



Nur zur Information

Anlage 17.21a
(geändert)

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

NUR ZUR INFORMATION

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

Geotechnischer Bericht

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

Teilobjekt: ~~Stützwand (Dammverbreiterung) km 76,250 – km 76,550~~
Dammverbreiterung km 32,925 – km 33,165; Str. 3520

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~~
60528 Frankfurt (Main)

Auftragsnummer: ~~PF 3 0368 01~~ BG 00217 P

Bearbeiter: ~~Dipl. Ing. M.Sc. Anna Ehrhardt~~ Dipl.-Geol. U. Tang

~~Dieser geotechnische Bericht umfasst 36 Seiten und 8 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.~~
~~Dieser geotechnische Bericht umfasst 36 Seiten und 8 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.~~

Frankfurt, ~~11.03.2011~~ 05.08.2016


.....
Dipl. Ing. Ch. Sielisch
Dipl.-Geol. Ch. Josenhans


.....
Dipl. Ing. M.Sc. Anna Ehrhardt
Dipl.-Geol. U. Tang



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	4
1.1	Unterlagen	4
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	6
1.3	Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen	6
2	Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	8
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	8
2.2	Geologische Situation	9
2.3	Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	10
2.4	Hydrologische Verhältnisse	12
2.5	Baugrundmodell	13
2.6	Bodenrechenwerte	14
2.7	Beton- und Stahlaggressivität des Bodens	15
2.8	Erdbebeneinwirkung	16
2.9	Rammfähigkeit des Untergrundes	16
3	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	18
3.1	Allgemeines	18
3.2	Flachgründung	18
3.3	Baugrubensicherung und Wasserhaltung	20
3.4	Verankerung	21
3.5	Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	23
3.6	Einfluss auf angrenzende Bebauung	24
3.7	Ausbildung der Hinterfüllung / Dammverbreiterung	25
3.7.1	Standicherheit	26
3.7.2	Schwingstabilität	26
3.8	Tragschichtsystem	26
3.8.1	Anforderungen an das Tragschichtsystem	26
3.8.2	Bemessung des Tragschichtsystem	28
3.8.3	Materialanforderungen	33
3.8.4	Abnahmekriterien	33
3.9	Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	33



3.10	Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	34
4	Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	35

Anlagenverzeichnis

Anlage 17.21.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.21.2	Lage- und Aufschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.21.3	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.21.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.21.4.1	Körnungslinien	2 Blatt
Anlage 17.21.4.2	Zustandsgrenzen	1 Blatt
Anlage 17.21.4.3	Glühverlust	1 Blatt
Anlage 17.21.4.4	Beton- und Stahlaggressivität des Bodens	5 Blatt
Anlage 17.21.5	Fundament-/Setzungsdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.21.6	Kampfmittelfreimessung	6 Blatt
Anlage 17.21.7	Fotodokumentation	3 Blatt
Anlage 17.21.8	Ergänzende Stellungnahmen	6 Blatt



1 Einleitung

1.1 Unterlagen

Zur Ausarbeitung dieses Geotechnischen Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /U 1/ Leistungsvereinbarung (LV) 3-E-20-0029 vom 16.04.2013 auf Grundlage unseres Angebotes ID35829 vom 03.01.2013.
- /U 2/ Genehmigungsplanung Lageplan GP-0104-VA-LP-04-0 von DB ProjektBau GmbH, Stand: März 2012 mit Erläuterungen
- /U 3/ Geotechnischer Bericht; Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe; Stützwand und Dammverbreiterung km 76,250 – km 76,550, Strecke 4010; Entwurfsplanung; DB International GmbH vom 11.03.2011
- /U 4/ Email von Herrn BÜchse, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt, bzgl. Radsatzlasten im Untersuchungsgebiet Knoten Frankfurt vom 19.03.2014.
- /U 5/ Email von Herrn BÜchse, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt, bzgl. den Vorgaben der Wasserbehörde und einem Ausschnitt der Grundwasserhöhenkarte von 1884 vom 16.04.2014.
- /U 6/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Umweltgeotechnik GmbH, Nov. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 7/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 8/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.
- /U 9/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.
- /U 10/ Datenauszug zu Grundwassermessstellen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und der HESSENWASSER GMBH & CO. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSTELLEN, Stand: Sept. 2010.
- /U 11/ Ril 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, 3. Aktualisierung, 01.03.2014.
- /U 12/ Technische Mitteilung - als Handlungsanweisung gemäß Konzernrichtlinie 138.0202 - zum Geotechnischen Ingenieurbau Nr. 304/2003/012: „Anwenderklärung Ril 836: Einbau von Schutzschichten auf Strecken des Bestandsnetzes“, vom 01.06.2004.
- /U 13/ EAB 2012 - Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- /U 14/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Stand: 05/2005.
- /U 15/ ZTVE-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.
- /U 16/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen, Juli 2007.

- /U 17/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Witt, K. J., Verlag Ernst & Sohn, 2009.
- /U 18/ Email von Herrn Kauck, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt, bzgl. Gleislagefehler, Geschwindigkeit und Instandhaltungsaufwand vom 13.01.2011.
- ~~/U 19/ 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 20/ Vorplanung Lagepläne LP21A, 22A, 23A, 04A und 05A, von DB ProjektBau GmbH, Stand: Juli 2004 / Okt. 2009 / Aug. 2010.~~
- ~~/U 21/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Umweltgeotechnik GmbH, Nov. 2010 bis Jan. 2011.~~
- ~~/U 22/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011.~~
- ~~/U 23/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.~~
- ~~/U 24/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.~~
- ~~/U 25/ Datenauszug zu Grundwassermessstellen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und der HESSENWASSER GMBH & CO. KG MONITORING UND GRUNDWASSERMESSSTELLEN, Stand: Sept. 2010.~~
- ~~/U 26/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 01.10.2008.~~
- ~~/U 27/ Technische Mitteilung als Handlungsanweisung gemäß Konzernrichtlinie 138.0202 zum Geotechnischen Ingenieurbau Nr. 304/2003/012: „Anwendererklärung Ril 836: Einbau von Schutzschichten auf Strecken des Bestandsnetzes“, vom 01.06.2004.~~
- ~~/U 28/ EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2006.~~
- ~~/U 29/ Arbeitsblatt DWA A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Stand: 05/2005.~~
- ~~/U 30/ ZTVE StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.~~
- ~~/U 31/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen, Juli 2007.~~
- ~~/U 32/ 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 33/ Grundbau Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Witt, K. J., Verlag Ernst & Sohn, 2009.~~
- ~~/U 34/ Email von Herrn Kauck, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt, bzgl. Gleislagefehler, Geschwindigkeit und Instandhaltungsaufwand vom 13.01.2011.~~

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

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Der Ausbau des Knotens Frankfurt(Main)-Sportfeld ist ein Teilprojekt der Gesamtmaßnahme Frankfurt RheinMain^{plus}. Der Knoten Frankfurt(Main)-Sportfeld soll in der 2. Ausbaustufe im Streckenabschnitt zwischen Frankfurt(Main)-Sportfeld und Frankfurt(Main)-Gutleuthof durch zwei zusätzliche Fernverkehrsgleise ausgebaut werden. Zwischen den neuen Eisenbahnüberführungen Waldfriedstraße und Adolf - Miersch - Straße wird der bahnrechte Bestandsdamm für die neuen Streckengleise der Strecke ~~4010 3657~~ verbreitert. ~~Infolge unzureichender Platzverhältnisse im Bereich der EÜ Adolf - Miersch - Straße und den angrenzenden Kleingartenanlagen soll der entstehende Geländesprung hier mit einer Stützwand gesichert werden.~~

Die DB ~~International~~ Engineering & Consulting GmbH, Baugrund wurde auf der Grundlage der Bestellung 0 mit der Erkundung, Darstellung und Bewertung der Baugrundverhältnisse im Untersuchungsbereich der neuen Stützwand, mit Angabe bodenmechanischer Kennwerte für die Gründung sowie der Bemessung des Tragschichtsystems beauftragt.

Des Weiteren waren umweltanalytische Untersuchungen des im Untersuchungsbereiches 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~~ Engineering & Consulting 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 17.21.6 beigelegt.

Die Aufschlussarbeiten wurden durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH vom 17.11.2010 bis 06.01.2011 ausgeführt.

