



Nur zur Information

Anlage 17.3a

(geändert)

NUR ZUR INFORMATION

DB Engineering & Consulting GmbH
Umwelt, Geotechnik & Geodäsie
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 DM

Geotechnischer Bericht

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

Teilobjekt: Lärmschutzwand km ~~76,240~~ km 77,500 km 1,010 - km 2,435
rechts der Bahn

Leistungsphase: ~~Entwurfsplanung~~ Genehmigungsplanung

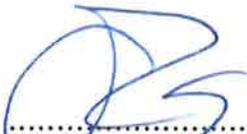
Auftraggeber: ~~DB ProjektBau GmbH~~ Netz AG
Regionalbereich Mitte
~~BV MI P (4 8 T)~~ I.NG - MI - F(1)
Hahnstraße ~~52-49~~
60326 Frankfurt (Main)

Auftragsnummer: PF 3 0368 01

Bearbeiter: Dipl.-Ing. M.Sc. Anna Erhardt

Dieser geotechnische Bericht umfasst 28 Seiten und 6 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, ~~02.02.2011~~ 05.08.2016


.....
für Dipl.-Ing. Ch. Sielisch


.....
für 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	Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	8
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	8
2.2	Geologischer Überblick	8
2.3	Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen	9
2.4	Hydrologische Verhältnisse	14
2.5	Baugrundmodell	15
2.6	Bodenrechenwerte	17
2.7	Beton- und Stahlaggressivität des Bodens und Grundwassers	18
2.8	Erdbebeneinwirkung	19
2.9	Rammfähigkeit des Untergrundes	20
3	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Bautechnische Empfehlungen	22
3.1	Allgemeines	22
3.2	Gründung auf Ramppfählen	22
3.3	Gründung auf Bohrpfählen	24
3.4	Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse	26
3.5	Anschüttung	27
3.6	Baugrubensicherung und Wasserhaltung	27
3.7	Einfluss der Baumaßnahmen auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen	27
4	Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	28



Anlagenverzeichnis

Anlage 17.3.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.3.2	Lage- und Aufschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.3.3	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	4 Blatt
Anlage 17.3.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.3.4.1	Körnungslinien	17 21 Blatt
Anlage 17.3.4.2	Zustandsgrenzen	2 Blatt
Anlage 17.3.4.3	Glühverlust	1 2 Blatt
Anlage 17.3.4.4	Beton- und Stahlaggressivität des Wassers und Bodens	13 Blatt
Anlage 17.3.5	Kampfmittelfreimessung	6 Blatt
Anlage 17.3.6	Fotodokumentation	8 Blatt



1 **Einleitung**

1.1 **Unterlagen**

Zur Ausarbeitung dieses Geotechnischen Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- ~~/U1/ 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.~~
- /U1/ Leistungsvereinbarung (LV) 3-E-20-0029 vom 16.4.2013 auf Grundlage unseres Angebotes ID35829 vom 03.01.2013.
- /U2/ Vorplanung Lagepläne LP21A, 22A, 23A, 04A und 05A, von DB ProjektBau GmbH, Stand: Juli 2004 / Okt. 2009 / Aug. 2010.
- /U3/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Umweltgeotechnik GmbH, Okt. 2010 bis Jan. 2011.
- /U4/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011.
- /U5/ Laborergebnisse der Fa. Wessling Laboratorien GmbH, Nov. 2010.
- /U6/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.
- /U7/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.
- /U8/ Datenauszug zu Grundwassermessstellen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und der HESSENWASSER GMBH & CO. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN, Stand: Sept. 2010.
- /U9/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 01.10.2008.
- /U10/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2007.
- /U11/ EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2006.
- /U12/ TM 2008-149 I.NVT 4 (K), 11.07.2008.
- /U13/ ZTV E-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.
- /U14/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Wendt Bohrgesellschaft, Juli bis Oktober 2013.

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.

Im Rahmen der Entwurfsplanung ist im Bereich der Stadt Frankfurt am Main, Gemarkung Niederrad die Errichtung der Lärmschutzwand zwischen km ~~76,240~~ 1,010 und km ~~77,500~~ 2,435 der neuen Strecke ~~4010~~ 3657, rechts der Bahn vorgesehen. Für die Planung dieses Bauvorhabens sind Baugrunduntersuchungen erforderlich.

Die DB International GmbH, Baugrund wurde von der DB ProjektBau GmbH, Regionalbereich Mitte auf der Grundlage der Bestellung /U1/ beauftragt, den Baugrund im Bereich der geplanten Lärmschutzschutzwand zu erkunden und einen Geotechnischen Bericht mit Angabe von Gründungsempfehlungen zu erstellen.

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

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse für die Lärmschutzwand 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 17.3.5 beigelegt.

Die Aufschlussarbeiten im Bereich der Lärmschutzwand km ~~76,240~~ 1,010 und km ~~77,500~~ 2,435 wurden durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH vom 02.10.2010 bis 06.01.2011 ausgeführt. Zur Erkundung des vorhandenen Baugrundes und Entnahme von gestörten Bodenproben wurden 19 Kleinbohrungen und 2 Bohrungen sowie 11 schwere Rammsondierungen (DPH) und 8 leichte Rammsondierungen (DPL-5) mit Zielteufen von 8 bis 20 m im Bereich der zu bauenden Lärmschutzwand niedergebracht.

Der überwiegende Teil der Kleinbohrungen (S/RKS/DPH 116, S/RKS 114, S/RKS 112a, S/RKS/DPL-5 109, S/RKS 108, S/RKS 105, S/RKS 106, S/RKS 103, S/RKS/DPL-5 102, DPL-5 102a, S/RKS 101, S/RKS/DPL-5 98, S/RKS/DPL-5 95, S/RKS 93, S/RKS 88, S/RKS/DPH 89,

S/RKS 83, S/RKS/DPH 84, S/RKSDPL-5 79) musste aufgrund zu hoher Eindringwiderstände vorzeitig abgebrochen werden, siehe Tabelle 1.

