Mit den Kernbohrungen S/B 136 und S/B 137 sind die Grundwasserstände bei 91,26...91,32m NN (3,80 m unter Gelände) eingemessen worden.

Die erkundeten aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese sind überwiegend gut wasser-durchlässig. Auf den mit höheren Anteilen an Feinkorn durchsetzten Sanden (SU*, ST*) ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Die mit den Kernbohrungen angetroffenen Tone weisen eine geringe Durchlässigkeit auf.

Generell ist von einer guten Versickerungsfähigkeit im Untersuchungsbereich der Eisenbahnunterführung 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 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 beiden Kernbohrungen S/B 136 und S/B 137 zuzüglich eines Sicherheitszuschlages vom 1,00 m bei 92,31 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: 1,80-3,80 m
 - Fein-/Mittelsand, schwach schluffig, schwach kiesig, Wurzelreste
 - mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SU]**

Auffüllung, rollig, gemischtkörnig Mächtigkeit: 1,45 (ET) m
 - Feinsand, schluffig
 - mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.3.2**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SU*]**

Schicht 5: **Hochflutsande** Mächtigkeit: 0,40m -3,50 m
 - Mittel-/Feinsand, schwach schluffig, schwach bis stark kiesig, schwach steinig
 - lockere Lagerung (**Schicht 5.1.1**)
 - mitteldichte Lagerung (**Schicht 5.1.2**)
 - dichte Lagerung (**Schicht 5.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SU**

- Schicht 10: Terrassensande / -kiese** Mächtigkeit: 2,2-2,9 m
- Fein-/Grobsand, intermittierend gestuft, feinkiesig bis stark mittelkiesig, schwach steinig
Kies, intermittierend gestuft, sandig
 - mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.2, 10.2.2**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SI, GI**

- Schicht 15: Tertiäre Sande** Mächtigkeit: 5,0- 8,4 m
- Fein-/Grobsand, eng- bis intermittierend gestuft, Schlufflinsen
 - Feinsand, schwach tonig bis tonig, Holzreste, organische Bemengungen
 - dichte Lagerung (**Schicht 15.1.3, 15.3.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SI, SU, ST, ST***

- Schicht 16: Tertiäre Tone** Mächtigkeit: 2,5-3,9 m
- Ton, leicht- und mittelplastisch, schwach schluffig bis schluffig, stark sandig, z. T. plastisches Sand-Ton-Gemisch
 - breiige Konsistenz (**Schicht 16.1.1**)
weiche/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 erdstatische Berechnungen folgende charakteristische Berechnungskennwerte zugeordnet:

Tabelle 6a: Bodenrechenwerte

Bodenart	Auffüllung, rollig		Hochflutablagerungen		
	[SU]	[SU*]	SE	SE	SU
Bodengruppe nach DIN 18196					
Schicht-Nr.	1.2.2	1.3.2	5.1.1	5.1.2	5.1.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	mitteldicht	mitteldicht	locker	mitteldicht	dicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	32,5	29,0	30,0	32,5	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	17,5	17,0	16,0	17,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	10,0	9,0	8,5	9,5	10,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	20,0	8,0	10,0	20,0	30,0

Tabelle 6b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Terrassenablagerungen		Tertiäre Sande	
Bodengruppe nach DIN 18196	SI	SI, GI	SE, SI, SU	ST, ST*
Schicht-Nr.	10.1.2	10.2.2	15.1.3	15.3.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	mitteldicht	mitteldicht	dicht	dicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	32,5	35,0	35,0	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	17,0	18,0	18,0	21,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,5	10,5	10,0	11,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	45 ab 5 m ¹ : 70	50 ab 5 m ¹ : 80	90 ab 5 m ³ : 120 ab 10 m ³ : 190	65 ab 10 m ³ : 135

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

Tabelle 6c: Bodenrechenwerte

Bodenart	Tertiäre Tone			
Bodengruppe nach DIN 18196	ST* _{m.P.} -TM	TL	TL, TM	TM
Schicht-Nr.	16.1.1	16.1.2	16.1.3	16.1.4
Konsistenz, Lagerungsdichte	breiig	weich/steif	steif	halbfest
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	17,5	17,5	20,0	22,5
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²] ¹⁾	1	2,0	5,0	8,0
undrainierte Kohäsion c_u [kN/m ²] ²⁾	0	0,0	15,0	25,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	15,0	17,0	18,0	19,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	5,0	7,0	8,0	9,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	1,5	6	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 ist aus der Bohrung S/B 137 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 17.20.4 beigefügt.