Unter Berücksichtigung der neuen Trassenführung wurden im Bereich der geplanten Stützwand und Dammverbreiterung 5 Kleinbohrungen (RKS; $\varnothing = 60$ mm) bis maximal 9,0 m unter Geländeoberkante (GOK) ausgeführt und durch leichte und schwere Rammsondierungen (DPL-5, DPH) bis maximal 10,7 m unter GOK ergänzt.

Die schweren Rammsondierungen 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 (S) je Ansatzpunkt ausgeführt.

Die Aufschlüsse S/RKS/DPL-5 79, S/RKS/DPH 84, S/RKS/DPH 89 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 ²⁾	Aufschluss	Lage ²⁾	Ansatzhöhe [m NN]	Endtiefe [m NN]	Aufschlusstiefe [m]
6,818	S/RKS 79	3,0 m r.d.GA	105,55	102,25	3,30 ³⁾
6,818	DPL-5 79	3,0 m r.d.GA	105,55	102,25	3,30 ³⁾
6,879	S/RKS 83	3,0 m r.d.GA	105,28	102,28	3,00
6,858	S/RKS 84	16,0 m r.d.GA	101,03	97,83	3,20 ³⁾
6,858	DPH 84	16,0 m r.d.GA	101,03	97,43	3,40 ³⁾
6,938	S/RKS 89	14,0 m r.d.GA	99,07	93,77	5,30 ³⁾
6,938	DPH 89	14,0 m r.d.GA	99,07	94,57	4,50 ³⁾
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

km ²⁾	Aufschluss	Lage ²⁾	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 ¹⁾
6,818	DPL-5 79	3,0 m r.d.GA	105,55	102,25	3,30 ¹⁾
	RKS/DPH 38-2				
6,879	S/RKS 83	3,0 m r.d.GA	105,28	102,28	3,00
6,858	S/RKS 84	16,0 m r.d.GA	101,03	97,83	3,20 ¹⁾
6,858	DPH 84	16,0 m r.d.GA	101,03	97,43	3,40 ¹⁾⁾
	RKS/DPH 41-2				
6,938	S/RKS 89	14,0 m r.d.GA	99,07	93,77	5,30 ¹⁾
6,938	DPH 89	14,0 m r.d.GA	99,07	94,57	4,50 ¹⁾
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

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

¹⁾ vorzeitiger Abbruch, zu hoher Eindringwiderstand

²⁾ bezogen auf Streckengleis 3624

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-21/~~ /U 21/ können bei Bedarf im Archiv der DB ~~International~~ Engineering & Consulting GmbH, Baugrund eingesehen werden. Die Lage der Aufschlüsse ist aus Anlage 17.21.2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NN in der Anlage 17.21.3 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 Kleinbohrung S/RKS 94 ist eine Bodenprobe entnommen und bezüglich Beton- und Stahlaggressivität untersucht worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 2x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 1x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122,
- 1x Glühverlust nach DIN 18128 und
- 1x Bestimmung der Beton-/Stahlaggressivität (Boden) nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 17.21.4 entnommen werden.

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

2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Die neu geplante ~~Stützwand und~~ Dammverbreiterung ~~km 76,250–76,550~~ km 32,925–33,165, ~~bezogen auf die Strecke 3520~~ befindet sich zwischen dem südlichen Widerlager der EÜ Adolf -

Miersch - Straße und der EÜ Waldfriedstraße. Die Bestandsgleise der Bahnstrecken 3624/3520 liegen hier auf einem 6-7 m hohen Damm. Die Böschung des Bestandsdammes ist stark bewachsen und liegt in unmittelbarer Nähe zu einer Kleingartenanlage.

2.2 Geologische Situation

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

genutzten Bereiche ist infolge der Baumaßnahmen mit anthropogenen Auffüllungen zu rechnen. Durch den Einbau von zumeist lokal vorkommenden Böden ist dabei eine zweifelsfreie Unterscheidung zwischen aufgefülltem und gewachsenem Boden nicht immer möglich. Ergeben sich im Verlauf der Bohrarbeiten auffällige Abweichung von der hier beschriebenen Geologie ist unverzüglich der Baugrundgutachter zu informieren.

2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte

Gleisschotter

Nur mit den Erkundungen S/RKS 79 und S/RKS 83 ist der Gleisschotter mit einer Gesamtschotterstärke von ca. 0,5-0,6 m angetroffen worden. Der mit Sand, Kies und Schlacke sowie Wurzelresten durchsetzten Schotter wurde als stark verschmutzt eingeschätzt, mit einem vom Bohrmeister abgeschätzten Feinanteil von 30 %. Gemäß Bohrmeisterangaben ist der angetroffene Schotter nicht reinigungsfähig. Die Einschätzung der mechanischen Reinigungsfähigkeit gilt vorbehaltlich einer abfalltechnischen Einstufung des Schotters.

Auffüllungen

Mit den von November 2010 bis Januar 2011 ausgeführten Erkundungen sind im Untersuchungsbereich der Stützwand beginnend ab Geländeoberkante bzw. unter dem Gleisschotter rollige und bindige Auffüllungen erkundet worden. Die rolligen Auffüllungen wurden in Form von eng- und intermittierend gestuften sowie schwach schluffigen bis schluffigen, schwach tonigen **Fein- und Mittelsanden** erbohrt. Diesen Schichten sind nach DIN 18196 die Bodengruppen [SE, SI, SU, ST, SU-SU*] zuzuordnen. An der Oberfläche der Aufschlüsse S/RKS 84, S/RKS 89 und S/RKS 94 ist aufgefüllter Mutterboden der Bodengruppe [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 gesamten Auffüllung liegt zwischen 1,20 m (S/RKS 89) und 2,7 m (S/RKS 79). Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllung ist locker bis mitteldicht. Lokal begrenzt, in S/RKS 79 und S/RKS 83 ist eine bindige Auffüllung, in Form eines sandigen, schwach kiesigen, leichtplastischen **Tones** und eines tonigen, stark sandigen, schwach kiesigen, leichtplastischen **Schluffes** der Bodengruppen [TL, UL-TL] angetroffen worden. Die Konsistenz dieser 0,30 m (S/RKS 79) bis 0,50 m (S/RKS 83) dicken Schichten war zum Zeitpunkt der Untersuchung steif und steif/halbfest.

Die im Damm liegenden Kleinbohrungen S/RKS 79 und S/RKS 83 enden in den Auffüllungen bei 3,0 m und 3,3 m unter GOK.

Der punktuell vorhandene aufgefüllte 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.

Die **quartären Sande und Kiese** wurden mit den Aufschlüssen S/RKS 84, 89 und 94 angetroffen. Diese stellen sich Korngrößenmäßig als schwach kiesige bis kiesige Fein- bis Grobsande und sandige bis stark sandige Kiese dar. Die Sande und Kiese sind nach DIN 18196 in die Bodengruppen SE, SW und GW einzuordnen. Die erkundete Mächtigkeit lag zwischen 1,4 m (Endtiefe) bei S/RKS 84 und 7,60 m bei S/B 94. Die Erkundungen enden in den quartären Mainerassen. Die Lagerungsdichte ist gemäß den Ergebnissen der Rammsondierungen mitteldicht bis dicht.

Die detaillierten Schichtenverläufe sind der Anlage 3 zu entnehmen. Die Laborversuche ausgewählter Bodenproben sind in Anlage 4 abgelegt.