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

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

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

Tabelle 1: Lage der Aufschlusspunkte

km *)	Aufschluss	Lage *)	Ansatzhöhe [m NHN]	Endtiefe [m NHN]	Aufschlusstiefe [m]
6,818	S/RKS 79	3,0 m r.d.GA	105,55	102,25	3,30
6,818	DPL-5 79	3,0 m r.d.GA	105,55	102,25	3,30
6,879	S/RKS 84	16,0 m r.d.GA	101,03	97,83	3,20
6,858	DPH 84	15,0 m r.d.GA	101,03	97,63	3,40
6,860	S/RKS 83	3,0 m r.d.GA	105,28	102,28	3,00
6,938	S/RKS 89	14,0 m r.d.GA	99,07	93,77	5,30
6,938	DPH 89	14,0 m r.d.GA	99,07	94,57	4,50
6,945	S/RKS 88	in GA	105,23	102,23	3,00
7,061	S/RKS 93	in GA	104,42	101,42	3,00
7,053	S/RKS 94	12,0 m r.d.GA	99,66	90,66	9,00
7,053	DPH 94	12,0 m r.d.GA	99,66	88,96	10,70
7,141	S/RKS 95	3,0 m r.d.GA	103,15	97,05	6,10
7,141	DPL-5 95	3,0 m r.d.GA	103,15	97,85	5,30
7,155	S/B 96	13,0 m r.d.GA	97,26	73,26	24,00
7,155	DPH 96	13,0 m r.d.GA	97,26	83,76	13,50
7,198	S/RKS 98	2,5 m r.d.GA	102,51	96,56	5,95
7,198	DPL-5 98	2,5 m r.d.GA	102,51	96,41	6,10
7,290	S/RKS 101	7,0 m r.d.GA	102,53	100,83	1,70
7,291	S/RKS 102	8,5 m r.d.GA	98,35	94,15	4,20
7,291	DPL-5 102	8,5 m r.d.GA	98,35	95,75	2,60
7,291	DPL-5 102.1	8,5 m r.d.GA	98,35	95,55	2,80
7,346	S/RKS 104	7,0 m r.d.GA	99,01	91,01	8,00
7,346	DPL-5 104	7,0 m r.d.GA	99,01	90,11	8,90
7,361	S/RKS 103	2,0 m r.d.GA	102,05	99,95	2,10
7,457	S/RKS 106	12,0 m r.d.GA	92,66	88,46	4,20
7,457	DPH 106	12,0 m r.d.GA	92,66	83,66	9,00
7,463	S/RKS 105	in GA	101,96	99,71	2,25
7,54	S/RKS 108	15,0 m r.d.GA	98,01	93,41	4,60
7,54	DPH 108	10,0 m r.d.GA	98,01	89,01	9,00
7,635	S/RKS 109	2,6 m r.d.GA	101,32	99,72	1,60
7,635	DPL-5 109	2,6 m r.d.GA	101,32	99,02	2,30
7,635	DPL-5 109a	2,6 m r.d.GA	101,32	99,22	2,10

km *)	Aufschluss	Lage *)	Ansatzhöhe [m NN]	Endtiefe [m NHN]	Aufschlusstiefe [m]
7,645	S/B 111	11,5 m r.d.GA	96,41	76,41	20,00
7,645	DPH 111	11,5 m r.d.GA	96,41	83,91	12,50
7,645	S/RKS 112a	4,0 m r.d.GA	101,60	95,10	6,50
7,645	DPL-5 112	2,6 m r.d.GA	101,60	93,80	7,80
7,737	S/RKS 114	in GA	101,57	95,17	6,40
7,737	DPH 114	in GA	101,57	93,57	8,00
7,645	S/RKS 116	8,00 m r.d.GA	102,13	95,33	6,80
7,645	DPH 116	8,00 m r.d.GA	102,13	94,73	7,40
7,958	S/RKS 118	8,00 m r.d.GA	102,27	94,27	8,00
7,958	DPL 118	8,00 m r.d.GA	102,27	94,27	8,00
7,988	S/RKS 119	9,00 m r.d.GA	102,21	94,21	8,00
8,988	DPL 119	9,00 m r.d.GA	103,21	95,21	8,00
	RKS 31-2	gemäß Lageplan	98,18	94,28	3,90
	DPH 31-2	gemäß Lageplan	98,18	92,18	6,00
	RKS 34-2	gemäß Lageplan	104,21	96,21	8,00
	DPH 34-2	gemäß Lageplan	104,13	96,13	8,00
	RKS 35-2	gemäß Lageplan	98,02	94,12	3,90
	DPH 35-2	gemäß Lageplan	98,11	92,11	6,00
	RKS 38-2	gemäß Lageplan	103,20	96,50	6,70
	DPH 38-2	gemäß Lageplan	103,27	95,27	8,00
	RKS 41-2	gemäß Lageplan	103,27	97,57	5,70
	DPH 41-2	gemäß Lageplan	103,26	95,26	8,00
	RKS 47-2	gemäß Lageplan	102,31	94,91	7,40
	DPH 47-2	gemäß Lageplan	102,30	94,30	8,00
	RKS 49-2	gemäß Lageplan	96,69	93,39	3,30
	DPH 49-2	gemäß Lageplan	96,81	88,81	8,00
	RKS 50-2	gemäß Lageplan	101,78	95,19	6,60
	DPH 50-2	gemäß Lageplan	101,74	96,54	5,20
	RKS 52-2	gemäß Lageplan	98,31	95,11	3,20
	DPH 52-2	gemäß Lageplan	98,33	94,53	3,80

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

*) bezogen auf Streckengleis 3624

Alle Ansatzpunkte wurden nach Lage und Höhe auf m NHN 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 /U3/ können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Baugrund eingesehen werden. Die Lage der Aufschlüsse ist aus Anlage 17.3.2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NHN in der Anlage 17.3.3 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 96 ist eine Grundwasserprobe und aus der Kleinbohrung S/RKS 94 eine Bodenprobe entnommen und bezüglich Beton- und Stahlaggressivität untersucht worden. Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- ~~12~~ 16 x Nass-/ Trockensiebung nach DIN 18123,
- ~~3~~ 5 x kombinierte Sieb-/Schlammanalyse nach DIN 18123,
- 2 x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122,
- ~~1~~ 2 x Bestimmung des Glühverlustes nach DIN 18128 und
- 2 x Bestimmung der Beton-/Stahlaggressivität (Wasser/Boden) nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 17.3.4 entnommen werden.

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

2 Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Der Untersuchungsbereich der Lärmschutzwand liegt bahnrechts der neuen DB AG-Strecke ~~4010~~ 3657 zwischen Frankfurt(M)-Niederrad und Frankfurt(M)-Hbf., von km ~~76,240~~ 1,010 bis km ~~77,500~~ 2,435. Die Bestandsgleise der Bahnstrecken liegen hier auf einem 6-7 m hohen Damm. Hier befindet sich auch der Bahnhof Frankfurt(Main)-Niederrad mit der EÜ über die Adolf-Miersch-Straße und im weiteren Streckenverlauf die EÜ Goldsteinstraße und der Alte Bahnhof. Bahnrechts des Bestandsdammes liegen Kleingartenanlagen.