Betonaggressivität

Die untersuchte Wasserprobe ist nach DIN 4030 als **nicht betonangreifend** einzuschätzen (Anlage 4.3, Blatt 1), was der **Expositionsklasse X0** nach DIN EN 206-1 entspricht.

Stahlkorrosivität

Die Untersuchung auf Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Eisenwerkstoffe ergab folgende Ergebnisse (Anlage 4.3, Blatt 02 - 04):

Tabelle 7: 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 8: 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 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
1.2.2, 1.3.2	Auffüllung (Sand), mitteldicht	mittelschwer bis schwer
5.1.1	Hochflut: Sand, locker	leicht
5.1.2	Hochflut: Sand, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
5.1.3	Hochflut: Sand, dicht	schwer bis sehr schwer
10.1.2, 10.2.2	Terrasse: Sand/Kies, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
15.1.3, 15.3.3	Terrasse: Sand, dicht	schwer bis sehr schwer
16.1.1	Tertiär: Ton, breiig	leicht
16.1.2	Tertiär: Ton, weich/stEIF	leicht bis mittelschwer
16.1.3	Tertiär: Ton, steif	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 mitteldichter Lagerung (Schicht 1.2.2, 1.3.2) als mittelschwer bis 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

rammfähig und bei dichter Lagerung (Schicht 5.1.3) als schwer bis sehr schwer rammfähig eingeschätzt.

Terrassenablagerungen / Tertiär:

Die Sande und Kiese werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 10.2.2, 10.1.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 15.1.3, 15.3.3) als schwer bis sehr schwer rammfähig eingeschätzt.

In Abhängigkeit der Konsistenz ist der breiige Ton (Schicht 16.1.1) als leicht, der weich/steife Ton (Schicht 16.1.2) als leicht bis mittelschwer, der steife 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 steifen bis halbfesten Tonen sind Rammhilfen wie Spülen oder Vorbohren einzuplanen.

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 die bestehende Eisenbahnüberführung Ladestraße verbreitert werden. Gemäß der Planung /U 2/ ist eine Verbreiterung der EÜ bahnlinks vorgesehen. Der Neubau soll als Stahlbetonüberbau mit 2 neuen Widerlagern flach gegründet werden. Zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung lagen keine weiteren Planungen vor, so dass die entsprechenden unten angeführten Randbedingungen der Gründung angenommen wurden.

Die Gründung ist vorzugweise als Flachgründung vorgesehen. Alternativ wird die Gründung auf Bohrpfehlen betrachtet. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Gründungsvarianten Flachgründung und Pfahlgründung dargestellt.

3.2 Flachgründung

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 136, 137) ist ersichtlich, dass der Baugrund im Bereich der Bohrung S/B 137 unter mitteldicht gelagerten sandigen Auffüllungen aus locker, mitteldicht bis dicht gelagerten Sanden und Kiesen (Schichten 5, 10 und 15) und breiigen und halbfesten Tonen (Schicht 16) besteht. Die Unterkante der Auffüllungen bei der S/B 137 wurde bei 1,8 m unter GOK (Kote 95,06 m NN) festgestellt. Im Bereich der S/B 136 wurden unter dem aufgefüllten Mutterboden die anstehenden locker bis mitteldicht gelagerten enggestuften Sande der Hochflutablagerungen (Schicht 5) angetroffen, die über den mitteldicht bis dicht gelagerten Sanden (Schichten 10 und 15) sowie den weich/steifen und steifen Tonen (Schicht 16) liegen.