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

Tabelle 2: Bodenkennwerte und Zuordnungen

	Auffüllung		Anstehendes
	Sande	Tone / Schluffe	Quartär
			Sande / Kiese
Schicht-Nr.	1.1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.3.1	1.6.3	10.1.2, 10.1.3, 10.2.1, 10.2.2
Bodengruppe nach DIN 18196	[SE, SI, SU, SU*,ST]	[TL, UL-TL]	SE, SW, GW
Kornanteil d ≤ 0,063 mm [%]	7,0 [SU]	> 40	3,0
Kornanteil d > 2,0 mm [%]	3,0 [SU]	---	3,0
Ungleichförmigkeitszahl U [-]	8,45 [SU]	---	3,27
nat. Wassergehalt w _n [%]	---	15,20	---
Glühverlust V _{gl} [%]	3,3 [SU]	---	---
Fließgrenze w _L [%]	---	26,10	---
Plastizitätsgrenze w _P [%]	---	18,30	---
Plastizitätszahl I _P [%]	---	7,79	---

Konsistenzzahl I_c [-]	---	1,40	---
Konsistenz handspezifiziert	---	steif... steif/halbfest	---
Lagerungsdichte	locker ... mitteldicht	---	mitteldicht ... dicht
Durchlässigkeitswert k_f [m/s]			
nach Beyer, USBR/Bialas	$1,84 \cdot 10^{-5}$ [SU]	---	$2,2 \cdot 10^{-4}$
Erfahrungswerte	$10^{-3} - 10^{-6}$ $10^{-5} - 10^{-7}$ [SU*]	$10^{-7} - 10^{-9}$	$10^{-3} - 10^{-5}$
Durchlässigkeit nach DIN 18130	stark bis schwach durchlässig	schwach bis sehr schwach durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 ¹⁾	3 4 [SU*]	4	3
Frostempfindlichkeit nach ZTVE StB 09	F1 [SI-SE] F2 [SU, ST] F3 [SU*]	F3	F1

Die Tabellenwerte sind Einzelergebnisse, keine Mittelwerte.

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

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten wurden im November 2010 und Januar 2011 durchgeführt. Mit den ausgeführten Erkundungen sind die in Tabelle 3 aufgezeigten Grundwasserstände eingemessen worden.

Tabelle 3: Wasserstände

Aufschluss	Wasseranschnitt [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m NN]	Datum
RKS 94	3,00	---	96,66	06.01.2011

Mit der Kleinbohrung S/RKS 94 ist der Grundwasserstand bei 96,66 m NN (3,0 m unter Gelände) eingemessen worden. Die erkundeten aufgefüllten Sande sind überwiegend gut wasser-durchlässig. Die aufgefüllten schwach tonigen und schwach schluffigen bis schluffigen Sande und leichtplastischen Schluffe und Tone sind nur gering wasser-durchlässig bis undurchlässig. Auf diesen Schichten ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Die mit den Kleinbohrungen angetroffenen Terrassensande weisen oberhalb des Grundwassers eine gute Durchlässigkeit auf.

Generell ist von einer guten Versickerungsfähigkeit der anstehenden Sande und Kiese unterhalb der Auffüllungen 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 24/ und /U 25/). Diese sind nachrichtlich in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Wasserstände zu Grundwassermessstellen

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

Gemäß des aktuellsten Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie ~~/U 24/~~ /U 24/ fällt der Grundwasserhorizont von ca. 95 m NN auf 92,5 m NN Richtung Main hin ab.

Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand in Abhängigkeit des festgestellten Ergebnisses aus der Kleinbohrung S/RKS 94 zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1 m bei 97,66 m NN anzusetzen.

Der Bemessungswasserstand für den Endzustand ergibt sich aus den Vorgaben der Unteren Wasserbehörde /U 5/ die Grundwasserstände aus dem Grundwasserhöhenplan von 1884 für die Planung zu Grunde zu legen. Daraus ergibt sich ein Bemessungswasserstand von 98,0 m NN.

2.5 Baugrundmodell

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

Schicht 1: **Auffüllung, rollig, nicht bis schwach bindig** Mächtigkeit: 0,85-1,70 m

- Fein-/Mittelsand, eng- und intermittierend gestuft, schwach schluffig, schwach tonig, schwach kiesig bis kiesig
- lockere Lagerung (**Schicht 1.2.1**)
- mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SE, SI, SU, ST, SU-SU*]**

Auffüllung, rollig, gemischtkörnig Mächtigkeit: 1,0 m

- Mittelsand, kiesig, schluffig
- lockere Lagerung (**Schicht 1.3.1**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SU*]**

Auffüllung, bindig Mächtigkeit: 0,30-0,50 m

- Schluff/Ton, leichtplastisch, schwach kiesig, stark sandig
- steife bis steif/halbfeste Konsistenz (**Schicht 1.6.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[UL-TL, TL]**

Schicht 10: **Terrassensande / -kiese** Mächtigkeit: 1,40-7,60 m

- Fein- bis Grobsand, eng- und weitgestuft, schwach kiesig bis kiesig
- Kies, sandig bis stark sandig
- mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.2, 10.2.2**)
- dichte Lagerung (**Schicht 10.1.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SW, GW**

2.6 Bodenrechenwerte

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

Tabelle 5a: Bodenrechenwerte

Bodenart	Auffüllung, rollig			Auffüllung, bindig
	[SE, SI, SW, SU-SU*]	[SU]	[SU*]	[TL, UL]
Bodengruppe nach DIN 18196				
Schicht-Nr.	1.2.1	1.2.2	1.3.1	1.6.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	locker	steif steif/halbfest
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	29,0	22,5
wirks. Kohäsion	0,0	0,0	1,0	5,0

c_k' [kN/m ²]				
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,5	17,5	17,0	19,5
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	10,0	9,0	9,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	20,0	8,0	8,0

Tabelle 5b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Terrassenablagerungen		
Bodengruppe nach DIN 18196	SE	SE	SW, GW
Schicht-Nr.	10.1.2	10.1.3	10.2.2
Konsistenz, Lagerungsdichte	mitteldicht	dicht	mitteldicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	32,5	35,0	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	17,0	18,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,5	10,5	10,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	45 ab 5 m ¹⁾ : 70	75 ab 5 m ¹⁾ : 120	50 ab 5 m ¹⁾ : 80

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

2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Bodens

Zur Bestimmung der Beton- und der Stahlaggressivität des aufgefüllten Bodens ist aus der Kleinbohrung S/RKS 94 eine Bodenprobe im Bereich von 3,0 m bis 4,3 m entnommen und auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe untersucht worden. Die Probe wurde aufgeschlämmt und hinsichtlich Betonaggressivität nach DIN 4030 sowie auf Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe nach DIN 50929 untersucht. Die Analyse und die Auswertung erfolgt im Labor der DB [International Engineering & Consulting](#) GmbH. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 17.21.4.4 beigefügt.

Betonaggressivität

Die aufgeschlämmte und untersuchte Bodenprobe ist nach DIN 4030 Teil 2 als **nicht betonangreifend** einzuschätzen (Anlage 4.4, Blatt 01), was der **Expositionsklasse X0** nach DIN EN 206-1 entspricht.

Stahlkorrosivität

Die Untersuchung der Bodenprobe auf Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Eisenwerkstoffe ergab folgende Ergebnisse (Anlage 4.4, Blatt 02 - 05):

Tabelle 6: Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Werkstoffe

Freie Korrosion	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
nur in Bezug auf die Bodenprobe	sehr gering	sehr gering
mit Bezug auf die umgebenden Böden	sehr gering	sehr gering

Tabelle 7: Mittlere Korrosionsgeschwindigkeit

Korrosion	Abtragsrate $w(100a)$ [mm/a]	Eindringtiefe $w_{Lmax}(30a)$ [mm/a]
nur in Bezug auf die Bodenprobe	0,005	0,03
mit Bezug auf die umgebenden 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 eingestuft:

Tabelle 8: Einstufung gemäß DIN 4149

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

2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes

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

Tabelle 9: Rammfähigkeit

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
1.2.1, 1.3.1	Auffüllung (Sand), locker	leicht bis mittelschwer
1.2.2	Auffüllung (Sand), mitteldicht	mittelschwer bis schwer
1.6.3	Auffüllung (Ton), steif - steif/halbfest	schwer

10.1.2	Terrasse: Sand, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
10.2.2	Terrasse: Sand/Kies, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
10.1.3	Terrasse: Sand, dicht	schwer bis sehr schwer

Auffüllung:

In aufgefüllten Böden ist generell mit Steinen, Blöcken, o.ä. zu rechnen, die die Rammfähigkeit des Untergrundes wesentlich verschlechtern können. In Abhängigkeit der Ergebnisse der Rammsondierungen werden die Auffüllungen bei lockerer Lagerung (Schicht 1.2.1, 1.3.1) als leicht bis mittelschwer, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 1.2.2) als mittelschwer bis schwer rammfähig eingeschätzt.

Die Tone/Schluffe werden aufgrund der Konsistenz beurteilt und sind bei steifer und steif/halbfester Konsistenz (Schicht 1.6.3) als schwer rammfähig einzuschätzen.