2.2 Geologischer Überblick

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 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 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen

Gleisschotter

Zunächst wurde, mit den im Gleisbereich ausgeführten Schürfen der Gleisschotter erkundet. Dieser weist eine Gesamtschotterstärke zwischen 0,15 - 0,95 m auf. Aufgrund des hohen



Verschmutzungsgrades ist eine Unterscheidung zwischen Oberschotter und Mischzone nur in geringer Quantität möglich.

Überwiegend wurde der gesamte Schotter vom Bohrmeister als verschmutzt bis stark verschmutzt eingeschätzt, mit einem Feinanteil zwischen 20 % bis 35%. Nur am Ansatz der S/RKS 93, 101 und 105 ist der Schotter leicht verschmutzt (0,45 m bzw. 0,55 m), in der darunter liegenden Mischzone (0,25 m - 0,47 m) wiederum stark verschmutzt (30 % - 35%). Der mittlere Feinkornanteil liegt bei 25 % - 30 %. Der Schotter ist mit Schlacke und Wurzelresten sowie sandigem, kiesigem Abrieb durchsetzt.

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

Tabelle 2: Erkundete Schotterverhältnisse

Aufschluss-Nr.	Lage zu GA	Gesamt-schotterhöhe [m]	Höhe Mischzone [m]	Feinanteil geschätzt [%]	mechanisch reinigungsfähig
79	3,0 m r.d.GA	0,60	---	30	nein
83	3,0 m r.d.GA	0,50	---	30	nein
88	in GA	0,55	0,36	35	nein
93	in GA	0,70	0,45	35	nein
95	3,0 m r.d.GA	0,15	---	20	ja
98	2,5 m r.d.GA	0,20	---	25	ja
101	1,5 m r.d.GA	0,70	0,47	25	ja
103	2,0 m r.d.GA	0,95	---	25	ja
105	in GA	0,55	0,20	35	nein
112a	4,0 m r.d.GA	0,45	---	35	nein
114	in GA	0,35	---	35	nein

Auffüllungen

Mit den von Oktober 2010 bis Januar 2011 ausgeführten Bohrung und Kleinbohrungen sind im Untersuchungsbereich des Bauwerkes beginnend ab Geländeoberkante bzw. unter dem Gleisschotter rollige und bindige Auffüllungen erkundet worden. Die rolligen Auffüllungen wurden in Form von **Grob- und Feinsanden** und **sandigen Kiesen** mit unterschiedlichen Feinanteilen erbohrt. In die aufgefüllten Sande und Kiese sind vereinzelt humose Bestandteile sowie Bauschutt und Ziegelreste eingelagert. Diesen Schichten sind nach DIN 18196 die Bodengruppen [SE, SI, SW, SU, SU-OH, ST, SU*, ST*, GI, GU] zuzuordnen. An der Oberfläche der Aufschlüsse S/RKS 84, S/RKS 89 und S/RKS 94 ist aufgefüllter Mutterboden der Bodengruppen [OH] erkundet worden. Die Mächtigkeit des Mutterbodens liegt zwischen 0,1 m (S/RKS 84) und 0,55 m (S/RKS 94).

Die Mächtigkeit der rolligen Auffüllung liegt zwischen 0,40 m (S/RKS 102) und 6,80 m (S/RKS 119). Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllung ist im Wesentlichen locker bis mitteldicht.

Lokal begrenzt, in den S/RKS 79, S/RKS 83, S/RKS 88, S/RKS 101 und S/RKS 108, ist eine bindige Auffüllung, in Form eines sandigen, schluffigen leicht plastischen **Tones** und eines tonigen, stark sandigen, schwach kiesigen, leichtplastischen **Schluffes** der Bodengruppen [TL, UL] angetroffen worden. Die Konsistenz dieser 0,4 m (S/RKS 108) bis 1,0 m (S/RKS 101) dicken Schichten war zum Zeitpunkt der Untersuchung weich bis steif und steif/halbfest.

Die im Damm liegenden Kleinbohrungen (S/RKS 83, S/RKS 88, S/RKS 93, S/RKS 98, S/RKS 101, S/RKS 102, S/RKS 103, S/RKS 105, S/RKS 109, S/RKS 112a und S/RKS 114) enden in den Auffüllungen bei 2,03 m und 8,70 m unter SO.

Bei den Aufschlüssen S/B 96 und S/RKS 116 musste an der Oberfläche eine 0,05 m und 0,2 m dicke Pflasterschicht und bei S/RKS 102 und S/RKS 106 eine 0,04 m dicke Betonplatte aufgebrochen werden.

Der punktuell vorhandene Mutterboden wird im Weiteren aufgrund der geringen Schichtdicke (0,10-0,55 m) und des geringen Einflusses auf die Baumaßnahme vernachlässigt.

Anstehender Boden

Unter den Auffüllungen steht der gewachsene Boden an. Dieser besteht aus im Quartär abgelagerten Sanden /Kiesen sowie Sanden und Tonen aus dem Tertiär.

Die **quartären Sande und Kiese** wurden fast mit allen Aufschlüssen angetroffen. Diese stellen sich korngößenmäßig als kiesige Mittelsande und sandige Kiese mit unterschiedlichen Feinanteilen dar. Die Sande und Kiese sind nach DIN 18196 in die Bodengruppen SE, SI, SW, SU, SU*, ST* und GE, GI, GW einzuordnen. Die Mächtigkeit lag zwischen 0,40 m (Endtiefe) bei S/RKS 116 und 9,60 m bei S/B 96. Die Lagerungsdichte ist locker bis dicht.

Die **tertiären Sande** sind mit den Aufschlüssen S/B 96 und S/B 111 erkundet worden. Die Mächtigkeit dieser Sandschichten liegt zwischen 4,8 m (Endtiefe) bei S/B 96 und 12 m bei S/B 111. Die tertiären Sande wurden als Mittel- und Feinsande mit grobsandigen und zum Teil auch schluffigen Anteilen (SE, SU*) aufgeschlossen. Die Lagerungsdichte der Sande war bei S/B 96 und bei S/B 111 dicht.

Die **tertiären leichtplastischen und mittelplastischen Tone** sind mit S/B 96 und S/B 111 aufgeschlossen worden. Hierbei handelt es sich um leichtplastische, schluffige, sandige Tone (TL) und mittelplastische Tone (TM) mit weicher Konsistenz. Die Mächtigkeit liegt zwischen 0,30 m (S/B 96) und 2,80 m (S/B 96).

