



Nur zur Information

Anlage 17.5a
(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
DQS Reg.-Nr. 000051 OM

Geotechnischer Bericht

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

Teilobjekt: ~~Strecke 3520-3657~~
Erdbauwerk km ~~31,850~~ km ~~32,450~~ km 3,300 - 2,700

Leistungsphase: ~~Entwurfsplanung~~ Genehmigungsplanung

Auftraggeber: DB ~~ProjektBau GmbH~~ DB Netz AG
Regionalbereich Mitte
~~BV MI P (4-8-T)~~ I. NG-MI-F(1)
Hahnstraße ~~52-49~~
60528 Frankfurt (Main)

Auftragsnummer: ~~PF-3-0368-07~~ BG 00217 P

Bearbeiter: Dipl.-Geol. U. Tang

~~Dieser geotechnische Bericht umfasst 24 Seiten und 6 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.~~
Dieser geotechnische Bericht umfasst 34 Seiten und 7 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, ~~11.03.2011~~ 05.08.2016

.....
Dipl.-Geol. Ch. Josenhans

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



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	3
1.1	Unterlagen	3
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	4
1.3	Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen	5
2	Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	9
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	9
2.2	Geologische Situation	11
2.3	Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	12
2.4	Hydrologische Verhältnisse	16
2.5	Baugrundmodell	17
2.6	Bodenrechenwerte	19
3	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	22
3.1	Allgemeines	22
3.2	Erdbauwerk - Einschnitt	22
3.2.1	Hinweise zur Böschungsherstellung	23
3.3	Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	24
3.4	Einfluss auf angrenzende Bebauung	26
3.5	Tragschichtsystem	26
3.5.1	Anforderungen an das Tragschichtsystem	26
3.5.2	Bemessung des Tragschichtsystem	28
3.5.3	Materialanforderungen an die Tragschicht	32
3.5.4	Abnahmekriterien	33
3.6	Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	33
4	Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	33



Anlagenverzeichnis

Anlage 17.5.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.5.2a	Lage- und Aufschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.5.3a	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	4 Blatt
Anlage 17.5.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.5.4.1	Körnungslinien	8 17 Blatt
Anlage 17.5.4.2	Zustandsgrenzen	± 2 Blatt
Anlage 17.5.5	Kampfmittelfreimessung	6 Blatt
Anlage 17.5.6	Fotodokumentation	2 Blatt
Anlage 17.5.7	Geotechnische Berechnungen	1 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.
- ~~/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.~~
- /U 2/ Genehmigungsplanung Lagepläne GP-0101-VA-LP-01-0; GP-0102-VA-LP-02-0; GP-0103-VA-LP-03-0 von DB ProjektBau GmbH, Stand: März. 2012.
- ~~/U2/ Vorplanung Lagepläne LP21A, 22A, 23A, 04A und 05A, von DB ProjektBau GmbH, Stand: Juli 2004 / Okt. 2009 / Aug. 2010.~~
- /U 3/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Umweltgeotechnik GmbH, Okt. 2010 bis Jan. 2011.
- /U 4/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Dez. 2010 bis Jan. 2011, sowie 2013.
- /U 5/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.
- /U 6/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.
- /U 7/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.

~~/U 8/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instandhalten, Fassung vom 01.10.2008~~



- ~~/U 9/ EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2006.~~
- /U 10/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Stand: 05/2005.
- /U 11/ ZTVE-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.
- /U 12/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen, Juli 2007.
- /U 13/ Email von Herrn Kauck, DB ProjektBau GmbH, Frankfurt, bzgl. Gleislagefehler, Geschwindigkeit und Instandhaltungsaufwand vom 13.01.2011.
- /U 14/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Wendt Bohrgesellschaft, Juli bis Oktober 2013.
- /U 15/ Ril 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, 3. Aktualisierung, 01.03.2014.
- /U 16/ EAB 2012 - Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- /U 17/ Geotechnischer Bericht; Ausbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe Erdbauwerk km 31,850 - km 32,450 ; Entwurfsplanung; DB International GmbH; Stand 11.03.2011
- /U 18/ DIN EN 1997-1:2009-09; Eurocode 7; Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik.
- /U 19/ BoVEK Feinkonzept, Umbau Knoten Frankfurt (Main) - Sportfeld, Standort 4164 Frankfurt Louisa, erstellt durch FRI-M-S, April 2014.
- /U 20/ Mail von Herrn Büchse (DB ProjektBau) vom 16.04.2014 mit den Vorgaben der Wasserbehörde und einem Ausschnitt der Grundwasserhöhenkarte von 1884.

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

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Der ~~Ausbau~~ Umbau 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 Ffm-Stadion und dem neu geplanten Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck km 32,450 wird der neue Streckenabschnitt von km 3,300 - km 2,700 ~~31,850 – km 32,450~~ der Strecke ~~3657~~ 3520 als



Rampe in einem bahnrechts der Strecke 3520 anzulegenden Einschnitt unter dem Kreuzungsbauwerk hindurch geführt.

Für diese Baumaßnahme wurden im Zuge der Entwurfsplanung Erkundungen im Zeitraum 2010 / 2011 ausgeführt /U 17/.

Die DB ~~International~~-Engineering & Consulting GmbH, Baugrund wurde auf der Grundlage der Bestellung /U 1/ mit den weiterführenden Erkundung, Darstellung und Bewertung der Baugrundverhältnisse im Untersuchungsbereich des Einschnittes, mit Angabe bodenmechanischer Kennwerte für die Ausführungsplanung beauftragt.

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

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse für die Herstellung des Einschnittes dargestellt und bewertet. ~~Die abfalltechnische Beurteilung erfolgt in einem separaten Bericht.~~ Das Bestandsgutachten aus 2010 zum Einschnitt wird um die neuen Erkundungen ergänzt. Dieser geotechnische Bericht ersetzt das Bestandsgutachten.

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 17.5.5 beigelegt.~~

Für die Beurteilung der Baugrundverhältnisse im Bereich des geplanten Einschnittes werden teilweise die Erkundungen für die Eisenbahnüberführungen Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck herangezogen. Die Aufschlussarbeiten wurden vom 21.10.2010 bis 04.01.2011 durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH und vom 25.07.2013 bis 11.10.2013 durch die Firma Wendt Bohrgesellschaft ausgeführt.

Vor Erkundungsbeginn wurden die neuen Erkundungsstandorte durch die Fa. Wendt Bohrgesellschaft nach Vorgabe des RP Darmstadt auf Kampfmittelverdacht hin untersucht und freigemessen. Das Freimessprotokoll der Radarmessungen ist in 0 beigelegt.

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber waren 2010 / 2011 entlang des neu geplanten Einschnitts folgende Erkundungen bis m unter Gelände (GOK) geplant:



- 1 Kleinbohrung (RKS, Ø 60 mm), mit schwerer Rammsondierung bis max. 3,0 m,
- 6 Kleinbohrungen (RKS, Ø 60 mm), mit 5 schweren Rammsondierungen bis max. 6,0 m
- 1 Kleinbohrung (RKS, Ø 60 mm), mit schwerer Rammsondierung bis max. 8,0 m und
- 1 Kleinbohrung (RKS, Ø 60 mm) bis 10,0 m.