Terrassenablagerungen:

Die Sande und Kiese werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 10.1.2, 10.2.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 10.1.3) als schwer bis sehr schwer rammfähig eingeschätzt.

Insgesamt ist der Baugrund unter den Auffüllungen vorwiegend als mittelschwer bis schwer rammfähig einzuschätzen.

In aufgefüllten, locker gelagerten Sanden ist mit Verdichtungssetzungen beim Rammen zu rechnen. Ferner ist zu beachten, dass in den pleistozänen Böden der Schicht 10 aufgrund der geologischen Entstehung mit Findlingen (Steine und Blöcke) gerechnet werden muss.

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

3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen

3.1 Allgemeines

Im Rahmen des Ausbaus Knoten Frankfurt(Main)-Sportfeld sind zwei zusätzliche Fernverkehrsgleise geplant. Diesbezüglich muss im Abschnitt ~~km 76,250–76,550~~ der Strecke ~~4010~~ km 32,925 – 33,165 der Strecke 3520 der Damm verbreitert werden. ~~Aufgrund unzureichender Platzverhältnisse ist hier der Neubau einer Stützwand erforderlich.~~ Gemäß der Vorplanung /U 20/ ist eine Verbreiterung bahnrechts vorgesehen. ~~Bauwerkspläne und Lastangaben zur Stützwand und der sich anschließenden Dammböschung liegen uns nicht vor.~~

~~Für die Bemessung der Gründung einer Stützwand müssen die Nachweise der Gleitsicherheit, Kippsicherheit, Grund- und Böschungsbruchsicherheit, der Setzungen sowie der Festigkeit der Wand erbracht werden. In Abschnitt 3.2 wurden Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen durchgeführt und auf deren Grundlage die aufnehmbaren Sohldrücke für eine mögliche Flachgründung der Stützwand (Schwergewichtsmauer, Winkelstützwand, o.ä.) angegeben.~~

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 ist ersichtlich, dass der Baugrund unter locker bis mitteldicht gelagerten sandigen Auffüllungen aus mitteldicht bis dicht gelagerten Terrassensanden und Kiesen (Schicht 10) besteht. Die Kleinbohrungen enden bei max. 9,0 m unter GOK (90,66 m NN).~~

~~Bei Annahme einer frostfreien Gründung von $\geq 0,8$ m unter GOK liegt die Gründungstiefe bei ca. 98,27 m NN. Aufgrund der im gründungsrelevanten Bereich anstehenden locker gelagerten Auffüllungen empfehlen wir zur Reduzierung und Vergleichmäßigung der Setzungen im Bereich der Gründungssohle, den Einbau eines $\geq 1,0$ m dicken Kiespolsters. Die Unterkante des Kiespolsters liegt bei ca. 1,8 m unter GOK. Die Aushubsohle sollte vor Einbau des Kiespolsters tiefenwirksam nachverdichtet werden. Das Kiespolster ist aus einem gut verdichtbaren Material der Bodengruppe GW, GI, SW oder SI herzustellen, welches bis zu einer Dichte $D_{pr} \geq 1,0$ zu verdichten ist. Bei dem Kiespolster ist zu beachten, dass dieses gegenüber dem Gründungs-~~

~~körper 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:~~

~~$$\phi_{k'} = 35,0^\circ; c_{k'} = 0 \text{ kN/m}^2; \gamma_{k'}/\gamma_{k'} = 19/11 \text{ kN/m}^3; E_{s,k'} = 80 \text{ MN/m}^2$$~~

~~Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:~~

~~Fundamentlänge: a = 300 m~~

~~Fundamentbreite: b = 3...5 m~~

~~Gründungstiefe: t_{min} ≈ 0,8 m (auf mind. 1,0 m Kiespolster)~~

~~Baugrundprofil: S/RKS 94~~

~~Grundwasser: t_{GW} ≈ 2,00 m unter GOK = 97,66 m NN (Abschnitt 2.4)~~

~~Vorbelastung: σ_v ≈ 13,2 kN/m² (Aushubentlastung am Dammfuss)~~

~~angenommene zulässige Setzung: s_{zul} ≤ 2 cm~~

~~In Anlage 5, Blatt 01 wurden bei Annahme der Sicherheiten nach DIN 1054:2005-01, Lastfall 1 und lotrecht mittiger Belastung Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.~~

~~Tabelle 10: aufnehmbarer Sohldruck~~

	aufnehmbarer Sohldruck [kN/m ²]			Setzung [cm]		
	Anlage 5, Blatt 01	Kiespolster d = 1,0 m				
Fundamentbreite [m]	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0
Grundbruchsicherheit nach DIN 1054:2005-01	630	753	870	4,9	7,4	10,1
Setzung max. s = 2,0 cm	270	210	180	2,0	2,0	2,0

~~Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen σ_{zul} = 630...870 kN/m² mit Setzungsbeträgen von 4,97...10,19 cm für ein 1,0 m dickes Kiespolster 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 σ_{zul} = 180...270 kN/m² für ein 1,0 m dickes Kiespolster.~~

~~Folgerung:~~

~~Bei einer Flachgründung der Stützwand auf einem Kiespolster können die aufnehmbaren Sohldrücke je nach Fundamentabmessungen in Abhängigkeit von den zulässigen Setzungen der Anlage 5, Blatt 01 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 Baugrubensicherung und Wasserhaltung~~

~~Wird die Stützwand flach gegründet, sind Baugruben erforderlich. Baugruben bis 1,25 m Tiefe können nach DIN 4124 senkrecht ausgehoben werden. Tiefere Baugruben müssen geböscht oder verbaut werden. Unbelastete Böschungen bis 5,0 m Höhe können nach DIN 4124 über Grundwasser unter einem Neigungswinkel von 45° (Sande, Kiese) bzw. 60° (Tone/Schluffe bei mind. steifer Konsistenz) abgeböscht werden. Für belastete und / oder höhere Böschungen ist die Standsicherheit nachzuweisen. Die Böschungswinkel sind nach den tatsächlich anstehenden Erdstoffen im Böschungsbereich anzulegen. Bei der Herstellung von Baugruben sind weitergehende Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 sowie des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau zu beachten. Sofern Verbauarbeiten vorgesehen sind bzw. die Stützwand als Spundwandverbau ausgeführt wird, können die Rechenwerte zur Verbauberechnung Abschnitt 2.6, Tabelle 5a b entnommen werden. Angaben zur Rammfähigkeit des Untergrundes enthält Abschnitt 2.9.~~

~~Die horizontalen Bettungsziffern für durchgehende Verbauwände lassen sich in Anlehnung an die EAB /U 27/, Kapitel 4.6 (EB-102) näherungsweise ableiten zu:~~

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

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

~~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 $E_{S,h}$ kann aus dem vertikalen Modul E_S (siehe Tabelle 5a b) mit dem Faktor 0,5 umgerechnet werden.

Grundwasser wurde mit der Kleinbohrung S/RKS 94 in einer Tiefe von 3,0 m unter GOK angetroffen. Der höchste Grundwasserstand (Bemessungswasserstand) wurde in Abschnitt 2.4 mit 97,66 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.

3.4 Verankerung

Die neue Stützwand wird vermutlich rückverankert werden. Nachfolgend werden Hinweise und Empfehlungen zur Rückverankerung der Stützwand gegeben.