Die detaillierten Schichtenverläufe sind der Anlage 3, Blatt 01 bis 03 zu entnehmen. Die Laborversuche ausgewählter Bodenproben sind in Anlage 4 abgelegt.

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

Tabelle 3: Bodenkennwerte und Zuordnungen

	Auffüllung		Anstehendes		
			Quartär	Tertiär	
	Sande, Kiese, Schotter, Mutterb.	Tone/Schluffe	Sande/Kiese	Tone	Sande
Schicht-Nr.	1.1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1, 1.4.1, 1.4.2	1.6.2, 1.6.3	10.1.1 - 10.1.4, 10.2.1, 10.2.2	16.1.2, 16.1.3	15.1.3, 15.3.3
Bodengruppe nach DIN 18196	[SE, SI, SW, SU, ST, SU*, ST*, GI, GU, SU-OH, OH] A	[TL, UL]	SE, SI, SW, SU, SU*, ST*, GE, GI, GW	TL, TM	SE, SU*
Kornanteil $d \leq 0,063$ mm [%]	4 ... 68,14	> 40	2 ... 25	47,5	32
Kornanteil $d > 2,0$ mm [%]	3 ... 18	---	3 ... 42	2	---
Ungleichförmigkeitszahl U [-]	2,34 ... 47,22	---	2,7 ... 8,91	---	42,57
nat. Wassergehalt w_n [%]	---	15,20	---	15,20 ... 18,70	---
Fließgrenze w_L [%]	---	26,10	---	26,10 ... 32,98	---
Plastizitätsgrenze w_P [%]	---	18,30	---	11,98 ... 18,30	---
Plastizitätszahl I_P [%]	---	7,79	---	7,79 ... 21,01	---
Konsistenzzahl I_C [-]	---	---	---	0,68 ... 1,40	---
Konsistenz handspezifiziert	---	weich ... steif	---	weich... steif/halbfest	---
Lagerungsdichte	locker ... mitteldicht	---	locker ... dicht	---	locker ... dicht
Durchlässigkeitswert k_f [m/s]					
nach Beyer, USBR/Bialas	$7,7 \cdot 10^{-7}$... $8,5 \cdot 10^{-5}$	---	$2,8 \cdot 10^{-7}$... $7,8 \cdot 10^{-4}$	---	$5,8 \cdot 10^{-7}$
Erfahrungswerte	$10^{-3} - 10^{-8}$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$10^{-3} \dots 10^{-7}$
Durchlässigkeit nach DIN 18130	stark bis schwach durchlässig	schwach bis s. schwach durchlässig	stark bis schwach durchlässig	schwach bis s. schwach durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300	3 ¹⁾ [GI-SU], 4 ¹⁾ [GU*-ST*] bis 5	4	3 (SE, SI, SW, SU, GI, GW), 4 (SU*)	4	3 (SE) 4 (SU*)
Frostempfindlichkeit nach ZTVE StB 09	F1 [GI-SE], F1-F2 [SU], F2 [GU], F3[SU*]	F3	F1 (SE, SI, SW, GI, GW), F1-F2 (SU), F3 (SU*, ST*)	F3	F1 (SE) F3 (SU*)

Die Tabellenwerte sind Einzelergebnisse, keine Mittelwerte.

¹⁾ Je nach Anteil an Steinen sind auch höhere Bodenklassen möglich

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten für die Lärmschutzwand von km 76,240 und km 77,500 rechts der Bahn wurden in der Zeit von Oktober 2010 bis Januar 2011 durchgeführt.

Mit den ausgeführten Erkundungen sind die in Tabelle 4 aufgezeigten Grundwasserstände eingemessen worden.

Tabelle 4: Grundwasserstände

Aufschluss	Wasseranschnitt [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m u. GOK]	Wasseranschnitt [m NN]	Datum
S/RKS 94	3,00	---	96,66	06.01.2011
S/B 96	4,10	4,10	93,16	02.10.2010
S/RKS 104	3,50	---	95,51	05.01.2011
S/B 111	4,80	4,70	91,71	27.10.2010

Mit den Bohrungen und Kleinbohrungen ist der Grundwasserstand zwischen 3,00-4,80 m unter Gelände eingemessen worden.

Die erkundeten aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese sind überwiegend gut wasserdurchlässig, die aufgefüllten und anstehenden Schluffe und Tone weisen nur eine geringe Durchlässigkeit auf. Auf den mit höheren Anteilen an Feinkorn durchsetzten Sanden (SU*, ST*) und den Schluffen/Tonen (UL, TL) ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Generell ist von einer guten Versickerungsfähigkeit im Untersuchungsbereich der Lärmschutzwand auszugehen.

Im Rahmen einer Recherche zu Grundwassermessstellen zum Projekt Umbau Knoten Frankfurt wurden beim Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und bei der HESSENWASSER GMBH & Co. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN die Wasserstände zu Grundwassermessstellen entlang der Bahntrasse abgefragt (/U7/ und /U8/). 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 /U7/ 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 der Kernbohrung S/RKS 94 zuzüglich eines Sicherheitszuschlages vom 1 m bei 2,0 m unter GOK (ca. 97,6 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. Dabei wurden Böden mit annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften in Schichten zusammengefasst.

- Schicht 1: Auffüllung, rollig, nicht bis schwach bindig** Mächtigkeit: 0,40 - 9,60 m
- Fein-/Grobsand, intermittierend, eng- und weitgestuft, schwach schluffig, schwach tonig, schwach bis stark kiesig, steinig, Schlacke, Kunststoffreste, Sandsteinstücke, Ziegel- und Wurzelreste, humos
 - Feinkies, intermittierend gestuft, sandig
 - lockere Lagerung (**Schicht 1.2.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2, 1.4.2**)
dichte Lagerung (**Schicht 1.2.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ [SE, SI, SW, SU, SU-OH, ST, GI, GU]

- Auffüllung, rollig, gemischtkörnig** Mächtigkeit: 0,41 - 2,30 m
- Mittelsand, kiesig, schluffig, tonig
 - lockere Lagerung (**Schicht 1.3.1**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ [SU*, ST*]

- Schicht 1.6: Auffüllung, bindig** Mächtigkeit: 0,4 - 1,0 m
- Ton/Schluff, leichtplastisch, schwach bis stark sandig, schwach kiesig bis kiesig, schwach humos
 - weiche Konsistenz (**Schicht 1.6.2**)
steife und steif/half feste Konsistenz (**Schicht 1.6.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ [TL, UL]