Darüber hinaus wurde eine Kernbohrung (B) mit einer schweren Rammsondierung (DPH) bis 20,0 m unter Gelände aus dem Erkundungsumfang zum Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck hinzugezogen.

Die Aufschlüsse RKS 48 (1x umgesetzt), 48.1 sowie DPH 54 und DPL-5 48 mussten aufgrund eines zu hohen Eindringwiderstandes vorzeitig abgebrochen werden.

Auf Grund der zahlreichen Bohrhindernisse und den daraus resultierenden Bohrabbrüchen sowie der veränderten Vorgaben der neuen DIN EN 1997-1:2009-09; Eurocode 7; Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik wurden in 2013 zusätzlich 3 Kernbohrungen (BK) bis 10,00 m, 3 Kernbohrungen bis 15,00 m abgeteuft und 1 Kernbohrung aus dem Erkundungsumfang des Kreuzungsbauwerkes bis 30,00 m Endteufe hinzugezogen. Alle Kernbohrungen erreichten die vorgegebenen Tiefen. Von den entsprechenden schweren Rammsondierungen DPH's (10,00 m - 15,00 m) erreichte nur die DPH 14-2 die vorgegebene Tiefe. Alle anderen DPH's mussten auf Grund von Bohrhindernissen bzw. einem zu hohen Sondierwiderstandes zwischen 4,50 m und 12,30 m unter AP abgebrochen werden.

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

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

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse

km	Aufschluss	Lage	Ansatzhöhe [m-NN]	Endtiefe [m-NN]	Aufschlusstiefe [m]
31,941 [±]	S/RKS 31	17,2 m r.d.GA	108,93	104,63	4,30
31,941 [±]	DPH 31	17,2 m r.d.GA	108,93	104,03	4,90
32,015 [±]	S/RKS 37	17,0 m r.d.GA	109,04	103,04	6,00
32,032 [±]	S/RKS 38	25,0 m r.d.GA	108,08	102,08	6,00
32,032 [±]	DPH 38	25,0 m r.d.GA	108,08	101,98	6,10
32,129 [±]	S/RKS 41	16,6 m r.d.GA	109,01	103,01	6,00
32,129 [±]	DPH 41	16,6 m r.d.GA	109,01	102,01	7,00



32,129 ³⁾	S/RKS 42	31,1 m r.d.GA	109,01	102,41	6,60
32,129 ³⁾	DPH 42	31,1 m r.d.GA	109,01	102,01	7,00
32,156 ³⁾	S/RKS 45	21,0 m r.d.GA	109,52	101,52	8,00
32,156 ³⁾	DPH 45	21,0 m r.d.GA	109,52	101,52	8,00
32,156 ³⁾	S/RKS 46	36,0 m r.d.GA	109,52	103,52	6,00
32,156 ³⁾	DPH 46	36,0 m r.d.GA	109,52	103,52	6,00
32,293 ³⁾	S/RKS 49	42,0 m r.d.GA	109,05	99,05	10,00
32,293 ³⁾	DPH 49	42,0 m r.d.GA	109,05	95,15	13,90
32,305 ³⁾	S/RKS 48	24,0 m r.d.GA	109,69	106,69	3,00 ³⁾
32,306 ³⁾	S/RKS 48.1	24,0 m r.d.GA	109,69	105,39	4,30 ³⁾
32,305 ³⁾	DPL 5 48	24,0 m r.d.GA	109,69	105,19	4,50 ³⁾
6,400 ²⁾	S/B 54	20,0 m r.d.GA	102,28	82,28	20,00
6,400 ²⁾	DPH 54	20,0 m r.d.GA	102,28	88,88	13,40 ³⁾

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⁾ bezogen auf Streckengleis 3520

²⁾ bezogen auf Streckengleis 3624

³⁾ vorzeitiger Abbruch, zu hoher Eindringwiderstand

Bauwerk Nr. [neu]	Kilometer ¹⁾	Aufschluss	Lage ²⁾	Ansatzhöhe [m NHN]	Endtiefe [m NHN]	Aufschlusstiefe [m]
1.3a	3,250	BK 10-2	7,0 m l.d.GA	108,30	98,30	10,00
	3,250	DPH 10-2	7,0 m l.d.GA	108,30	103,80	4,50
	3,194	S / RKS 31	8,0 m l.d.GA	108,93	104,63	4,30
	3,194	DPH 31	7,0 m l.d.GA	108,93	104,03	4,90
	3,162	BK 13-2	22,0 m l.d.GA	108,55	98,55	10,00
	3,162	DPH 13-2	22,0 m l.d.GA	108,55	103,05	5,50
	3,117	S/RKS 37	In d.GA	109,04	103,04	6,00
	3,093	S/RKS 38	9,0 m l.d.GA	108,08	102,08	6,00
	3,093	DPH 38	9,0 m l.d.GA	108,08	101,98	6,10
	3,034	BK 14-2	2,0 m l.d.GA	108,75	98,75	10,00
	3,034	DPH 14-2	2,0 m l.d.GA	108,75	98,75	10,00
	2,996	S/RKS 41	5,0 m r.d.GA	109,01	103,01	6,00
	2,996	DPH 41	5,0 m r.d.GA	109,01	102,01	7,00
	2,996	S/RKS 42	12,0 m l.d.GA	109,01	102,41	6,60
	2,996	DPH 42	12,0 m l.d.GA	109,01	102,01	7,00
2,970	S/RKS 45	In d.GA	109,52	101,52	8,00	



	2,970	DPH 45	In d.GA	109,52	101,52	8,00
	2,967	S/RKS 46	14,0 m l.d.GA	109,52	103,52	6,00
	2,967	DPH 46	14,0 m l.d.GA	109,52	103,52	6,00
	2,944	BK 15-2	12,0 m l.d.GA	109,06	94,06	15,00
	2,944	DPH 15-2	12,0 m l.d.GA	109,06	98,06	11,00
	2,866	BK 16-2	14,0 m l.d.GA	108,74	93,74	15,00
	2,866	DPH 16-2	14,0 m l.d.GA	108,74	93,74	15,00
	2,820	S/RKS 49	15,0 m l.d.GA	109,05	99,05	10,00
	2,820	DPH 49	15,0 m l.d.GA	109,05	95,15	13,90
	2,810	S/RKS 48	3,0 m l.d.GA	109,69	106,69	3,00 ³⁾
	2,810	S/RKS 48.1	3,0 m l.d.GA	109,69	105,39	4,30 ³⁾
	2,810	DPL-5 48	3,0 m l.d.GA	109,69	105,19	4,50 ³⁾
	2,778	BK 17-2	11,0 m l.d.GA	108,89	93,89	15,00
	2,778	DPH 17-2	11,0 m l.d.GA	108,89	96,59	12,30
	2,723	BK 23-2	8,0 m l.d.GA	107,63	77,63	30,00
	2,665	S/B 54	18,0 m l.d.GA	102,28	82,28	20,00
	2,665	DPH 54	18,0 m l.d.GA	102,28	88,88	13,40 ³⁾

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

1) km bezogen auf neu geplante Strecke 3657

2) m von GA, bezogen auf Gleisachse bahnlinkes Gleis der neu geplanten Strecke 3657

3) vorzeitiger Abbruch, zu hoher Eindringwiderstand

Alle Ansatzpunkte ~~wurden nach Lage und Höhe auf m NN des DB Referenznetzes und die Gleisachse des nächstgelegenen Streckengleises~~ aus 2013 wurden auf Festpunkte der Vermessungsfirma Riemenschneider des DB Referenznetzes auf m NHN eingemessen.