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

Für den Entwurf der Anker sind nach /U 33/ folgende Punkte zu beachten:

- Die freie Ankerlänge sollte mindestens 5 m betragen, um sicherzustellen, dass die Vorspannkraft planmäßig in den Baugrund und nicht durch Kraftkurzschluss von der Erdseite aus in das Widerlager eingeleitet wird.
- Die Verpresskörperlänge (Kräfteintragungslänge) sollte ganz im bindigen oder ganz im nichtbindigen Boden liegen. Übergangsbereiche sind zu vermeiden.
- Wegen möglicher Richtungsabweichungen des Bohrlochs und der gegenseitigen Beeinflussung bei der Kräfteintragung sollten die Verpresskörper bei 15 m bis 20 m langen Ankern einen planmäßigen Achsabstand von mindestens $a = 1,5$ m aufweisen.
- Durch Spreizung der Anker in einer Reihe ist gegebenenfalls der planmäßige Mindestabstand von 1,5 m zu erzielen.
- Der planmäßige Abstand zwischen Verpresskörper und bestehenden Bauwerken oder empfindlichen Leitungen sollte 3 m nicht unterschreiten. Um bei Ankern unter verfor-

~~mungsempfindlichen Bauwerken Schäden infolge der konzentrierten Krafteinleitung und Zerrung des Bodens zu verhindern, ist eine Staffelung der Ankerlängen zu empfehlen. Bei besonders empfindlichen Bauwerken oder wenn größere Verschiebungen des ganzen Bodenblockes zu erwarten sind, sollten die Anker so lang ausgeführt werden, dass die Verpresskörper nicht unter diese Bauwerke zu liegen kommen.~~

- ~~• Die Verpresskörper sollten mindestens 4 m unter der Geländeoberkante liegen.~~
- ~~• Die Ankerneigung gegenüber der Horizontalen muss wegen der Herstellung mindestens 10° betragen. Wegen der Tragkraft sind in Böden mit wechselnden Schichten mindestens 15° bis 20° Neigung anzustreben.~~
- ~~• Bruch oder Kriechen eines einzelnen Ankers darf die Standsicherheit der verankerten Konstruktion nicht gefährden.~~
- ~~• An einspringenden Wandecken müssen die senkrecht zueinander angeordneten Anker einen ausreichenden Sicherheitsabstand aufweisen.~~
- ~~• Ab einem Verpresskörperabstand von mehr als dem Zehnfachen des Verpresskörperdurchmessers ist keine maßgebliche gegenseitige Beeinflussung mehr zu erwarten.~~
- ~~• Bei üblichen Verpresskörperdurchmessern von 100 mm bis 150 mm sollte im Allgemeinen ein planmäßiger Abstand der Verpresskörper von 1,50 m nicht unterschritten werden.~~

~~Die Verpresskörper der Anker müssen in die mitteldicht bzw. dicht gelagerten Sande und Kiese der Schichten 10.1.2, 10.2.2 und 10.1.3 einbinden.~~

~~Nachfolgend wird zur Bemessung der Anker ein Diagramm aus /U 33/ dargestellt. Für nichtbindige Böden sind in den nachfolgenden Grafiken die Grenzlaster beim Bruch in Abhängigkeit von der Krafteintragungslänge (Verpresskörperlänge) für verschiedene Lagerungsdichten dargestellt.~~

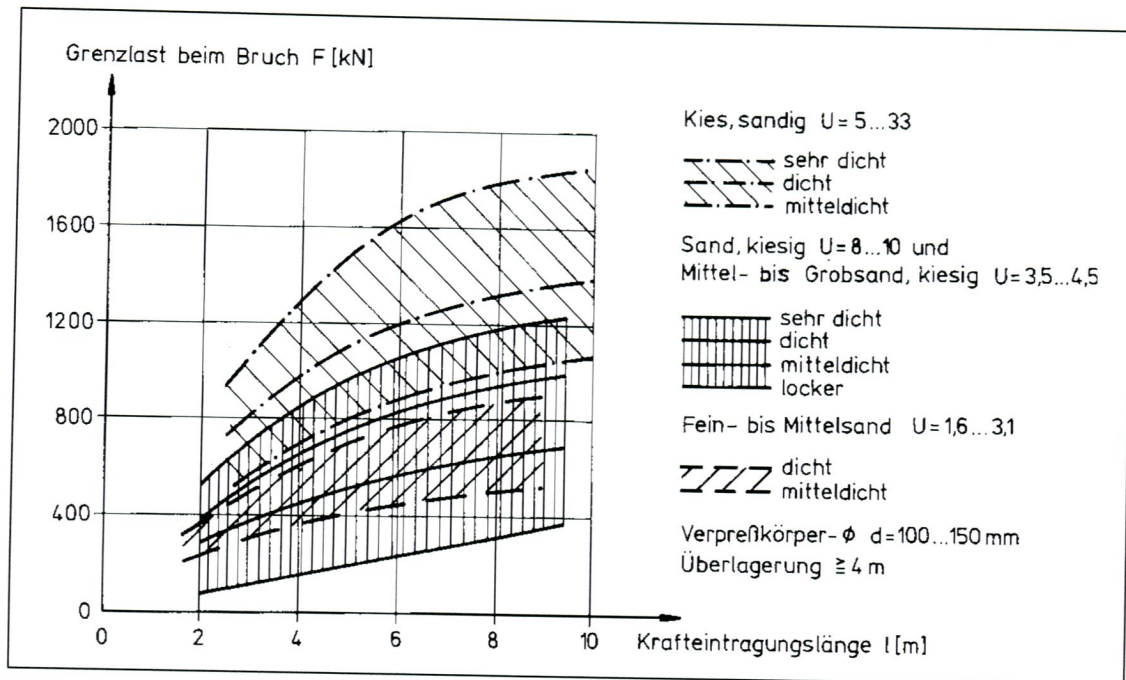


Bild 1: Grenzlast von Ankern in nichtbindigen Böden (nach Ostermeyer) aus /U 33/

3.5 Entwässerung / Versickerungsfähigkeit

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

Nach DWA A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ /U 29/ sind Böden versickerungsfähig, deren k_f Werte im Bereich von 10^{-3} bis 10^{-6} m/s liegen. Ferner sollte die Mächtigkeit des Sickerraumes (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 2) und unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 0,2 nach DWA A 138 wie folgt einzuschätzen:

Tabelle 11: Versickerungsfähigkeit von Böden nach DWA A 138

Boden	Schicht	k_f -Werte [m/s]	$k_{f, \text{kor}}$ -Werte [m/s]	Versickerungsfähigkeit
Auffüllung, (Sand), rollig	1.2.1, 1.2.2, 1.3.1	$1,84 \cdot 10^{-4}$ [SU]	$3,68 \cdot 10^{-5}$ [SU]	versickerungsfähig
		$10^{-3} \dots 10^{-6}$ [SE, SU, ST, SI]	$10^{-3} \dots 10^{-6}$ [SE, SU, ST, SI]	
		$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU, SU*, SU*]	$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU, SU*, SU*]	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
Auffüllung, bindig	1.6.3	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	nicht versickerungsfähig
Terrasse: Sand/Kies, rollig	10.1.2, 10.2.2,	$2,2 \cdot 10^{-4}$ (SE)	$4,4 \cdot 10^{-5}$ (SE)	versickerungsfähig
	10.1.3	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	

Mit den ausgeführten Aufschlüssen wurden im Untergrund aufgefüllte und anstehende Böden mit unterschiedlich hohem Feinkornanteil erkundet. Die Versickerungsfähigkeit der einzelnen Schichten kann der Tabelle 11 entnommen werden.

Im vorliegenden Fall besitzen die über dem Grundwasser erkundeten, aufgefüllten Sande der Bodengruppen [SE, SU, ST, SI] k_f -Werte $> 10^{-6}$ m/s und sind gemäß DWA A138 ausreichend versickerungsfähig. Die rolligen Auffüllungen der Bodengruppen [SU, SU*, SU*] sind bedingt versickerungsfähig, da ihre k_f -Werte im Grenzbereich von 10^{-6} m/s liegen. Die bindigen Auffüllungen [TL, UL, TL] sind nach DWA A138 nicht versickerungsfähig. Die Terrassensande / -kiese (SE, SW, GW) sind prinzipiell versickerungsfähig.

Fazit:

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

3.6 Einfluss auf angrenzende Bebauung

Um Nachsetzungen der Bestandsböschungen zu verhindern bzw. zu minimieren, sollten insbesondere bei Verbauarbeiten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden. Darüber hinaus ist eine kontinuierliche Beobachtung und messtechnische Überwachung der in Betrieb befindlichen Gleisanlagen und Masten vorzunehmen. Ggf. ist eine Langsamfahrstelle als bahnseitige Schutzmaßnahme einzurichten. Im Vorfeld der Baumaßnahme sollte eine Beweissicherung an den Erdbauwerken, Signal- und Masteinrichtungen sowie dem Leitungsbestand durchgeführt werden.