Als Gründungshorizont empfehlen wir die mindestens mitteldicht gelagerten Sande der Schicht 5.1.2. Aufgrund der unterschiedlichen Tiefenlagen der Schicht bei 1,2 m bzw. 1,8 m unter GOK empfehlen wir zur Reduzierung und Vergleichmäßigung der Setzungen im Bereich der Gründungssole, den Einbau eines $\geq 0,5$ m dicken Kiespolsters. Die Unterkante des Kiespolsters liegt bei ca. 1,8 m unter GOK in bzw. auf den mitteldicht gelagerten Hochflutsanden (Schicht 5.1.2). Die Aushubsole ist vor Einbau des Kiespolsters tiefenwirksam nach zu verdichten.

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:	$a = 8 \text{ m}$
Fundamentbreite:	$b = 4 \dots 6 \text{ m}$
Gründungstiefe:	$t_{\min} \approx 1,3 \text{ m}$ (auf mind. 0,5 m Kiespolster)
Baugrundprofil:	S/B 136
Grundwasser:	$t_{GW} \approx 3,8 \text{ m}$ unter GOK (Abschnitt 2.4)
Vorbelastung:	$\sigma_v \approx 22 \text{ kN/m}^2$ (Aushubentlastung am Dammfuss)
angenommene zulässige Setzung:	$s_{zul} \leq 2 \text{ cm}$

In Anlage 5 wurden bei Annahme der Sicherheiten nach DIN 1054:2005-01, Lastfall 1 und lotrecht mittiger Belastung Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen, für ein Kiespolster mit einer Stärke von 0,5 m (Blatt 01) und mit einer Stärke von 2,0 m (Blatt 02) durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: aufnehmbarer Sohldruck

	aufnehmbarer Sohldruck [kN/m ²]			Setzung [cm]		
	Anlage 5, Blatt 01	Kiespolster d = 0,50 m				
Fundamentbreite [m]	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	314	329	297	3,78	4,36	4,21
Setzung max. s = 2,0 cm	170	155	145	2,0	2,0	2,0
Anlage 5, Blatt 02	Kiespolster d = 2,00 m					
Fundamentbreite [m]	4,0	5,0	6,0	4,0	5,0	6,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	320	335	323	2,86	3,34	3,49
Setzung max. s = 2,0 cm	227	205	187	2,0	2,0	2,0

Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen $\sigma_{zul} = 314...297 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 5,75 cm bis 6,57 cm für ein 0,50 m dickes Kiespolster und zwischen $\sigma_{zul} = 320...335 \text{ kN/m}^2$ mit Setzungsbeträgen von 3,5...4,3 cm für ein 2,00 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 $\sigma_{zul} = 120...100 \text{ kN/m}^2$ für ein 0,50 m dickes Kiespolster und von $\sigma_{zul} = 180...150 \text{ kN/m}^2$ für ein 2,0 m dickes Kiespolster.

Folgerung:

Bei einer Gründung des Widerlagers auf einem Kiespolster können die aufnehmbaren Sohldrücke je nach Fundamentabmessungen in Abhängigkeit von den zulässigen Setzungen der Anlage 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.

3.3 Bohrpfahlgründung

Alternativ zur Abtragung der Lasten aus dem Brückenbauwerk, besteht auch die Möglichkeit die Widerlager der Brückenerweiterung auf Bohrpfählen zu gründen.

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Bohrpfählen werden Spitzendruck- und Mantelreibungswerte benötigt. Die Einbindung der Bohrpfähle muss nach EA-Pfähle /U 10/ bei Lockergesteinsböden mindestens 2,5 m in die tragfähigen Schichten erfolgen. Tragfähige Schichten für den Ansatz eines Spitzendruckes sind im Sinne der EA-Pfähle rollige Böden mit einem mittleren Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ oder bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undränierten Boden $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$.