- Schicht 10: Terrassensande / -kiese** Mächtigkeit: 0,4 - 9,6 m
- Fein-/Mittelsand, enggestuft bis intermittierend gestuft, schwach schluffig bis schluffig, schwach tonig bis tonig, kiesig bis stark kiesig, schwach steinig, Sandsteinstücke
 - Kies, intermittierend, eng- und weitgestuft, sandig bis stark sandig
 - lockere Lagerung (**Schicht 10.1.1, 10.1.4, 10.2.1**)
 - mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.2, 10.2.2**)
 - dichte Lagerung (**Schicht 10.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SI, SW, SU, GI, GE, GW, SU*, ST***

- Schicht 15: Tertiäre Sande** Mächtigkeit: 4,8 - 12 m
- Feinsand, enggestuft, schluffig, schwach tonig
 - dichte Lagerung (**Schicht 15.1.3, 15.3.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SU***

- Schicht 16: Tertiäre Tone** Mächtigkeit: 0,3-2,8 m
- Ton, leicht- und mittelplastisch, schwach schluffig bis schluffig, sandig
 - weiche Konsistenz (**Schicht 16.1.2**)
 - steife und steif/halbfeste Konsistenz (**Schicht 16.1.3**)
 - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **TL, 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					Auffüllung, bindig	
	[SE, SU]	[SE, SU, SU-OH]	[SU*, ST*]	[GU]	[SI, GI]	[TL]	[TL, UL]
Bodengruppe nach DIN 18196							
Schicht-Nr.	1.2.1	1.2.2	1.3.1	1.4.1	1.4.2	1.6.2	1.6.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	locker	locker	mitteldicht	weich	steif steif/halbfest
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	29,0	30,0	32,5	20,0	22,5
wirksame Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	3,0	5,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,5	17,5	17,0	16,5	17,5	18,5	19,5
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	10,0	9,0	9,0	10,0	8,5	9,5
Steifemodul, stat. $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	20,0	8,0	12,0	30,0	5,0	8,0
Steifemodul, dyn. $E_{s,dyn,k}$ [MN/m ²]	75,0	120,0	70,0	80,0	150,0	55,0	70,0

Tabelle 6b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Terrassenablagerungen					
	SE, SI, SU, GE			SU*, ST*	GI, SI	SW, GE, GW, GI
Bodengruppe nach DIN 18196						
Schicht-Nr.	10.1.1	10.1.2	10.1.3	10.1.4	10.2.1	10.2.2
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	dicht	locker	locker	mitteldicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	35,0	27,5	32,5	35,0
wirk. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,0	17,0	18,0	17,0	16,5	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	8,5	9,5	10,5	9,0	9,0	10,5
Steifemodul, stat. $E_{s,k}$ [MN/m ²]	25 ab 5 m ¹⁾ : 40	45 ab 5 m ¹⁾ : 70	75 ab 5 m ¹⁾ : 120	15 ab 5 m ¹⁾ : 30	30 ab 5 m ¹⁾ : 45	50 ab 5 m ¹⁾ : 80
Steifemodul, dyn. $E_{s,dyn,k}$ [MN/m ²]	125 ab 5 m ¹⁾ : 180	185 ab 5 m ¹⁾ : 235	245 ab 5 m ¹⁾ : 325	95 ab 5 m ¹⁾ : 150	150 ab 5 m ¹⁾ : 185	190 ab 5 m ¹⁾ : 250

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

Tabelle 6c: Bodenrechenwerte

Bodenart	Tertiäre Sande		Tertiäre Tone	
	SE	SU*	TL, TM	
Bodengruppe nach DIN 18196				
Schicht-Nr.	15.1.3	15.3.3	16.1.2	16.1.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	dicht	dicht	weich	steif, steif/halbfest
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	35,0	35,0	17,5	20,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²] ¹⁾	0,0	0,0	2,0	5,0
wirks. Kohäsion c_u [kN/m ²] ²⁾	0,0	0,0	0,0	15,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	18,0	21,0	17,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	10,0	11,0	7,0	8,0
Steifemodul, stat. $E_{s,k}$ [MN/m ²]	90 ab 5 m ³⁾ : 120 ab 10 m ³⁾ : 190	65 ab 5 m ³⁾ : 90 ab 10 m ³⁾ : 135	6	10
Steifemodul, dyn. $E_{s,dyn,k}$ [MN/m ²]	270 ab 5 m ³⁾ : 325 ab 10 m ³⁾ : 450	225 ab 5 m ³⁾ : 270 ab 10 m ³⁾ : 370	60	75

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 Bodens und Grundwassers

Zur Bestimmung der Beton- und der Stahlaggressivität des Bodens und des Grundwassers sind aus der Bohrung S/B 96 eine Grundwasserprobe und aus der Kleinbohrung S/RKS 94 Bodenproben entnommen und auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe untersucht worden. Die Analyseergebnisse sind in Anlage 17.3.4 abgelegt.

Betonaggressivität

Die untersuchte Wasserprobe aus der Bohrung S/B 96 und die untersuchte Bodenprobe aus der Kleinbohrung S/RKS 94 sind nach DIN 4030 als **nicht betonangreifend** einzuschätzen, was der **Expositionsklasse X0** nach DIN EN 206-1 entspricht.

Stahlkorrosivität

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

Tabelle 7: Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Werkstoffe

S/B 96 – Grundwasser		
Freie Korrosion	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
im Unterwasserbereich	sehr gering	sehr gering
an der Wasser/Luft-Grenze	sehr gering	sehr gering
S/RKS 94 – Boden		
Freie Korrosion (nur in Bezug auf Bodenprobe)	I a – praktisch nicht aggressiv	
Freie Korrosion (mit Bezug auf umgebende Böden)	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
	sehr gering	sehr gering

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

Tabelle 8: Mittlere Korrosionsgeschwindigkeit

S/B 96 – Grundwasser		
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
S/RKS 94 – Boden		
freie Korrosion	Abtragungsrate $w(100a)$ [mm/a]	Eindringtiefe $w_{Lmax}(30a)$ [mm/a]
nur Bezug auf Bodenprobe	0,005	0,03
mit Bezug auf umgebende Böden	0,005	0,03