3.7 Ausbildung der Hinterfüllung / Dammverbreiterung

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

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

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

~~Die Hinterfüllung/Dammverbreiterung und Entwässerung von Schwergewichts- und Winkelstützmauern sind nach den Regeln der Ril 836 /U 26/ und der ZTVE StB 09 /U 30/ herzustellen. Wir empfehlen für die Hinterfüllung/Dammverbreiterung in Anlehnung an die Ril 836.0501 Bild A 1.9 die Verwendung von grobkörnigen Böden als Schüttmaterial:~~

~~Für die Dammschüttung können formal die Böden gemäß Ril 836.4102A01, Bild 1 verwendet werden. Wir empfehlen, aus vorgenannten Gründen grobkörnige Böden als Dammschüttmaterial zu verwenden.~~

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

Hinweise zur Hinterfüllung/Dammverbreiterung

- Bewuchsbeseitigung und Abtragung Oberboden
- Herstellung einer abgetrepten Böschungsfäche am Bestandsdamm, die Stufen der Abtreppungen sollten eine Höhe von ca. 60 cm haben und ein nach außen geneigtes Gefälle von 5 % aufweisen
- Herstellung Untergrundplanum / Dammaufstandsfläche
- Die in Höhe Untergrundplanum anstehenden Auffüllungen der Schicht 1.2.1 sind aufgrund ihrer lockeren Lagerung und der Inhomogenität gegen ein mind. 0,5 m dickes Kiessandgemisch auszutauschen.
- Die Aushubsohle ist tiefenwirksam nach zu verdichten.
- Der Bodenaushub, die Nachverdichtung und der Wiedereinbau sind zeitnah durchzuführen. Eine Durchfeuchtung, insbesondere der Aushubsohle ist unbedingt zu vermeiden.
- Lagenweiser Einbau und Verdichtung des Dammschüttmaterials ab UK Dammaufstandsfläche ~~gemäß Ril 836.0501 Bild 2 und Bild A1.9, abweichend von dem in Bild A1.9 geforderten Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 0,97$~~ empfehlen wir ein $D_{Pr} \geq 0,98$.

- ~~Im direkten Hinterfüllbereich der Stützwand sind die o.g. Schüttmaterialien nach ZTVE-StB mit einem Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 1,0$ einzubauen.~~
- Prüfung des Verdichtungsgrades, Prüfmethode und Prüfumfang analog ZTVE-StB bzw. ~~Ril 836.0501 Bild 1~~ Ril 836.4102A01, Bild 1; Ril 836.4103.

3.7.1 Standsicherheit

Die Standsicherheiten von Böschungen sind im Wesentlichen von den Schüttmaterialien, der Damm-/Böschungshöhe und der Böschungsneigung abhängig.

Bei Einhaltung der Regelböschungsneigungen nach Ril 836.4102A01, Bild 1, der Verwendung der darin vorgegebenen Bodengruppen und funktionstüchtigen Entwässerungsanlagen gilt der Nachweis der Standsicherheit von Lockergesteinsböschungen als erbracht. Der Untergrund wird nach Herstellung des Untergrundplanums, wie oben beschrieben, als ausreichend tragfähig eingeschätzt.

Standsicherheits- und Verformungsberechnungen sind zurzeit nicht Untersuchungsgegenstand. In weiteren Planungsphasen können diese ggf. notwendig werden. Hierfür werden zusätzliche Planungsdetails und Querprofilaufnahmen benötigt.

3.7.2 Schwingstabilität

Die neue Dammverbreiterung / Anschüttung wird nach den Neubaukriterien hergestellt, so dass die Schwingstabilität hierfür gegeben ist.

3.8 Tragschichtsystem

3.8.1 Anforderungen an das Tragschichtsystem

~~Die Dammverbreiterung wird von uns in das Kriterium „Neubau“ und die Streckenkategorie P160, R120 gemäß Ril 836.0501 Bild 2 eingeordnet. Der Untersuchungsabschnitt zum Projekt Ausbau des Knotens Frankfurt(M) Sportfeld, 2. Ausbaustufe ist entsprechend Ril 836.0501, Bild 3 dem Frosteinwirkungsgebiet I zuzuordnen. Gemäß Modul 836.0501 Bild 3 und Bild A 1.9 ergeben sich die in Tabelle 12 dargestellten Anforderungen an das Tragschichtsystem:~~

Die neuen Fernverkehrsgleise der Strecke 3657 werden gemäß /U 34/ in das Kriterium „Neubau“ und die Einstufung VzG: 80km/h < v ≤ 160 km/h gemäß Ril 836.4101A01 Tabelle 1 und 2 eingeordnet. Die zukünftigen Radsatzlasten betragen gemäß Planerangaben ≤ 25

Tonnen. Der Untersuchungsabschnitt zum Projekt Umbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe ist entsprechend Ril 836.4101A04 dem Frosteinwirkungsgebiet I zuzuordnen. Gemäß Modul 836.4101A01 Tabelle 1 und Tabelle 2 ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten Anforderungen an das Tragschichtsystem.

Tabelle 12: Regelanforderungen an den Unterbau unter Gleisen

Streckenkatgorie Oberbau	Neubau P-160, R-120 Schotter
OKTS = Oberkante Tragschicht (alt: Planum)	$E_{vd} \geq 100 \text{ MN/m}^2$ $E_{vd} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ $D_{Pr} \geq 1,00$
Planum (alt: Erdplanum)	$E_{vd} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ $E_{vd} \geq 35 / 30 \text{ MN/m}^2$ ^{*)} $D_{Pr} \geq 0,97$ ^{**)}
Regeldicke der Schutzschicht für Frosteinwirkungsgebiet I	40 cm

*) 1. Wert bei grobkörnigen Böden / 2. Wert bei gemischt- und feinkörnigen Böden

**) Empfehlung $D_{Pr} \geq 0,98$, siehe Abschn. 3.7

Tabelle 13: Regelanforderungen an den Unterbau unter Gleisen Neubau auf Erdkörpern gemäß Frosteinwirkungsgebiet I: bis 160 km/h; Pkt.

Neubau - Schotteroberbau			
max. Geschwindigkeit	ab 80 km/h bis einschließlich 160 km/h		
max. Gleisbelastung	≤ 25		
Frosteinwirkungsgebiet	I		
abzusichernder Tragbereich	2,0 m unter SO		
Anforderungen an die Verdichtung nach Anhang 01 Modul 836.4101	$I_c \geq 0,75$ (steife Konsistenz) $D \geq 0,3$ bei $U < 3$ bzw. $D \geq 0,45$ bei $U \geq 3$ (mitteldichte Lagerung)		
Frostempfindlichkeitsklasse	F1	F2	F3
Dicke frostsicherer Aufbau	-	60	70
Dicke der Schutzschicht	35	35	40
Anforderungen an die Verformungs- module nach Anhang 01 Modul 836.4101 ²⁾	OFTS		OK Planum / Untergrund
	E_{v2}	100	45
	E_{vd} ¹⁾	45	30
	D_{Pr}	1,0	0,97 / 0,95 ¹⁾

1) E_{vd} Werte gelten für gemischt- und feinkörnigen Böden, bei grobkörnigen Böden sind die Werte um jeweils 5 MN/m² zu erhöhen.

- 2) Die geforderten Werte sind bei gleisgebundenen Umbau, bzw. bei Verwendung von Geotextil entsprechend den Moduln Ril 836.4105A02 Bild 1, bzw. Ril 836.4101A02 Pkt. 12 anzupassen
- 3) 1. Wert bei GW, GI, SE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST / 2. Wert bei GU*, GT*, SU*, ST*, U, T
- **) Empfehlung $D_{Pr} \geq 0,98$

3.8.2 Bemessung des Tragschichtsystem

Ausgehend von dem Regelquerschnitt

- 0,20 m Schiene
- 0,20 m Schwelle
- 0,30 m Schotter

liegt die Oberkante der Tragschicht = Unterkante (UK) Schotter bei 0,7 m unter SO. Die für die Bemessung des Tragschichtsystems maßgebende Bodenart ist der unter dem Schotter anstehende bzw. aufgefüllte Boden. Ausgehend von dem Vorgesagten, Abschn. 3.7, besteht dieser im vorliegenden Fall aus den empfohlenen grobkörnigen Dammschüttmaterialien sowie den im Bestandsdamm erkundeten Auffüllungen.

Bei den nachfolgenden Bemessungen des Tragschichtsystems sind wir von der Beibehaltung der jetzigen Höhenlage der Gleisgradienten ausgegangen. Sollten sich im Zuge der Planung Gradientenänderungen oder Abweichungen von der angenommenen Streckenkategorie ergeben, müssen die folgenden Angaben überprüft und ggf. präzisiert werden.