Als ausreichend tragfähig sind die mindestens mitteldicht gelagerten Sande und Kiese der Schichten 10.1.2, 10.2.2, 15.1.3 und 15.3.3 und die mindestens steifen Tone der Schicht 16.1.3 und 16.1.4 anzusehen.

In der nachfolgenden Tabelle 12 werden die zur Vorbemessung erforderlichen Bohrpfahlkennwerte in Anlehnung an die EA-Pfähle angegeben.

Tabelle 12: Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung für Bohrpfähle nach /U 10/

Schicht Nr.	Bodenart	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²]	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ [MN/m ²]	Horizontale Bruttostütziffer $k_{s,k}$ [MN/m ³] ²⁾
1.2.2, 1.3.2	Auffüllung, rollig, nichtbindig, (Sand), mitteldicht	---	0,040	---
5.1.1	Hochflut: Sand, locker	---	0,03	10
5.1.2	Hochflut: Sand, mitteldicht	1,05 / 1,35 / 3,00 ¹⁾	0,08	20
5.1.3	Hochflut: Sand, dicht	1,40 / 1,80 / 3,50 ¹⁾	0,12	30
10.1.2	Terrasse: Sand, rollig, nichtbindig, mitteldicht	1,05 / 1,35 / 3,00 ¹⁾	0,08	40
10.2.2	Terrasse: Kies, mitteldicht	1,05 / 1,35 / 3,00 ¹⁾	0,08	45
15.1.3	Tertiär: Sand, rollig, nichtbindig, dicht	1,40 / 1,80 / 3,50 ¹⁾	0,12	90 ab 5 m ³⁾ : 120 ab 10 m ³⁾ : 190
15.3.3	Tertiär: Sand, rollig, gemischtkörnig, dicht	1,40 / 1,80 / 3,50 ¹⁾	0,10	65 ab 10 m ³⁾ : 135
16.1.1	Tertiär: Ton, breiig	---	0,010	1,5
16.1.2	Tertiär: Ton, weich	---	0,025	5
16.1.3	Tertiär: Ton, steif	---	0,040	ab 5 m ³⁾ : 15 ab 10 m ³⁾ : 20
16.1.4	Tertiär: Ton, halbfest	0,75 / 0,9 / 1,5 ¹⁾	0,065	ab 10 m ³⁾ : 25

¹⁾ in Abhängigkeit der bezogenen Pfahlkopfsetzung nach EA-Pfähle

²⁾ $k_{s,k}$ bezogen auf einen Pfahldurchmesser $D = 1$ m

³⁾ bezogen auf OK anstehender Boden (=bK Auffüllung)

Die angegebenen Werte gelten für Bohrpfähle ($D = 0,30 - 3,0$ m) mit einer Einbindetiefe in den tragfähigen Baugrund von mindestens 2,5 m. Die Mächtigkeit der tragfähigen Böden unterhalb der Pfahlfußfläche darf bei einem angenommenen Pfahldurchmesser $d = 1,2$ m ein Maß von 3,6 m (3 x Pfahldurchmesser), mindestens aber 1,5 m nicht unterschreiten. Darüber hinaus wird empfohlen, dass insbesondere die Pfahlfüße im Bereich $q_c \geq 10$ MN/m² abzusetzen sind.

Wenn die genannten geometrischen Werte unterschritten werden, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen zu führen. Außerdem ist dann nachzuweisen, dass der darunter liegende Boden das Setzungsverhalten nicht maßgeblich beeinträchtigt. Sofern dies nicht gewährleistet ist, empfehlen wir, sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen.

Wir empfehlen, in Abhängigkeit der statischen Nachweise, Pfähle in den dichten Sanden der Schichten 15.1.3 und 15.3.3 abzusetzen.

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle und Pfahlgruppen unter Beachtung der Hinweise und Forderungen der EA-Pfähle /U 10/.

In Anlage 5 Blatt 03 ist zur Vorbemessung ein Pfahldiagramm für einen Einzelpfahl nach DIN 1054, Lastfall 1 (50 % veränderliche Lasten) mit einem Pfahlschaftdurchmesser $D = 1,2$ m und Pfahllängen zwischen von 12,0 m und 20,0 m aufgetragen worden.