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
1.1.1	Auffüllung, künstlich, locker	leicht bis mittelschwer
1.2.1, 1.4.1, 1.3.1	Auffüllung, (Sand/Kies), locker	leicht bis mittelschwer
1.9.1	Auffüllung, Mutterboden	leicht
1.2.2, 1.4.2	Auffüllung, (Sand/Kies), mitteldicht	mittelschwer
1.6.2	Auffüllung, (Ton), weich	leicht bis mittelschwer
1.6.3	Auffüllung, (Ton/Schluff), steif	mittelschwer bis schwer
10.1.1, 10.2.1, 10.1.4	Terrasse: Sande/Kiese, locker	leicht bis mittelschwer
10.1.2, 10.2.2	Terrasse: Sande/Kiese, mitteldicht	mittelschwer
10.1.3	Terrasse: Sand/Kies, dicht	mittelschwer bis schwer
15.1.3, 15.3.3	Tertiär: Sand, dicht	mittelschwer bis schwer
16.1.2	Tertiär: Ton, weich	leicht bis mittelschwer
16.1.3	Tertiär: Ton, steif, steif/halbfest	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 1.1.1, 1.2.1, 1.4.1, 1.9.1) als leicht bis mittelschwer und bei mitteldichter Lagerung (1.2.2, 1.4.2) als mittelschwer rammfähig eingeschätzt.

Die Konsistenz der bindigen Auffüllung war weich und steif. In Abhängigkeit von der Konsistenz ist die bindige Auffüllung (Schicht 1.6.2) als leicht bis mittelschwer und mittelschwer bis schwer (1.6.3) rammfähig zu bewerten.

Terrassenablagerungen: Sande/Kiese

Die anstehenden Sande/Kiese aus dem Quartär werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei lockerer Lagerung (Schicht 10.1.1, 10.2.1, 10.1.4) als leicht bis mittelschwer, bei mitteldichter Lagerung (10.1.2, 10.2.2) als mittelschwer und bei dichter Lagerung (10.1.3) als mittelschwer bis schwer rammfähig eingeschätzt.

Tertiär: Sande

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

Tertiär: Tone

In Abhängigkeit von der Konsistenz sind die weichen Tone (Schicht 16.1.2) als leicht bis mittelschwer und der steife und steif/halfeste Ton (Schicht 16.1.3) als mittelschwer bis schwer rammfähig zu bewerten.

Hinweis: Die im Dammbereich ausgeführten Erkundungen mussten vielfach vor Erreichen der geplanten Endtiefe infolge eines unzureichenden Bohrfortschritts und trotz Umsetzens auf einen anderen Ansatzpunkt abgebrochen werden. Es ist davon auszugehen, dass der Bestandsdamm hier möglicherweise im Kern aus einer Steinschüttung besteht. Vor der Bauausführung sollten mittels Baggerschürfen diese Bereiche hinsichtlich möglicher Steinschüttungen überprüft werden.

Insgesamt ist der Baugrund unter den Auffüllungen vorwiegend als mittelschwer bis sehr schwer rammfähig einzuschätzen. Insbesondere in den dicht gelagerten Sanden sind Rammhilfen wie Spülen oder Vorbohren einzuplanen.

Wir empfehlen, zur Auswahl der Rammtechnologie und Rammgeräte eine Fachfirma einzuschalten und *hinsichtlich einer möglichen Steinschüttung unbedingt 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 / Bautechnische Empfehlungen

3.1 Allgemeines

Die geplante Lärmschutzwand von km 76,240 bis km 77,500 rechts der Bahn ist 1260 m lang. Im Regelfall erfolgt die Gründung von Schallschutzwänden auf Pfählen. Hierzu kommen Bohr- oder Rammfähle zur Anwendung. Flachgründungen werden aufgrund der überwiegend wirkenden Querkräfte und Momente z.B. aus den Windlasten als Sonderlösung ausgeführt. Aus den Erfahrungen anderer Objekte gehen wir davon aus, dass die Lärmschutzwände im Abschnitt Frankfurt(Main)-Niederrad - Frankfurt(Main)-Sportfeld vorzugsweise auf Rammfählen aus Stahlrohren mit Längen zwischen 4,0 m und 5,0 m und einem Durchmesser von 0,5 m gegründet werden. Als Sondergründung (z.B. bei Brücken, nicht rammfähigem Untergrund) können auch Bohrpfahlgründungen zur Anwendung kommen.

Nachfolgend wird auf die Gründung mit Ramm- und Bohrpfählen eingegangen.

3.2 Gründung auf Rammfählen

Die Hinweise zur Rammfähigkeit der einzelnen Schichten können dem Abschnitt 2.9 entnommen werden (siehe auch Hinweise zu möglicher Steinschüttung!). Das Einbringen der Rammfähle sollte erschütterungsarm erfolgen, um Schäden an der Gleisanlage sowie an bereichsweise vorhandenen Nachbarbebauungen zu vermeiden. Durch die Rammarbeiten ist mit Verdichtungssetzungen in der locker gelagerten Auffüllung zu rechnen. Beim Rütteln oder Einvibrieren der Rammfähle sind zusätzlich Geräte zur Hindernisbergung bzw. Beseitigung vorzuhalten.

Um die auftretende Vibrationseinwirkung in den Baugrund sowie die Lärmbelästigung zu reduzieren, wäre die Möglichkeit des Vorbohrens gegeben. Diese Bohrung sollte dann möglichst mindestens 1,0 m über dem Pfahlfuß enden, um eine ausreichende Tragfähigkeit des Pfahlfußes zu ermöglichen. Bei der Anwendung des Vorbohrens bzw. bei Einsatz von Spülhilfen sind zur Bemessung die in Tabelle 12 angegebenen Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.

Die Einbindung der Rammträger muss nach EA-Pfähle /U10/ mindestens 2,5 m in tragfähige Schichten erfolgen. Gemäß /U10/ gelten rollige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ und bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undränierten Boden $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$ als ausreichend tragfähig und somit relevant für den Ansatz eines Pfahlspitzenwiderstandes.

Das heißt, die Träger müssen mindestens 2,5 m in rollige Böden mit mindestens mitteldichter Lagerung (Schicht 10.1.2, 10.2.2, 10.1.3, 15.1.3, 15.3.3) oder bindige Böden mit mindestens steifer Konsistenz (Schicht 16.1.3) einbinden.

In der nachfolgenden Tabelle 11 werden die zur Vorbemessung erforderlichen Pfahlkennwerte für offene Stahlrohrpfähle in Anlehnung an die EA-Pfähle /U10/ angegeben. Die Anpassungsfaktoren für Spitzenwiderstand $\eta_b = 0,65$ und Mantelreibung $\eta_s = 0,80$ bei offenen Stahlrohren sind dabei berücksichtigt.