3.8.2.1 Neubau Fernverkehrsgleise Strecke ~~4010, km 76,250—76,550~~ 3657 bezogen auf Strecke 3520, km 32,925 - 33,165

Der Untersuchungsabschnitt beginnt bei km ~~76,250~~ 32,925 und endet am nördlichen Widerlager der neuen EÜ Adolf-Miersch-Straße bei km ~~76,550~~ 33,165. Ab dem Kilometer ~~76,400 bis ca. km 76,550~~ liegen die beiden neuen Gleise der Strecke ~~4010~~ 33,015 bis ca. km 33,165 liegt das feldseitige der beiden neuen Gleise der Strecke 3657 gemäß /U 20/ auf der neuen Dammverbreiterung. ~~Von km 76,250 bis km 76,400~~ liegen die Das andere Gleis liegt von km 32,925 bis km 33,165 komplett mit seinem neuen Gleise auf dem Bestandsdamm.

Für diese beiden Abschnitte wird aufgrund unterschiedlicher Lagerungsbedingungen für die Gleise - neue Dammschüttung bzw. Bestandsdamm - eine Unterteilung in Homogenbereiche vorgenommen.

Homogenbereich I

Der Homogenbereich I umfasst den Gleisneubau ~~zwischen 76,400 bis km 76,550. Die neuen Gleise der Strecke 4010~~ liegen des feldseitigen Gleises, bahnlinks, zwischen km 33,015 bis km 33,165. Das neue Gleis der Strecke 3657 hier auf der neuen Dammschüttung. Die Regelanforderungen an das Planum werden durch die oben beschriebene Dammverbreiterung sichergestellt.

Ausgangssituation:

maßgebende Bodenart	Kies, Sand
Bodengruppe nach DIN 18196	GW, GI, GE, SE, SW, SI
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 94	F 1
Hydrologischer Fall nach Ril. 836.0503 836.4101A05	1
Streckenategorie	P160
Berechnungsmodul E_H [MN/m²] nach Ril 836.0503, Bild A1.1	60 MN/m²

Bemessung:

angesetzter Berechnungsmodul E_H	60 MN/m ²
Schutzschicht auf Frostsicherheit nach Ril 836.0501, Bild 2	0,40 m
Schutzschicht auf Tragfähigkeit in Anlehnung an Ril 836.0503, Bild A 1.2 und Erfahrungen	0,40 m

Bewertung der OK Tragschicht nach Ril 836.4101A01

Anforderung an die Verdichtung: Mindestens steif (mit $I_c \geq 0,75$) bzw. mitteldicht ($D \geq 0,45$ bei $U \geq 3$)	eingehalten*
Anforderung an das Verformungsmodul: $E_{v2}=100$ MN/m ² ; $E_{vd}=45$ MN/m ²	eingehalten*

* Bei Neubau der Dammschüttung, siehe unter Punkt 3.1.3.

Bewertung vorhandenes OK Planum nach Ril 836.4101A01

Anforderung an die Verdichtung: Mindestens weich (mit $I_c \geq 0,75$) bzw. mitteldicht ($D \geq 0,45$ bei $U \geq 3$)	eingehalten, nach Nachverdichtung
Anforderung an das Verformungsmodul: $E_{v2}=45$ MN/m ² ; $E_{vd}=30$ MN/m ²	eingehalten, nach Nachverdichtung

Bemessung hinsichtlich Tragfähigkeit nach Ril 836.4101A05, Bild A5.2

Mindestdicke Schutzschicht	0,30 m
----------------------------	--------

Folgerung

Da in Höhe Planum frostsicherer Boden ansteht ist aus geotechnischer Sicht die Dimensionierung der Schutzschicht auf Frostsicherheit nicht maßgebend. Die Schutzschicht wird nur bezogen auf die Tragfähigkeit bemessen und mit ~~40~~ 30 cm ausreichend angesehen, was unsere Erfahrungen bestätigen. Aus geotechnischer Sicht sind folgende weitere Maßnahmen erforderlich:

- Prüfung der Tragfähigkeit und Verdichtung des Planums nach Tabelle ~~12~~ 10
- Einbau einer ~~0,40~~ 0,30 m dicken Schutzschicht aus KG 2, ~~zweilagiger~~ Einbau
- Prüfung der Tragfähigkeit und Dichte auf der OKTS gemäß Tabelle ~~12~~ 10
- Einbau des neuen Schotteroberbaues

Homogenbereich II

Der Homogenbereich II umfasst den Gleisbau zwischen ~~km 76,250 bis ca. km 76,400~~ km 32,925 bis ca. km 33,015 sowie für das ~~bahnrechte~~ Gleis der Strecke 3657 für die Kilometer bis 33,165. Die neuen Gleise liegen hier auf dem Bestandsdamm. Größere Tragfähigkeitsunterschiede zwischen neuen Dammschüttmaterialien (Homogenbereich I) und den sandigen Auffüllungen des Bestandsdammes (Homogenbereich II) in Höhe Planum können durch eine Schutzschicht nicht mehr gleichmäßig ausgeglichen werden. Höchste Priorität muss darauf gerichtet sein, auf dem Planum ein möglichst gleichmäßiges Tragverhalten sicherzustellen.

Die nachfolgende Bemessung berücksichtigt eine Homogenisierung im Bereich unter dem Planum zwischen Boden des Bestandsdammes und Boden der neuen Dammverbreiterung. Hierbei geht es insbesondere um die Vermeidung eines Planumshorizontes, der zum einen aus hochwertigem neuem Anschüttmaterial besteht und zum anderen aus den derzeit im Bestandsdamm in diesem Horizont befindlichen locker gelagerten sandigen Auffüllungen. Die Herstellung einer einheitlichen Planumsschicht mit einer definierten Dicke entspricht im Wesentlichen einer Übergangsschicht im Sinne der Ril ~~836.0503~~ 836.4101.A05. Damit wird das Erreichen der Anforderungen an die OK Planum relativ gleichmäßig gewährleistet und ein Regelaufbau für die Schutzschicht für P160 kann vorgenommen werden.

Ausgangssituation:

maßgebende Bodenart	Auffüllung, Sand
Bodengruppe nach DIN 18196	[ST, SU-SU*]
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 94	F 2-3

Hydrologischer Fall nach Ril.836.0503	1/2
Streckenkatgorie	P160
Berechnungsmodul E_H [MN/m²] nach Ril 836.0503, Bild A1.1 und Erfahrungen	20 MN/m²

Bewertung der OK Tragschicht nach Ril 836.4101A01

Anforderung an die Verdichtung: Mindestens steif (mit $I_c \geq 0,75$) bzw. mitteldicht ($D \geq 0,45$ bei $U \geq 3$)	nicht eingehalten
Anforderung an das Verformungsmodul: $E_{v2}=100$ MN/m ² ; $E_{vd}=45$ MN/m ²	nicht eingehalten

Bewertung vorhandenes OK Planum nach Ril 836.4101A01

Anforderung an die Verdichtung: Mindestens weich (mit $I_c \geq 0,75$) bzw. mitteldicht ($D \geq 0,45$ bei $U \geq 3$)	eingehalten, nach Nachverdichtung
Anforderung an das Verformungsmodul: $E_{v2}=45$ MN/m ² ; $E_{vd}=30$ MN/m ²	eingehalten, nach Nachverdichtung

Bemessung hinsichtlich Tragfähigkeit nach Ril 836.4101A05, Bild A5.2

Mindestdicke Schutzschicht	0,30 m
----------------------------	--------

Bewertung hinsichtlich Filterstabilität nach Ril 836.4101A06

Bei Verwendung von KG 1 Material oder KG 2 kann dieser Nachweis entfallen, gemäß Ril 836.4101A6, Seite 1, Abschnitt 2.

Einschätzung:

Die erkundeten sandigen Auffüllungen der Bodengruppen [ST, SU-SU*] sind nicht ausreichend frostsicher und erfüllen nicht die Tragfähigkeitsanforderungen an die OK Tragschicht und das Planum gemäß Ril 836.0503, Anhang 1, Bild A1.1 (gefordert für OK TS 100 MN/m², Planum 60 MN/m², siehe Tabelle 12). Es ist der Einbau einer Schutzschicht erforderlich.