Die Erkundungen aus 2010 / 2011 wurden direkt durch die Firma Riemenschneider eingemessen. Die Entnahme von Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtenwechsel. Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse /U 3/ können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Baugrund eingesehen werden. Die Lage der Aufschlüsse ist aus 0 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NHN in der 0 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.



Im Einzelnen wurden ausgeführt:

In 2011:

- 7x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 1x kombinierte Sieb-/Schlamm-analyse nach DIN 18123 und
- 1x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122

In 2013:

- 9x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123 und
- 1x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18122.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der 0 entnommen werden.

~~Weiterhin sind chemische Laboruntersuchungen an Bodenproben aus dem Bereich des neuen Kreuzungsbauwerkes durchgeführt worden. Die umweltanalytischen Untersuchungen werden in einem separaten Bericht dargestellt und ausgewertet.~~

Die umweltanalytischen Untersuchungen wurden in das BoVEK Feinkonzept; Umbau Knoten Frankfurt (Main) – Sportfeld 2. BA; Standort 4.1.64 Frankfurt Louisa; erstellt durch FRI-M-S im April 2014, eingearbeitet.

2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Der Untersuchungsbereich, innerhalb dessen die neue Strecke ~~4010~~ 3657 über eine abfallende Gradienten unter dem neuen Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck hindurch geführt werden soll, erstreckt sich bahnrechts der Bestandsstrecke 3657 km 3,300 – km 2,700 ~~3520~~ von ~~km 31,850~~ – ~~km 32,450~~. Der dafür nötige Einschnitt soll einerseits in dem stark bewachsenen Randbereich des Gleises 3520, zum anderen im Bereich des Parkplatzes am Stadion sowie im Bereich eines Reit- und Dressurplatzes erstellt werden. Das derzeitige Gelände liegt generell ca. 2,00-2,50 m über dem Niveau des Gleises 3520.



Ausbau Knoten Frankfurt
Erdbauwerk km 31,850—km 32,450 3,300 – 2,700
Geotechnischer Bericht

Anlage 17.5a
Seite 10 von 35

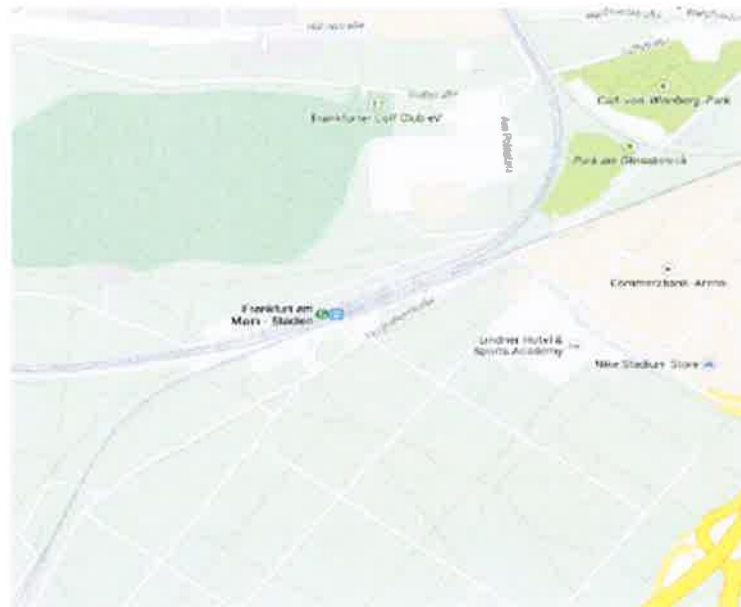


Bild 1: Bahnhof Frankfurt Main Sportfeld, Quelle: Google



2.2 Geologische Situation

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

Ergeben sich im Verlauf der Bohrarbeiten auffällige Abweichung von der hier beschriebenen Geologie ist unverzüglich der Baugrundgutachter zu informieren.

2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte

Auffüllungen

Mit den ausgeführten Kernbohrungen (BK) und den Kleinrammbohrungen (RKS) wurden ab Geländeoberkante Auffüllungen erkundet. ~~Am Ansatzpunkt der meisten~~ Zuerst wurde mit einer Vielzahl der Erkundungen eine 0,10-0,30 m mächtige aufgefüllte Schicht aus Mutterboden angetroffen, die nach DIN 18196 der Bodengruppe OH zugerechnet wird. Wegen der geringen Mächtigkeit, wird diese Schicht im Einzelnen nicht weiter betrachtet.

Die ~~darunter bzw. ab GOK angetroffenen~~ Auffüllungen gliedern sich überwiegend in rollige Böden, in die vereinzelt bindige Schichten eingeschaltet sind. Die rolligen Auffüllungen stellen sich als eng- bis weitgestufte und schwach schluffige bis schluffige vereinzelt tonige **Fein- bis Mittelsande**, mit kiesigen und steinigen Bestandteilen dar. Darüber hinaus wurden auch weitgestufte sowie schwach schluffige bis schluffige, sandige **Kiese** erkundet.

Die bindigen Auffüllungen bestehen aus leicht bis ausgeprägt plastischen **Tonen** sowie tonige Sande mit Plastizität. ~~Die aufgefüllten Sande, Kiese und Tone sind mit Sandsteinstücken, Bauschutt, Ziegelresten und Betonstücke, vereinzelt Schwarzdeckenmaterial durchsetzt. Laut geologischer Karte ist die Fläche unter dem Reitplatz mit Kriegsschutt aufgefüllt. Mit Steinen (d > 0,15 m) ist zu rechnen.~~

Nach DIN 18196 werden v. g. die Auffüllungen den Bodengruppen [SE, SW, SU, SU*, ST*, GW, GU, GU*, TL, TA] zugeordnet. Die Schichtdicke in den Kleinrammbohrungen schwankt je nach Erkundungstiefe zwischen 1,30 m (S/B 54) bis ~~10,00 m (S/RKS 49)~~ 11,20 m (BK 17-2). Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllungen ist gemäß den Ergebnissen der schweren bzw. leichten Rammsondierungen als locker bis mitteldicht einzuschätzen, wobei die Ausschläge in den Rammdiagrammen aus den größeren Kornfraktionen und eingelagerten Steinen resultieren. Die Tone besitzen eine ~~steife-halbfeste~~, zum Teil weiche, steife-halbfeste und bis halbfeste-feste Konsistenz.