Tabelle 11: Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung für Stahlrohrpfähle nach /U10/

Schicht Nr.	Bodenart	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²]	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ [MN/m ²]
1.1.1, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1	Auffüllung: Schotter, Sande, Kiese, locker	---	0,01 (0,005) ²⁾
1.2.2, 1.4.2	Auffüllung, Sande/Kiese, mitteldicht	---	0,025
1.6.2	Auffüllung, Tone, weich, weich/steif	---	0,010
1.6.3	Auffüllung, Tone, steif	---	0,020
10.1.1, 10.2.1	Sande/Kiese mit geringen Feinanteilen, locker	---	0,015
10.1.4	schluffige/tonige Sande, locker	---	0,010
10.1.2, 10.2.2	Sande/Kiese mit geringen Feinanteilen, mitteldicht	1,4 - 2,7 ¹⁾	0,030
10.1.3, 15.1,3	Sande mit geringen Feinanteilen, dicht	2,6 - 5,0 ¹⁾	0,050
15.3.3	schluffige Sande, dicht	2,6 - 5,0 ¹⁾	0,025
16.1.2	Tone, weich	---	0,010
16.1.3	Tone, steif, steif/halbfest	0,2 - 0,4 ^{1) 3)}	0,025

1) in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung nach EA-Pfähle

2) bei Schlagzahlen $N_{10} < 2$

3) gilt nicht für steifen Ton

Die angegebenen Werte gelten für offene Stahlrohrpfähle ($d \leq 800$ mm) mit einer Einbindetiefe in den tragfähigen Baugrund von mindestens 2,5 m. Die Mächtigkeit der tragfähigen Böden unterhalb der Pfahlfußfläche darf bei $d = 0,5$ m ein Maß von 2,5 m ($5 \times$ Pfahldurchmesser) nicht unterschreiten. Sofern dies nicht gewährleistet ist, empfehlen wir, sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen. Ist die Einbindung der Pfähle in die tragfähige Schicht von 2,5 m nicht vorhanden, empfehlen wir ferner, eine Mindesteinbindetiefe der Pfähle von 5,0 m.

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle unter Beachtung der Hinweise und Forderungen der EA-Pfähle /U10/.

Sofern Rammhilfen, beim Einbringen der Rammpfähle zum Einsatz kommen, sind die in Tabelle 12 angegebenen Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.

Tabelle 12: Abminderungsfaktoren

	Vorbohren			Spülhilfe
Mantelreibung	0,5	bei d - dB	≤ 50 mm	0,9
	0,6	bei d - dB	> 50 mm	
	1,0	bei d - dB	> 150 mm	
Spitzendruck	1,0 ¹⁾			1,0 ¹⁾

d = Pfahl- Ø bzw. -breite, dB = Ø Bohrung

¹⁾ gilt nur, wenn Rammhilfe 1,0 m oberhalb der Pfahlspitze endet

3.3 Gründung auf Bohrpfählen

Der Vorteil dieser Gründungsvariante besteht in der Einflussnahme auf vorhandene Hindernisse, welche zum Teil überbohrt und ggf. auch durch Meißelarbeiten beseitigt werden können. Die auftretende Lärmemission ist in Abhängigkeit der gewählten Geräte meist geringer als bei Rammpfahlgründungen. Durch die geringere dynamische Einwirkung auf den Untergrund sind zwar Verdichtungssetzungen nicht auszuschließen, sie werden im Allgemeinen deutlich minimiert.

Für die Ermittlung der Tragfähigkeit von Bohrpfählen werden Spitzendruck- und Mantelreibungswerte benötigt. Die Einbindung der Bohrpfähle muss nach EA-Pfähle /U10/ bei Lockergesteinsböden mindestens 2,5 m in die tragfähigen Schichten erfolgen. Tragfähige Schichten für den Ansatz eines Spitzendrucks 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 rollige Böden mit mindestens mitteldichter Lagerung (Schicht 10.1.2, 10.2.2, 10.1.3, 15.1.3, 15.3.3) oder bindige Böden mit mindestens steifer Konsistenz (Schicht 16.1.3) einbinden.

In der nachfolgenden Tabelle 13 werden die zur Vorbemessung erforderlichen Bohrpfahlkennwerte in Anlehnung an die EA-Pfähle /U10/ angegeben.

Tabelle 13: Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung für Bohrpfähle nach /U10/

Schicht Nr.	Bodenart	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²]	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ [MN/m ²]
1.1.1, 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1	Auffüllung: Schotter, Sande, Kiese, locker	---	0,015 (0,01) ²⁾
1.2.2, 1.4.2	Auffüllung, Sande/Kiese, mitteldicht	---	0,040
1.6.2	Auffüllung, Tone, weich, weich/stEIF	---	0,015
1.6.3	Auffüllung, Tone, steif	---	0,030
10.1.1, 10.2.1	Sande/Kiese mit geringen Feianteilen, locker	---	0,030
10.1.4	Schluffige/tonige Sande, locker	---	0,020
10.1.2, 10.2.2	Sande/Kiese mit geringen Feianteilen, mitteldicht	0,6 / 0,7 / 1,8 ¹⁾	0,030
10.1.3, 15.1,3	Sande mit geringen Feianteilen, dicht	1,05 / 1,35 / 3,0 ¹⁾	0,100
15.3.3	schluffige Sande, dicht	1,05 / 1,35 / 3,0 ¹⁾	0,100
16.1.2	Tone, weich	---	0,025
16.1.3	Tone, steif, steif/halbfest	0,75 / 0,9 / 1,5 ^{1) 3)}	0,040

1) in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung nach EA-Pfähle

2) bei Schlagzahlen N10 < 2

3) gilt nicht für steifen Ton

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 d = 0,5 m ein Maß von 1,5 m (3 x Pfahldurchmesser) nicht unterschreiten. Sofern dies nicht gewährleistet ist, empfehlen wir, sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen. Ist die Einbindung der Pfähle in die tragfähige Schicht von 2,5 m nicht vorhanden, empfehlen wir ferner, eine Mindesteinbindetiefe der Pfähle von 5,0 m.

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle unter Beachtung der Hinweise und Forderungen der EA-Pfähle /U10/. Wir empfehlen, die angegebenen Pfahlkennwerte im Zuge der Pfahlbohrungen zu überprüfen und ggf. zu präzisieren.