Danach ergeben sich zulässige Pfahlbelastungen für eine Pfahllänge von 12,0 m von 3,59 MN, für eine Pfahllänge von 14,0 m von 4,05 MN, für eine Pfahllänge von 16,0 m von 2,8 MN und für eine Pfahllänge von 20,0 m von 4,8 MN mit Setzungsbeträgen von < 2 cm. Signifikant ist der Tragfähigkeitsverlust bei Einbindung der Pfähle in die bindigen Bodenschichten

3.4 Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse

Querwiderstände dürfen nur für Pfähle mit einem Pfahlschaftdurchmesser $D \geq 0,30$ m bzw. einer Kantenlänge $a \geq 0,30$ m angesetzt werden. Der charakteristische Querwiderstand darf dabei durch charakteristische Werte des horizontalen Bettungsmoduls beschrieben werden. Der horizontale Bettungsmodul $k_{s,k}$ lässt sich grob abschätzen nach der Gleichung:

$$k_{s,k} = E_{s,k} / D_s \quad \text{mit } E_{s,k} \dots \text{ charakteristischer Wert des Steifemoduls} \\ D_s \dots \text{ Pfahldurchmesser}$$

Die Anwendung dieser Formel gilt für Pfahldurchmesser $D \leq 1,0$ m und einem Höchstwert der Horizontalverschiebung von $y = 2$ cm bzw. $y = 0,03 \cdot D$, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Bei einem angenommenen Pfahldurchmesser von 1,2 m ergibt sich eine maximale Horizontalverschiebung von $0,03 \cdot 1,2 \text{ m} = 3,6 \text{ cm} > 2 \text{ cm}$; daraus folgt: $y = 2$ cm ist maßgebend! Bei größeren Verformungen sind die Bettungsmoduli abzumindern. Bei der Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls ist ebenfalls eine Gruppenwirkung der Pfähle zu berücksichtigen. Bei einem Pfahlabstand, der dem zweifachen Pfahldurchmesser entspricht, ist der Bettungsmodul mit dem Faktor 0,75 abzumindern.

Die in Tabelle 12 angegebenen Bettungsziffern gelten für Pfahldurchmesser $\leq 1,00$ m und maximale Horizontalverformungen von 2,0 cm.

3.5 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Für die Herstellung von Widerlagerfundamenten bzw. Pfahlkopfbalken sind Baugruben erforderlich. Baugruben bis 1,25 m Tiefe können nach DIN 4124 senkrecht ausgehoben werden. Tiefere Baugruben müssen geböscht oder verbaut werden. Ausgehend von den Erkundungsergebnissen können nach DIN 4124 für Böschungen bis 5,0 m Höhe ohne besonderen Nachweis fol-

gende Böschungswinkel im Lockergesteinsbereich über Grundwasser entsprechend DIN 4124 in Ansatz gebracht werden:

- Schicht 1, 10, 15: $\beta \leq 45^\circ$
- Schicht 16: $\beta \leq 60^\circ$ (mindestens steife Konsistenz, ansonsten 45°)

Unbelastete Böschungen können unter einem Neigungswinkel von 45° bzw. 60° bis max. 5 m Höhe abgeböschet werden. Für belastete und / oder höhere Böschungen ist die Standsicherheit nachzuweisen. Die Hinweise der DIN 4124 sind zu beachten. 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, können die Rechenwerte zur Verbauberechnung Abschnitt 2.6, Tabelle 6 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 $E_{sh,h}$ kann aus dem vertikalen Modul E_s (siehe Tabelle 6a-c) mit dem Faktor 0,5 umgerechnet werden.

Grundwasser wurde mit den Kernbohrungen S/B 136 und S/B 137 in einer Tiefe von 3,8 m unter GOK angetroffen. Der höchste Grundwasserstand (Bemessungswasserstand) wurde in Abschnitt 2.4 mit 2,8 m unter GOK ($\sim 92,31$ 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.