Die aufgefüllten Sande, Kiese und Tone sind mit Sandsteinstücken, Bauschutt, Ziegelresten und Betonstücke, vereinzelt Schwarzdeckenmaterial, Kunststoffen sowie Kalkresten durchsetzt. In mehreren Bohrungen bestehen die Auffüllungen meist bis zu einer Teufe von 11,20 m (BK 17-2) vollständig aus Bauschutt, sodass diesen Materialien die Bodengruppe [A] in Anlehnung an die DIN 18196 zugeordnet wird. Laut geologischer Karte ist die Fläche unter dem Reitplatz



bis in den Bereich der Parkplatzfläche im Bereich des Gleisdreieckes mit Kriegsschutt aufgefüllt. Mit Steinen ($d > 0,15$ m) bis Blöcken ist zu rechnen.

Anstehender Boden

Der anstehende Boden wurde nur mit ~~der S/B 54~~ den ausgeführten Kernbohrungen erkundet. ~~Bei den anstehenden Böden~~ Dabei handelt es sich um die quartären **Mainterrassen**. ~~Diese wurden nur mit der Kernbohrung S/B 54 direkt unter den Auffüllungen erkundet.~~ Sie stellen sich als eng- bis weitgestufte, schwach schluffige bis schluffige, vereinzelt schwach tonige **Fein- bis Grobsande**, mit kiesigen bis stark kiesigen Anteilen dar. Vereinzelt sind in diese Sande, weitgestufte bis schwach schluffige Kiese sowie leicht- bis ausgeprägt plastische Tone eingeschaltet. Bezogen auf die geringe Mächtigkeit der Tone, kann von Tonlinsen ausgegangen werden und nicht von weitreichenden zusammenhängenden Schichten.. Gemäß DIN 18186 können diese Böden den Bodengruppen GW, GU, SE, SW, SI, SU, ST, SU* und TL, TA zugeordnet werden. Laut Bodenansprache der Bohrmeister können Steine/Gerölle bis $d > 0,10$ m auftreten. Die Lagerungsdichte der Sande ist gemäß der schweren Rammsondierungen ~~DPH 54~~ und den ausgeführten SPT's als mitteldicht, bei größeren Überlagerungen bis dicht zu bewerten. Die eingeschalteten Kiese können generell als dicht gelagert angesehen werden. Die leicht- bis ausgeprägt plastischen Tone besitzen eine steife bis halbfeste Konsistenz.

Die Schichtmächtigkeit der quartären Terrassenablagerungen ist mit der Bohrung ~~S/B 54~~ BK 23-2 mit mindestens ~~18,70 m unter GOK (82,26 m NN; Ende der Bohrung)~~ 30,00 m unter GOK (77,63 m NHN; Ende der Bohrung) erkundet worden. Die darin vereinzelt auftretenden Tonlinsen besitzen eine Mächtigkeit von 0,10 m bis 0,30 m.

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

Tabelle 2: Bodenkennwerte und Zuordnungen

	Auffüllung		Anstehender Boden
			Terrasse
Bezeichnung	Sand/Kies	Ton	Sand/Kies
Bodengruppe nach DIN 18196	{SW, SE, SU, SU*, GW, GU}	TL, TA, ST* _{m.p.}	SE, SW, SI
Kornanteil $d \leq 0,063$ mm [%]	11,0 {SU} ... 18 {SU*}	23,0 {ST*}	1,0 ... 3,7



Kornanteil d > 2,0 mm [%]	2 [SE]... 40,0 [GU]	27,0 [ST*]	1,0 ... 6,0
Ungleichförmigkeits- zahl U [-]	45,7 ... 50,9	—	1,9 ... 2,5
natürl. Wassergehalt w _n [%]	—	14,4	—
korr. Wassergehalt w _k [%]	—	20,1	—
Fließgrenze w _L [%]	—	68,4	—
Ausrollgrenze w _P [%]	—	26,2	—
Plastizitätszahl I _p [%]	—	42,2	—
Konsistenzzahl I _c [-] bez. auf Gesamtprobe	—	1,28	—
Konsistenz handspezifizierte	—	weich... steif/halbfest	—
Lagerungsdichte	locker... dicht	—	mitteldicht... dicht
Durchlässigkeitswert k _r [m/s]			
nach Beyer, USBR/Bialas	5,5*10 ⁻⁵ ... 1,1*10 ⁻⁴	—	1,9...7;1*10 ⁻⁴
Erfahrungswerte	10 ⁻³ ... 10 ⁻⁶	10 ⁻⁸ ... 10 ⁻¹⁰	10 ⁻³ ... 10 ⁻⁵
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark bis schwach durch- lässig	sehr schwach durchlässig	stark bis durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 *)	3 4 [SU*, ST*] 5 [X] (Steine)	4 5 [TA]	3
Frostempfindlichkeit nach ZTVE—StB-09	F1 [SE, SW, GW] F2 [SU, GU] F3 [SU*]	F2 [TA] F3	F1

	Auffüllung		Anstehender Boden	
			Terrasse	Hochflutlehm
Bezeichnung	Sand/Kies	Ton	Sand/Kies	Ton
Bodengruppe nach DIN 18196	[SW, SE, SU, SU*, GW, GU, GU*]; [A]	TL, TA, ST*	GW, GU, SE, SW, SI, SU, ST, SU*	TA, TL
Kornanteil d ≤ 0,063 mm [%]	11,0 [SU]... 18 [SU*]	23,0 [ST*]	1,0 ... 19,3	---
Kornanteil d > 2,0 mm [%]	2 [SE]... 40,0 [GU]	27,0 [ST*]	0,2 ... 50,0	---
Ungleichförmigkeits- zahl U [-]	45,7 ... 50,9	---	1,9 ... 16,5	---
natürl. Wassergehalt w _n [%]	---	14,4	---	20,0



korr. Wassergehalt w _k [%]	---	20,1	---	20,14
Fließgrenze w _L [%]	---	68,4	---	64,5
Ausrollgrenze w _P [%]	---	26,2	---	18,1
Plastizitätszahl I _P [%]	---	42,2	---	46,3
Konsistenzzahl I _C [-] bez. auf Gesamtprobe	---	1,28	---	0,96
Konsistenz handspezifiziert	---	weich... halb- fest/fest	---	steif...halbfest
Lagerungsdichte	locker... dicht	---	mitteldicht... dicht	---
Durchlässigkeitswert k _f [m/s]				
nach Beyer, USBR/Bialas	5,5*10 ⁻⁵ ... 1,1*10 ⁻⁴	---	1,9...7,1*10 ⁻⁴	---
Erfahrungswerte	10 ⁻³ ... 10 ⁻⁶	10 ⁻⁸ ... 10 ⁻¹⁰	10 ⁻³ ... 10 ⁻⁶	10 ⁻⁸ ... 10 ⁻¹⁰
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark bis schwach durchlässig	sehr schwach durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig	sehr schwach durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 *)	³ 4 [SU*, ST*] 5 [X] (Steine)	⁴ 5 [TA]	³ 4 SU*	⁴ 5 TA
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 09	F1 [SE, SW, GW] F2 [SU, GU] F3 [SU*, GU*]	F2 [TA] F3	F1 SE, SW, SI, GW F2 SU, GU, ST F3 SU*	F2 TA F3

Tabellenwerte sind Mittelwerte bzw. Einzelwerte aus Laborversuchen.