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:

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

Die Anwendung dieser Formel gilt für Pfahldurchmesser $D \leq 1,0$ m und einem Höchstwert der Horizontalverschiebung von $y = 2$ cm bzw. $y = 0,03 * D$, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Bei einem Pfahldurchmesser von 0,5 m ergibt sich somit eine maximale Horizontalverschiebung von $0,03 * 0,5$ m = 1,5 cm. 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.

Gemäß TM 2008-149 I.NVT 4 (K) vom 11.07.2008, Abschnitt 5 a /U12/ ist für den Bettungsverlauf der Pfahlgründung davon auszugehen, dass ab Oberkante Erdreich der Steifemodul mit 0 beginnend über eine Tiefe von 3,0 m linear auf seinen Maximalwert ansteigt und unterhalb einer Tiefe von 3,0 m, den ggf. schichtbezogenen Maximalwert beibehaltend, konstant verläuft. Die statischen und dynamischen Steifemoduli für die jeweiligen Böden können der Tabelle 6a-c des vorliegenden Berichts entnommen werden. Die dynamischen Steifemoduli können dabei für das vereinfachte Berechnungsverfahren für Lärmschutzwände /U12/ angenommen werden. Für eine Berechnung nach dem exakten Verfahren müssten diese Moduli genauer bestimmt werden (z.B. dynamische Messungen).

Bei Lärmschutzwänden auf Dämmen sind für den Bettungsverlauf die Lage des Pfahls zur Böschungskante und die Neigung der Böschung zu beachten. Durch den geringeren mobilisierbaren Erdwiderstand kann der Punkt, ab dem ein konstanter Bettungsmodul angesetzt werden kann, tiefer als 3,0 m liegen.

Während in nichtbindigen Sanden / Kiesen im obersten Pfahlbereich i.A. keine Bettungsausfälle zu erwarten sind, ist beim Vorhandensein von bindigen Böden mit einem Bettungsausfall bis zu einer Tiefe von ca. $1,0 * D$ zu rechnen. Dementsprechend ist für diesen Bereich keine Bettung anzusetzen.

3.5 Anschüttung

Zwischen km 76,240 und km 77,500 rechts der Bahn wird eine Gleisfeldverbreiterung vorgenommen. Damit verbunden ist eine Anschüttung des neuen Dammes und zur Sicherung des Geländesprunges der Bau einer Stützwand erforderlich. Die neue Lärmschutzwand ist auf dem neu zu errichtenden Damm vorgesehen. Zur Stützwand km 76,250–76,550 und Stützwand km 76,650–77,050 siehe separate Gutachten.

Für die Dammanschüttung empfehlen wir, ein gut verdichtbares Kies-Sand-Gemisch der Bodengruppen GW, GI, SW, SI zu verwenden. Dabei ist vor der Anschüttung der vorhandene Oberboden des Dammes zu entfernen. Zum Ausgleich von Setzungsunterschieden sowie zur Vermeidung von Fugen zwischen Altkörper und Neuschüttung sind bei Anschüttungen gemäß Ril 836.0501 grundsätzlich Abtreppungen vorzusehen. Dabei sollen die Stufen ca. 60 cm hoch sein und eine nach außen gerichtete Neigung von etwa 5 % aufweisen. Die anzuschüttenden weit- oder intermittierend gestuften Kiessande sollten 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. Wir empfehlen die Anschüttung mit einem Verdichtungsgrad $D_{Pr} = 1,0$ herzustellen.

3.6 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Für die Lärmschutzwand sind bei der geplanten Tiefgründung keine besonderen Maßnahmen zur Baugrubensicherung und Wasserhaltung erforderlich.

Für die Herstellung der Pfahlkopfplatten können nicht verbaute Baugruben bis 1,25 m Tiefe ohne besondere Sicherung mit senkrechten Wänden hergestellt werden, wenn die Geländeoberfläche nicht stärker als 1:2 bei bindigen bzw. 1:10 bei nichtbindigen Böden geneigt ist. Die vorhandene Geländeneigung ist daraufhin zu prüfen.

3.7 Einfluss der Baumaßnahmen auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen

Bei den Ramm- bzw. Bohrarbeiten sollte eine visuelle und messtechnische Überwachung der Gleise vorgesehen werden. Die Einbringssysteme der Pfähle sind so zu wählen, dass möglichst geringe Erschütterungen, insbesondere an Brücken und OL-Masten, und Lärmbelastigungen erzeugt werden. Während der Ramm- bzw. Bohrarbeiten können Unterhaltungsarbeiten im Betriebsgleis nicht völlig ausgeschlossen werden. Als bahnseitige Schutzmaßnahme empfehlen wir, während der Bauausführung eine Langsamfahrstelle einzurichten.

Bei angrenzender Bebauung sollte zur Abwehr unberechtigter Schadensersatzansprüche im Vorfeld ein Beweissicherungsverfahren durchgeführt werden.

4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse und deren Bewertung für die geplante Lärmschutzwand im Abschnitt von km 76,240 und km 77,500 rechts der Bahn der neuen Strecke 4010 dargestellt. Gegenstand der Untersuchungen ist die Ermittlung von Bodenkennwerten und Berechnungsannahmen für die Gründung der Lärmschutzwand.

Der Baugrund besteht unter anthropogenen Auffüllungen vorwiegend aus quartären (Sande, Kiese) und tertiären (Tone, Sande) Sedimenten. Die Beschreibung der Bodenverhältnisse wurde durch bodenphysikalische Laborversuche unteretzt.

Das Grundwasser stand zum Zeitpunkt der Erkundung zwischen 3,0 m und 4,8 m unter Bohransatz (91,61 m NN und 96,66 m NN).

In Abschnitt 2 wird aus den erkundeten Bodenschichten ein Baugrundmodell gebildet und die zugehörigen Boden- und Berechnungskennwerte angegeben. Ferner werden in diesem Abschnitt Aussagen zur Rammfähigkeit des Untergrundes gemacht. Angaben zur Gründung der Lärmschutzwand sowie Baugrubensicherung und Wasserhaltung enthält Abschnitt 3.

Bei den erkundeten Baugrundverhältnissen sowie unter Berücksichtigung der im vorliegenden Bericht aufgeführten Punkte, Hinweise und Empfehlungen ist eine Tiefgründung der geplanten Lärmschutzwand möglich. Für die Gründungen mittels Bohr- oder Rammfählen sind die entsprechenden Spitzendruck- und Mantelreibungswerte im vorliegenden Bericht enthalten.

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 der Lärmschutzwand haben.

Unsere beauftragten Leistungen für dieses Objekt sind hiermit abgeschlossen.

aufgestellt durch:

Dipl.-Ing. M.Sc. Anna Ehrhardt