Bei einer Pfahlgründung sind die Pfähle mit vorausseilender Verrohrung herzustellen. Unter dem Grundwasserspiegel ist mit Wasserüberdruck bzw. Überdruck einer Tonsuspension zu bohren. Auflockerungen infolge des Herstellungsprozesses der Pfähle, insbesondere in den Sandschichten, sind grundsätzlich zu vermeiden.

3.6 Zusatzbelastung auf Pfähle

Vertikale und horizontale Verschiebungen von Weichschichten können eine zusätzliche Belastung aus negativer Mantelreibung sowie Biegung aus Seitendruck auf Pfähle verursachen. Bei der bestehenden Gründung und den vorhandenen Bodenverhältnissen ist nach unserer Einschätzung nicht mehr mit solchen Zusatzbelastungen auf die Pfähle zu rechnen, da der Untergrund im Bereich der Gründungen bereits ausreichend konsolidiert ist.

3.7 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	1.2.2	$10^{-4} \dots 10^{-6}$ [SU]	$10^{-4} \dots 10^{-6}$ [SU]	versickerungsfähig
Auffüllung, (Sand), gemischtkörnig	1.3.2	$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU*]	$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU*]	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
Hochflutsand, rollig	5.1.1, 5.1.2, 5.1.3	$10^{-4} \dots 10^{-5}$ (SU)	$10^{-4} \dots 10^{-5}$ (SU)	versickerungsfähig
		$2,2 \cdot 10^{-4} \dots 3,1 \cdot 10^{-4}$ (SE)	$4,4 \cdot 10^{-5} \dots 6,2 \cdot 10^{-5}$ (SE)	
Terrasse: Sand/Kies, rollig	10.1.2, 10.2.2	$10^{-2} \dots 10^{-4}$ (SI, GI)	$10^{-2} \dots 10^{-4}$ (SI, GI)	versickerungsfähig
Tertiär: Sand, rollig	15.1.3	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ (SE, SI, SU, ST)	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ (SE, SI, SU, ST)	versickerungsfähig
Tertiär: Sand, gemischtkörnig	15.3.3	$2,2 \cdot 10^{-6} \dots 2,3 \cdot 10^{-7}$ (ST*)	$4,4 \cdot 10^{-7} \dots 4,6 \cdot 10^{-8}$ (ST*)	nicht versickerungsfähig
Tertiär: Ton	16.1.1, 16.1.2, 16.1.3, 16.1.4	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	$< 10^{-6}$	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 13 entnommen werden.

Fazit:

Gemäß Einschätzung nach DWA-A 138 ist eine Versickerung von Niederschlagswasser am Untersuchungsstandort überwiegend gegeben. Die unzureichend versickerungsfähigen schluffigen Sande stehen im Bereich der Brücke nur untergeordnet an. Die wasserundurchlässigen Tone spielen aufgrund der Tiefenlage für die Versickerung keine Rolle.

3.8 Einfluss auf angrenzende Bebauung

Um Gleissenkungen und Nachsetzungen der vorhandenen EÜ zu verhindern bzw. zu minimieren sowie die Standsicherheit der Dammböschungen nicht zu gefährden, 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 der Straße bzw. dem Leitungsbestand durchgeführt werden.

3.9 Ausbildung der Hinterfüllung

Mit der Erweiterung der Eisenbahnüberführung sind die Hinterfüllungen gemäß den Forderungen der Ril 836 auszubilden. Nach Ril 836 sind Bauwerkshinterfüllungen so auszubilden, dass Setzungen am Übergang zwischen Kunstbauwerk und Erdbauwerk infolge

- Konsolidierung des Untergrundes,
- Eigenverformung der Hinterfüllung und
- Verkehrsbelastung minimiert werden.