*) in Abhängigkeit vom Steinanteil auch höher.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten wurden von Oktober 2010 bis Januar 2011 bzw. Juli bis Oktober 2013 durchgeführt. Mit den ausgeführten Erkundungen sind die in Tabelle 3 aufgezeigten Grundwasserstände eingemessen worden.

Tabelle 3: Wasserstände

Aufschluss	Wasseranschnitt [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m NN]	Datum
S/B-54	6,00	5,90	96,38	05.11.2010

Aufschluss	Wasseranschnitt [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m u. GOK]	Wasseranschnitt nach Bohrende [m NHN]	Datum
S/B 54	6,00	5,90	94,26	05.11.2010
BK 15 - 2	14,00	14,10	94,96	17.09.2013
BK 16 - 2	14,00	13,95	94,79	18.09.2013
BK 17 - 2	13,70	13,64	95,25	30.09.2013
BK 23 - 2	13,50	13,50	93,86	26.09.2013

Mit der Kernbohrung S/B 54 aus 2010 und den Kernbohrungen aus 2013 ist der Grundwasserstand bei 96,38 m NN (5,90 m unter Gelände) zwischen 93,86 und 95,25 m NHN eingemessen worden. Die erkundeten aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese sind überwiegend gut wasserdurchlässig. Die mit der Kernbohrung angetroffenen Mainterrassen weisen oberhalb des GW-Spiegels eine gute Durchlässigkeit auf, die aufgefüllten Tone sind prinzipiell schwach bis sehr schwach durchlässig. Bei den anstehenden Tonen handelt es sich vermutlich überwiegend um engbegrenzte Tonlinsen, die bei der Versickerung nur eine untergeordnete Rolle spielen. Generell ist von einer guten Versickerungsfähigkeit der aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese auszugehen.

Für den Ersatzneubau der EÜ Golfstraße bei km 2,600 werden seit dem 01.12.2011 Grundwassermessungen durchgeführt. Zwischen dem 01.12.2011 und 30.10.2013 wurden folgende statistische Werte ermittelt:

- Niedrigster Grundwasserstand: 94,462 m üNN
- Höchster Grundwasserstand: 95,061 m üNN

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 Grund-

wassermessstellen entlang der Bahntrasse abgefragt (/U 6/ und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese sind nachrichtlich in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Wasserstände zu Grundwassermessstellen

Messstelle	Rechtswert	Hochwert	GOK [m NHN]	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 Grundwasserhöhengleichenplanes vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie /U 6/ fällt der Grundwasserhorizont von ca. 95 m NN auf 92,5 m NN Richtung Main hin ab.

Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand für den Bauzustand in Abhängigkeit der festgestellten Ergebnisse aus den Erkundungen zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1,00 m bei 97,4 m NHN anzusetzen.

Der Bemessungswasserstand für den Endzustand ergibt sich aus den Vorgaben der Unteren Wasserbehörde /U 20/ die Grundwasserstände aus dem Grundwasserhöhenplan von 1884 für die Planung zu Grunde zu legen. Daraus ergibt sich ein Bemessungswasserstand von 100,0 m NHN.

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 das Projekt Umbau Knoten Frankfurt(M)-Sportfeld ein einheitliches Schichtenmodell entwickelt. Dabei wurden Böden mit annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften in Schichten zusammengefasst. In Abhängigkeit der erkundeten Bodenschichten des jeweiligen Teilobjektes ist eine Durchnummerierung nicht immer möglich.



Schicht 1: **Auffüllung, rollig, nichtbindig** Mächtigkeit: 0,50 m - 6,00 m

- Fein- bis Mittelsand, schwach schluffig, kiesig, Schlacke, Beton- und Ziegelbruch, steinig, Schwarzdecken, Magerbeton
- Kies, stark sandig bis sandig, schwach schluffig, weitgestuft, Steine, Schlacke und Beton-, Ziegelreste Mauerwerk
- lockere Lagerung (**Schicht 1.2.1, 1.4.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2, 1.4.2**)
dichte Lagerung (**Schicht 1.4.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SE, SW SU, GW, GU]**

Auffüllung, rollig, gemischtkörnig Mächtigkeit: 1,50 m

- Sand, schluffig, stark steinig, Beton- und Ziegelbruch, Schwarzdecken
- Kies, sandig, schluffig, schwach tonig
- lockere Lagerung (**Schicht 1.3.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.3.2**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SU*, GU*]**

Auffüllung, reiner Bauschutt Mächtigkeit: 0,60 m - 11,10 m

- Beton- und Ziegelbruch, Schwarzdecken, Kunststoffe, Kalkreste
- lockere Lagerung (**Schicht 1.1.1**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[A]**

Schicht 2: **Oberboden, Mutterboden**

- nicht erkundet

Schicht 3: **Löss**

- nicht erkundet

Schicht 4: **Lößlehm**

- nicht erkundet

Schicht 5: **Hochflutsande**

- nicht erkundet



Schicht 6: Hochflutlehm

- nicht erkundet

Auffüllung, bindig Mächtigkeit: 1,30 m - 1,40 m

- Ton, leicht- bis ausgeprägt plastisch, schluffig, schwachsandig bis sandig, schwach bis stark kiesig, Betonreste, Ziegelbruch
Sand, tonig, mit Plastizität (m. P.)
- weiche Konsistenz (**Schicht 1.6.2**)
steife/halfeste Konsistenz (**Schicht 1.6.3**)
halfeste Konsistenz (**Schicht 1.6.4**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[TL, TA, ST*_{m,p.}]**

Schicht 6: Hochflutlehm

- Ton, leicht- bis ausgeprägt plastisch, schwach schluffig, stark sandig
- steife/halfeste Konsistenz (**Schicht 6.1.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **TL, TA**

Schicht 10: Terrassensand /-kies

Mächtigkeit: bis Bohrende

- Fein-/Grobsand, eng-, weit- bis intermittierend gestuft, schwach schluffig bis schluffig, schwach tonig, schwach bis stark kiesig, schwach steinig, Sandsteinbruch, Gerölle d > 0,10 m
- Mittelkies, weitgestuft, schwach schluffig, stark sandig, Sandsteinbruch, Gerölle d > 0,10 m
- lockere Lagerung (**Schicht 10.1.1**)
mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.1.2**)
dichte Lagerung (**Schicht 10.1.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SI, SW, SU, ST, GW, GU, SU***

2.6 Bodenrechenwerte

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

Tabelle 5a: Bodenrechenwerte

Bodenart	Auffüllung, rollig				Auffüllung, gemischt	
Bodengruppe nach DIN 18196	{SE, SU, SW}	{SE, SU, SW}	{GW, GU}	{GW}	{SU*}	{SU*}
Schicht-Nr.	1.2.1	1.2.2	1.4.1	1.4.2	1.3.1	1.3.2



Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	locker	mitteldicht	locker	mitteldicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	32,5	30,0	30,0	29,0	30,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	16,5	17,5	16,5	17,5	17,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	10,0	9,0	10,0	9,0	10,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	20,0	12,0	30,0	8,0	15,0