Bemessung:

angesetzter Berechnungsmodul E_H	20 MN/m ²
Schutzschicht auf Frostsicherheit nach Ril 836.0501, Bild 2	0,40 m
Schutzschicht auf Tragfähigkeit in Anlehnung an Ril 836.0503, Bild A 1.2 und Erfahrungen mit Übergangsschicht	0,40 m und 0,40 m

Folgerung:

Da in Höhe Planum weder frostsicherer noch ausreichend tragfähiger Boden ansteht, ist eine Schutzschicht erforderlich. Die Schutzschicht wird nur bezogen auf die Tragfähigkeit bemessen und mit 80 cm (einschließlich Übergangsschicht) als ausreichend angesehen, was unsere Erfahrungen bestätigen. Aus geotechnischer Sicht sind folgende weitere Maßnahmen erforderlich:

- Vollständiger Ausbau des Schotters und des Bodens bis ~~1,5~~ 1,4 m unter SO
- Einbau einer 0,40 m dicken Übergangsschicht aus KG 2, zweilagiger Einbau
- Einbau einer ~~0,40~~ 0,30 m dicken Schutzschicht aus KG 2, ~~zweilagiger~~ Einbau
- Prüfung der Tragfähigkeit und Dichte auf der OKTS gemäß Tabelle 7 11
- Einbau des neuen Schotteroberbaues

Zusammenstellung der Ergebnisse – Übersicht Tragschichteinbau

Tabelle 14: Zusammenstellung der Ergebnisse

Teilbereich	km von... bis	Übergangsschicht KG 2	Schutzschichtdicke KG 2	Bemerkung
Homogenbereich I	76,400-76,770	—	0,40 m	auf Tragfähigkeit
Homogenbereich II	76,250-76,770	0,40 m	0,40 m	auf Tragfähigkeit

Tabelle 15: Zusammenstellung der Ergebnisse

Teilbereich	km von... bis	Übergangsschicht KG 2	Schutzschichtdicke KG 2	Bemerkung
Homogenbereich I	33,015-33,165 Gleis bahnlinks	---	0,30 m	auf Tragfähigkeit
Homogenbereich II	32,925-33,015 beide Gleise 33,015-33,165 Gleis bahnrechts	0,40 m	0,30 m	auf Tragfähigkeit

3.8.3 Materialanforderungen

Bei Verwendung der o. g. Dammschüttstoffe für die Dammverbreiterung ist von einer guten Durchlässigkeit auszugehen. Der Einbau eines Korngemisches KG 2 als Schutzschicht und Übergangsschicht wird empfohlen. Das Korngemisch muss die Güteforderungen der DBS 918 062 /U 31/ erfüllen.

3.8.4 Abnahmekriterien

Die für die Bauausführung erforderlichen Abnahmekriterien an die Oberkante Tragschicht (OFTS) und das Planum in den Teilbereichen ergeben sich aus den Regelanforderungen der Ril 836.0501, Bild A1.9 (Abschnitt 3.8.1) Tabelle 2 (Abschnitt 3.8.1).

3.9 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 29/ 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 2) und unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 0,2 nach DWA-A 138 wie folgt einzuschätzen:

Tabelle 16: Versickerungsfähigkeit von Böden nach DWA-A 138

Boden	Schicht	k_f -Werte [m/s]	$k_{f, \text{korrr}}$ -Werte [m/s]	Versickerungsfähigkeit
Auffüllung, (Sand), rollig	1.2.1, 1.2.2, 1.3.1	$1,84 \cdot 10^{-4}$ [SU]	$3,68 \cdot 10^{-5}$ [SU]	versickerungsfähig
		$10^{-3} \dots 10^{-6}$ [SE, SU, ST, SI]	$10^{-3} \dots 10^{-6}$ [SE, SU, ST, SI]	
		$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU-SU*, SU*]	$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU-SU*, SU*]	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
Auffüllung, bindig	1.6.3	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	nicht versickerungsfähig
Terrasse: Sand/Kies, rollig	10.1.2, 10.2.2, 10.1.3	$2,2 \cdot 10^{-4}$ (SE)	$4,4 \cdot 10^{-5}$ (SE)	versickerungsfähig
		$10^{-3} \dots 10^{-5}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$	

Mit den ausgeführten Aufschlüssen wurden im Untergrund aufgefüllte und anstehende Böden mit unterschiedlich hohem Feinkornanteil erkundet. Die Versickerungsfähigkeit der einzelnen Schichten kann der Tabelle 10 entnommen werden.

Im vorliegenden Fall besitzen die über dem Grundwasser erkundeten, aufgefüllten Sande der Bodengruppen [SE, SU, ST, SI] k_f -Werte $>10^{-6}$ m/s und sind gemäß DWA-A138 ausreichend versickerungsfähig. Die rolligen Auffüllungen der Bodengruppen [SU-SU*, SU*] sind bedingt versickerungsfähig, da ihre k_f -Werte im Grenzbereich von 10^{-6} m/s liegen. Die bindigen Auffüllungen [TL, UL-TL] sind nach DWA-A138 nicht versickerungsfähig. Die Terrassensande / -kiese (SE, SW, GW) sind prinzipiell versickerungsfähig.

Fazit:

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

3.10 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen

Die bei der Herstellung der Stützwand und der Dammverbreiterung anfallenden Erdmassen stellen sandige und tonig/schluffige Auffüllungen und die sandig/kiesigen Terrassensedimente dar, darüber hinaus Oberboden im Böschungsbereich des Bestandsdammes.

Diese Böden sind ~~gemäß Ril 836, Modul 836.0504, Bild 2 als Hinterfüllmaterial der Stützwand nicht geeignet.~~ Bis auf den Oberboden ~~können sie jedoch~~ in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o.ä. eingesetzt werden. Weiche bindige Böden sind vor Wiedereinbau gesondert zu behandeln (z.B. Austrocknung, Zumischung von Brandkalk).

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

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

4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse und deren Bewertung für die neue Stützwand und die Dammverbreiterung von ~~km 76,250 bis km 76,550~~ km 32,925 bis km 33,165 bezogen auf die Strecke 3520, im Rahmen des Projektes Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe dargestellt. Die Untersuchungen beziehen sich auf die Ermittlung der Eigenschaften der aufgefüllten und anstehenden Böden zur Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Gründung des Bauwerkes. Die Dammschüttung und der Aufbau des Tragschichtsystems wurden erläutert.

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

Der Baugrund besteht ab Geländeoberkante bzw. im Dammbereich aus rolligen Auffüllungen in Form von eng- bis intermittierend gestuften, schwach schluffigen bis schluffigen, teilweise schwach tonigen Sanden. Darüber hinaus wurden bindigen Auffüllungen als leichtplastische Schluffe und Tone erkundet. Im Dammbereich weisen die Auffüllungen Mächtigkeiten zwischen 2,3 m und 3,0 m auf und am Dammfuss 1,2 m bis 1,8 m. Darunter folgen mitteldicht bis dicht gelagerte Terrassensande und -kiese.

Das Grundwasser wurde mit der Kleinbohrung S/RKS 94 bei 3,0 m unter Gelände angeschnitten. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand bei ca. ~~97,66~~ 98,0 m NN anzunehmen.

~~Ausgehend von den Erkundungsergebnissen ist eine Flachgründung der Stützwand möglich. Die Dammverbreiterung kann auf einem ca. 1,0 m dicken Bodenaustausch ausgeführt werden. Der Dammaufbau ist entsprechend den Vorgaben zu prüfen.~~

Das Untersuchungsgebiet bezüglich Tragschichtgutachtens wird in diesem geotechnischen Bericht aufgrund der Lage der planerischen Anforderungen in Homogenbereiche unterteilt.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen und den getroffenen Annahmen ist für den Homogenbereich I der Einbau einer ~~40~~ 30 cm dicken Schutzschicht mit einem KG 2 Material auf dem neuen Dammschüttmaterial vorzunehmen.

Für den Homogenbereich II ist eine 40 cm dicke Übergangsschicht und eine 40 cm dicke Schutzschicht mit einem KG 2 Material auf den vorhandenen Auffüllungen erforderlich.

Das KG 2 - Material ist lagenweise einzubauen und zu verdichten.



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. Ehrhardt~~

Dipl.-Geol. U. Tang