Danach sollten die Hinterfüllmaterialien gemäß Ril 836, Modul 836.0504, Bild 2 aus wasserundurchlässigen, grobkörnigen, weit- oder intermittierend gestuften Kiessanden (GW, GI, SW, SI nach DIN 18196) mit einem Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 1,0$ bestehen. Um dies zu erreichen, sollen sie im erdfeuchten Zustand in Lagen von $d \leq 0,30$ m eingebaut und verdichtet werden. Die Verdichtung ist im Zuge der Bauausführung kontinuierlich nachzuweisen. Das einzubauende Material ist auf seine Eignung hin im Vorfeld der Baumaßnahme zu prüfen. Eine schematische Darstellung für die Ausführung der Hinterfüllung bei bestehenden Strecken enthält Bild 1.

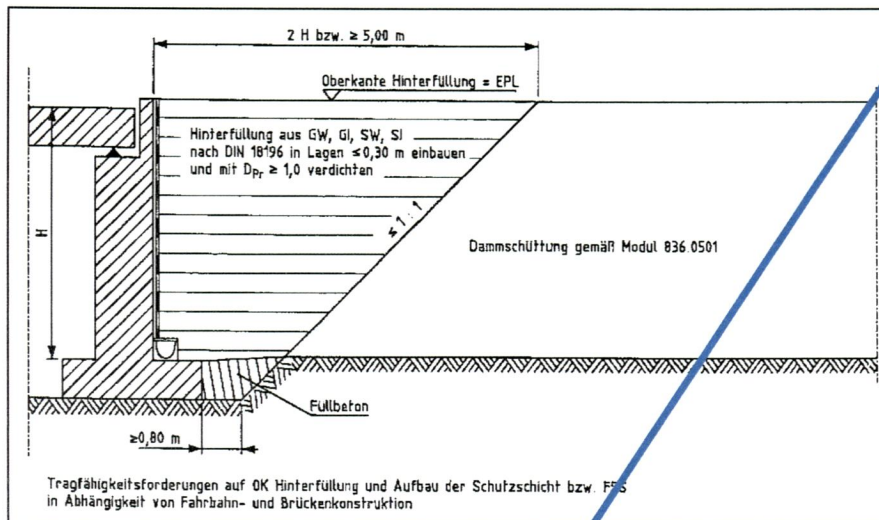


Bild 1: Ausbildung der Hinterfüllung gemäß Ril 836

Die Breite des Hinterfüllbereiches muss auf OK der Hinterfüllung mindestens 5,0 m bzw. $2 \times H$ (Auffüllhöhe) betragen. Der größere Wert ist maßgebend. Zur Entwässerung empfehlen wir eine Sickerschicht mit Entwässerungsrinne anzulegen und anfallendes Wasser aus dieser abzuleiten.

3.10 Wiederverwendbarkeit der Anshubmassen

Die bei der Erweiterung der Eisenbahnüberführung anfallenden Erdmassen stellen sandige und kiesige Auffüllungen und ggf. die anstehenden Sande dar, darüber hinaus Oberboden. Diese Böden sind gemäß Ril 836, Modul 836.0504, Bild 2 als Hinterfüllmaterial der Widerlager nicht geeignet. Sie können 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 Erweiterung der Eisenbahnüberführung über die Ladestraße 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.

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

Der Baugrund besteht ab Geländeoberkante bzw. im Dammbereich aus rolligen Auffüllungen in Form von schwach schluffigen bis schluffigen Sanden. Im Dammbereich weisen die Auffüllungen Mächtigkeiten von 1,80 m und 4,10 m auf und im Straßenbereich vor den Widerlagern bis 1,80 m. Darunter folgen mitteldicht gelagerte Hochflutsande, gefolgt von mitteldichten Terrassensanden und -kiesen, breiigen bis halbfesten Tonen und den dicht gelagerten tertiären Sanden.

Das Grundwasser wurde mit den Kernbohrungen S/B 136 und S/B 137 bei 3,8 m unter Gelände angeschnitten wurde. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1 m bei 2,8 m unter Gelände (ca. 92,31 m NN) anzunehmen.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen ist eine Flach- als auch Tiefgründung der neuen Brücke möglich.

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. M.Sc. An. Ehrhardt