Bodenart	Bauschutt	Auffüllung, rollig				
Bodengruppe nach DIN 18196	[A]	[SE, SW SU, GW, GU]				
Schicht-Nr.	1.1.1	1.2.1	1.2.2	1.4.1	1.4.2	1.4.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	locker	mitteldicht	locker	mitteldicht	dicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	30,0	30,0	32,5	30,0	32,5	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	18,0	16,5	17,5	16,5	17,5	18,5
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	9,0	10,0	9,0	10,0	11,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	10,0	10,0	20,0	12,0	30,0	45,0

Tabelle 5b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Auffüllung, bindig			Terrassenablagerungen	
Bodengruppe nach DIN 18196	[ST* _{m.p.}]	[FL]	[FA]	SE, SW, St,	SE, SW, St,
Schicht-Nr.	1.6.2	1.6.3	1.7.4	10.1.2	10.1.3
Konsistenz, Lagerungsdichte	weich	steif	halbfest	mitteldicht	dicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	20,0	22,5	17,5	32,5	35,0
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	3,0	5,0	12,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	18,5	19,5	20,0	17,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	8,5	9,5	10,0	9,5	10,5
Steifemodul	5,0	8,0	12,0	45	75



$E_{s,k}$ [MN/m ²]				ab 5 m ¹⁾ : 75 ab 10 m ¹⁾ : 120	ab 5 m ¹⁾ : 120 ab 10 m ¹⁾ : 190
--------------------------------	--	--	--	--	---

Bodenart	Auffüllung, gemischt		Auffüllung, bindig		
	[SU*], [GU*]		[ST* _{m,p.}], [TL], [TA]		
Schicht-Nr.	1.3.1	1.3.2	1.6.2	1.6.3	1.6.4
Bodengruppe nach DIN 18196					
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	weich	steif-halbfest	halbfest-fest
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	29,0	30,0	20,0	22,5	17,5
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	1,0	1,0	3,0	5,0	12,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	17,0	18,0	18,5	19,5	20,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	9,0	10,0	8,5	9,5	10,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	8,0	15,0	5,0	8,0	12,0

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

Tabelle 5c: Bodenrechenwerte

Bodenart	Hochflutlehm	Terrassenablagerungen			
	TL, TA	SE, SI, SW, SU, ST, GW, GU			SU*
Schicht-Nr.	6.1.3	10.1.1	10.1.2	10.1.3	10.1.6
Bodengruppe nach DIN 18196					
Konsistenz, Lagerungsdichte	steif-halbfest	locker	mitteldicht	dicht	dicht
wirks. Reibungswinkel φ_k' [Grad]	20,0	30,0	32,5	35,0	32,5
wirks. Kohäsion c_k' [kN/m ²]	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m ³]	18,5	16,0	17,0	18,0	19,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	8,0	8,5	9,5	10,5	11,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m ²]	9 ab 5 m ¹⁾ : 13 ab 10 m ¹⁾ : 17	25 ab 5 m ¹⁾ : 40 ab 10 m ¹⁾ : 60	45 ab 5 m ¹⁾ : 75 ab 10 m ¹⁾ : 120	75 ab 5 m ¹⁾ : 120 ab 10 m ¹⁾ : 190	65 ab 5 m ¹⁾ : 100 ab 10 m ¹⁾ : 160

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

3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen

3.1 Allgemeines

Im Rahmen des Umbaus Knoten Frankfurt(Main)-Sportfeld sind zwei zusätzliche Fernverkehrsgleise geplant. Diesbezüglich muss im Abschnitt km ~~31,850—km 32,450~~ 3,360 - km 2,740 der neu geplanten Strecke ~~4010~~ 3657 ein Einschnitt bahnrechts der Bestandsstrecke 3520 erstellt werden. Gemäß der Vorplanung /U 2/ ist ein Einschnitt als „Rampe“ bis zum neuen Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck vorgesehen. Querschnitte im Bereich der neu zu planenden Strecke lagen zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung nicht vor. Der tiefste Punkt der Strecke bei km ~~32,450~~ 2,745 wurde in Anlehnung an den Bereich des Kreuzungsbauwerks Gleisdreieck mit einer Tiefe ab Schienenoberkante der Strecke ~~4010 bei 102,20~~ 3657 bei 101,18 m NHN angenommen. Laut Vorplanung /U 2/ ist eine Abböschung der ~~Einschnittsflanken~~ ~~Einschnittsböschungen~~ bahnrechts und bahnlinks ohne Stützmauer geplant.

3.2 Erdbauwerk - Einschnitt

Aus den bahnrechten Baugrundprofilen ~~der Strecke 3520~~ im Bereich des geplanten Einschnittes ist ersichtlich, dass der Baugrund überwiegend aus locker ~~bis mitteldicht~~, ~~vereinzelt mitteldicht bis dicht~~ gelagerten sandigen und kiesigen, zum Teil auch aus weichen bis halbfesten Auffüllungen besteht. Darunter folgen die anstehenden mitteldicht bis dicht gelagerten Sande der Mainterrassen (Schicht 10), in die vereinzelt Hochflutlehme (Schicht 6) eingeschaltet sind. Aus der Historie ist bekannt, dass der gesamte Bereich des Parkplatzes im Bereich des Gleisdreieckes mehrere Meter mächtig aufgefüllt ist. Die Auffüllungen bestehen unter anderem aus Betonbruchstücken, Ziegelresten, Bauschutt allgemein und auch Schwarzdeckenaufbruch, die sehr heterogen mit Bodenbestandteilen vermischt sind.

Bedingt durch die überwiegend lockere Lagerung im geplanten Böschungsbereich ist nach Ril 836.4102 Seite 3 die Überprüfung der rechnerischen Standsicherheit der geplanten Böschungen notwendig. Rechnerisch wurde die Standsicherheit der Böschungen beispielhaft am Profil km 32,3+50 nachgewiesen. Die Berechnung ist in Anlage 17.5.7. eingefügt. Die Berechnung zeigt nur ggf. auftretende Hautrutschungen an. Es bildet sich kein Gleitkreis aus.

Für eine Vereinheitlichung der Böschungsverhältnisse schlagen wir einen breiteren Böschungsabtrag als in der Vorplanung vorgesehen, von 1,00 m vor, mit einem nachträglichen Wiedereinbau mit entsprechendem Bodenmaterial zur Böschungsprofilierung.

~~Bei dem Erstellen des Einschnittes sind die Böschungen gemäß den Forderungen der Ril 836.0506, Bild 2 auszubilden.~~

Durch die mächtigen Auffüllungen mit Bauschutt, kommt das Planum der neuen Gleislage auch in diesen Auffüllungen zu liegen. Wir empfehlen hier einen 0,50 m tieferen Aushub und Herstellung des Planums durch Bodenaustausch mit dem unten vorgeschlagenen Schüttmaterials in Abhängigkeit des vorgefundenen Bodenmaterials während der Bauphase.

~~Die Böschungsprofilierungen und Entwässerung des Einschnittes sind nach den Regeln der Ril 836 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und der ZTVE StB 09 Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. herzustellen.~~

Die Einschnittsböschungen sind gemäß den Forderungen der Ril 836.4102A01, Bild 1 auszubilden. Des Weiteren sind die Böschungsprofilierung und Entwässerung des Einschnittes nach den Regeln der Ril 836 /U 15/ und der ZTVE-StB 09 herzustellen. Wir empfehlen für die Böschungsherstellung in Anlehnung an die Ril 836.4102A01, Bild 1 die Verwendung von grobkörnigen Böden als Schüttmaterial.

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

3.2.1 Hinweise zur Böschungsherstellung

- Bewuchsbeseitigung und Abtragung Oberboden
- Herstellung einer abgetrepten Böschungfläche an den herzustellenden Böschungsflächen, die Stufen der Abtreppungen sollten eine Höhe von ca. 60 cm haben und ein nach außen geneigtes Gefälle von 5 % aufweisen
- Herstellung eines Bahngrabens oder einer entsprechenden Entwässerung
- 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 Böschungsfuß in Anlehnung gemäß ~~Ril 836.0501 Bild 2 und Bild A1.9, abweichend von dem in Bild A1.9 geforderten Verdichtungsgrad $D_{Pr} \geq 0,97$~~ Ril 836.4101A02 empfehlen wir eine Proctordichte $D_{Pr} \geq 0,98$.
- Prüfung des Verdichtungsgrades, Prüfmethode und Prüfumfang analog ZTVE-StB bzw. ~~Ril 836.0501 Bild 1~~ Ril 836.4101A01 Tabelle 2.

- Bepflanzen der Böschungen (Biologische Sicherungsmaßnahmen). Dies erhöht primär die Dauerhaftigkeit von Erdkörpern, ~~indem sie:~~
 - ~~– Oberflächen vor Erosion schützen;~~
 - ~~– Oberflächen durch ihre Wurzeln und das entstehende Bodenleben mechanisch stabilisieren;~~
 - ~~– Hänge und Böschungen entwässern;~~
 - ~~– abrupte Temperaturwechsel (z.B. infolge des Wechsels von Regen und Sonne) auf Oberflächen verhindern;~~
 - ~~– die Eindringtiefe von Frost verringern;~~
 - ~~– ein Herabrutschen loser Stoffe (z.B. Geröll oder Schnee) erschweren oder verhindern und~~
 - ~~– Oberflächen vor einer Entfestigung durch Austrocknen schützen;~~
 - ~~– Als Nebeneffekt dienen sie als Wind-, Schnee-, Blend-, Sicht- und Lärmschutz sowie~~
 - ~~– als Einfriedung, bieten sie Lebensraum für Tiere und Pflanzen, verbessern sie die~~
 - ~~– Eingliederung der Bahnanlage in die natürliche Landschaft.~~
- Grundsätzlich ist eine Oberbodenandeckung einer oberbodenlosen Begrünung vorzuziehen. Die Oberbodendecke soll mindestens 10 cm dick, besser aber 20 cm dick sein und bei Einschnitten bis zur Außenkante der Bahngrabensohle reichen.
- Zur biologischen Sicherung von Oberflächen von Erdkörpern sollen flächig wirkende Ansaaten (Trockenansaat, Nassansaat, Saattatten), Bauweisen mit Pflanzen (z.B. Gehölzpflanzungen, Heckenlagen) oder Bauweisen mit Pflanzenteilen (z.B. Steckhölzer, Zweiglagen, Faschinen, Buschmatratzen) eingesetzt werden.

3.3 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 16/ 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 1,00 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

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

Tabelle 6: Versickerungsfähigkeit von Böden nach DWA-A 138

Boden	Schicht	k_f -Werte [m/s]	$k_{f,korr}$ -Werte [m/s]	Versickerungsfähigkeit
Auffüllung (Sand/Kies), rollig	1.2.1, 1.2.2, 1.4.1, 1.4.2	$3,6 \cdot 10^{-5}$ $1,2 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$ $2,4 \cdot 10^{-5}$	Versickerungsfähig bis bedingt versickerungsfähig
Auffüllung (Sand), gemischtkörnig	1.3.1, 1.3.2	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	bedingt versickerungsfähig
Auffüllung (Ton) bindig	1.6.2, 1.6.3, 1.6.4	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	nicht versickerungsfähig
Hochflutlehm (Ton)	6.1.3	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	nicht versickerungsfähig
Terrasse (Sand/Kies), rollig	10.1.1, 10.1.2, 10.1.3	$1,9 \dots 7,1 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-5} \dots 1,4 \cdot 10^{-4}$	versickerungsfähig

Mit den ausgeführten Aufschlüssen wurden im Untergrund aufgefüllte und anstehende Böden mit unterschiedlich hohem Feinkornanteil erkundet. Die Versickerungsfähigkeit der einzelnen Schichten kann der Tabelle 6 entnommen werden.

Im vorliegenden Fall besitzen die über dem Grundwasser erkundeten, aufgefüllten und anstehenden Sande und Kiese der Bodengruppen [SW, SE, SU, GW, GU] k_f -Werte $>10^{-6}$ m/s und sind gemäß DWA-A 138 ausreichend versickerungsfähig. Die gemischtkörnigen Auffüllungen der Bodengruppen [GU*, SU*, ST*] sowie teilweise [SU] sind nur bedingt versickerungsfähig, da ihr k_f -Werte im Grenzbereich von 10^{-6} m/s liegt.

Die aufgefüllten und anstehenden Tone [FM, TL, TA] sowie TA, TL sind nach DWA-A 138 nicht versickerungsfähig. Die Terrassensande sind prinzipiell versickerungsfähig, mit Ausnahme der anstehenden schluffigen Sande (SU*).

Grundwasser wurde mit den Erkundungen im Bereich der Auffüllungen nicht erkundet. Erst in einer Tiefe von ca. 5,90 m unter SO der geplanten Strecke 4010 wurde Grundwasser im Anstehenden wurde mit der Kernbohrung S/B 54 aus 2010 und den Kernbohrungen aus 2013 der



Grundwasserstand zwischen 93,86 und 96,38 m NHN angetroffen. Der höchste Grundwasserstand (Bemessungswasserstand) für den Bauzustand wurde auch unter Berücksichtigung des Gutachtens Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck mit 97,4 m NHN angegeben. Für den Endzustand ist ein Bemessungswasserstand von 98,0 m NHN auf Grund der Vorgaben der Unteren Wasserbehörde anzusetzen.

~~Wir gehen davon aus, dass im Rahmen der Einschnittherstellung kein negativer Einfluss des Grundwassers eintritt. Eine Wasserhaltung ist in diesem Fall nicht erforderlich. Beim Anschneiden von aufgefüllten schluffigen bzw. tonigen Sanden sowie aufgefüllten Tonen (Schicht 1.3.1, 1.3.2, 1.6.3, 1.7.4) ist mit Stau bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Dieses Wasser kann mit einer temporären Wasserhaltung gefasst werden.~~

Ausgehend von den erkundeten Grundwasserständen hat das Grundwasser bei der Herstellung des Einschnitts keinen Einfluss.

Fazit:

Im Bereich der Bohrpunkte ist eine Versickerung von nicht belastetem Niederschlagswasser gemäß DWA-A 138 möglich. Die mit der Einschnittsböschung angeschnittenen, aufgefüllten Tone können als Schicht- bzw. Stauwasserleiter fungieren. Durch das Austreten von Wässern im Bereich der Böschung, kann es zu Erosionen im Bereich der Böschung kommen. Die Erosionsgefahr wird durch den vorgeschlagenen Einbau des grobkörnigen Materials zur Böschungsprofilierung beseitigt. ~~Durch den vorgeschlagenen abschnittsweisen Einbau von KG 1 Materials im Bereich des Einschnittes, sind entsprechende Entwässerungsanlagen zu planen und einzubauen.~~ Anfallendes Wasser aus den Böschungen und dem Bereich mit eingebauter KG 1 Schutzschicht ist zu sammeln und kontrolliert einer Vorflut, Versickerung oder aber einem Abflusssystem zuzuleiten.

3.4 Einfluss auf angrenzende Bebauung

Eine direkte angrenzende Bebauung ist nicht vorhanden. Je nach Bauablauf ist zu prüfen, in wie weit es zu Beeinflussungen durch den gleichzeitigen Bau des Kreuzungsbauwerkes kommt.

3.5 Tragschichtsystem

3.5.1 Anforderungen an das Tragschichtsystem

Die neuen Fernverkehrsgleise der Strecke ~~4010 werden gemäß /U 13/ 3657~~ werden gemäß /U 15/in das Kriterium „Neubau“ und die ~~Streckenategorie P160 gemäß Ril 836.0501 Bild 2~~ 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 ~~836.0501, Bild 3~~–836.4101A04 dem Frosteinwirkungsgebiet I zuzuordnen. Gemäß Modul ~~836.0501 Bild 3 und Bild A 1.9~~ 836.4101A01 Tabelle 1 und Tabelle 2 ergeben sich die in Tabelle 7 dargestellten Anforderungen an das Tragschichtsystem.

Tabelle 7: ~~Regelanforderungen an den Unterbau unter Gleisen~~

Streckenategorie Oberbau	Neubau P-160 Schotter
OKTS = Oberkante Tragschicht (alt: Planum)	$E_{v2} \geq 100 \text{ MN/m}^2$ $E_{vd} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ $D_{pr} \geq 1,00$
Planum (alt: Erdplanum)	$E_{v2} \geq 60 \text{ MN/m}^2$ $E_{vd} \geq 35 / 30 \text{ MN/m}^2$^{*)} $D_{pr} \geq 0,97$^{**)}
Regeldicke der Schutzschicht für Frosteinwirkungsgebiet I	40 cm

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

~~**) Empfehlung $D_{pr} \geq 0,98$;~~

Tabelle 8: 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) 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 $D_{Pr} \geq 0,98$

3.5.2 Bemessung des Tragschichtsystems

Ausgehend von dem Regelquerschnitt

- 0,20 m Schiene
- 0,20 m Schwelle
- 0,30 m Schotter (Regeldicke Bettung)

liegt die Oberfläche Tragschicht (OFTS) = Unterkante (UK) Schotter bei 0,7 m unter SO der neu geplanten Strecke ~~4010~~ 3657.

Die für die Bemessung des Tragschichtsystems maßgebende Bodenart ist der aufgefüllte Boden. Da zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung nur einzelne Querschnitte vorlagen, wurde in Abhängigkeit der angegebenen Schienenoberkanten ein Rampenniveau angenommen. Als Hochpunkt wurde die Höhe 108,68 m NHN der Erkundung S/RKS 26 bei km 31,808 der Strecke 3520 und als Tiefpunkt die NHN Höhe der SO im Schnitt für das Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck mit ~~102,20~~ 101,81 m NHN bei ca. km 32,450 der Strecke 3520 angenommen.

Bei den nachfolgenden Bemessungen des Tragschichtsystems sind wir von der oben beschriebenen Ermittlung der geplanten 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.

3.5.2.1 Teilabschnitt 1 km ~~31,850~~—~~km 32,200~~ 3,360 – km 2,950

Ausgangssituation:



maßgebende Bodenart	Kies, Sand
Bodengruppe nach DIN 18196	{GU, SE, SU}
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 94	F2 {GU, SU}
Hydrologischer Fall nach Ril 836.0503	1
Streckenkatgorie	P160
Berechnungsmodul E_H [MN/m²] nach Ril 836.0503, Bild A1.1	50 MN/m²

maßgebende Bodenart	Auffüllungen, Kies, Sand, schwach schluffig, enggestuft
Bodengruppe nach DIN 18196	[GU, SE, SU]
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F1-2
Hydrologischer Fall nach Ril 836.4101A05	1
Berechnungsmodul E_H [MN/m²] nach Ril 836.4101A05, Bild A 5.1	50 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: $E_{v2}=100 \text{ MN/m}^2$; $E_{vd}=45 \text{ MN/m}^2$	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: $E_{v2}=45 \text{ MN/m}^2$; $E_{vd}=30 \text{ MN/m}^2$	eingehalten, nach Nachverdichtung

Bemessung:

angesetzter Berechnungsmodul E_H	50 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	0,50 m



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

Minstdicke 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.

Folgerung:

Da in Höhe Planum aufgefüllter Boden (Sand und Kies; F1 und F2) mit heterogen verteiltem Kriegsschutt ansteht, ist aus geotechnischer Sicht die Dimensionierung der Schutzschicht auf Tragfähigkeit und Frostsicherheit nicht maßgebend. Die Schutzschicht wird bezogen auf die ~~Tragfähigkeit bemessen und mit 50 cm Vereinheitlichung des Baugrundes bemessen und mit 30 cm~~ als ausreichend angesehen, was unsere Erfahrungen bestätigen ~~und zu einer Vereinheitlichung des Baugrundes beiträgt~~. Aus geotechnischer Sicht sind folgende weitere Maßnahmen erforderlich:

- Einbau einer ~~0,40~~ 0,30 m dicken Schutzschicht aus KG 2, einlagiger Einbau
- Prüfung der Tragfähigkeit und Dichte auf der OFTS gemäß Tabelle 7
- Einbau des neuen Schotteroberbaues
- ~~— Prüfung der Tragfähigkeit und Verdichtung des Planums nach Tabelle 7~~

3.5.2.2 Teilabschnitt 2 km ~~32,200~~—~~km 32,450~~ 2,950 – km 2,740

Ausgangssituation:

maßgebende Bodenart	Auffüllungen, schluffier Sand, Kies, leichtplastischer Ton
Bodengruppe nach DIN 18196	[SU*], [GU*], [TL]
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 94	F 3
Hydrologischer Fall nach Ril 836.4101A05	1/2

Berechnungsmodul E_H [MN/m²] nach Ril 836.4101A05; Bild A 5.1	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	nicht eingehalten

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

Minstdicke Schutzschicht	0,70 m
--------------------------	--------

Schutzschicht auf Tragfähigkeit in Anlehnung an Ril 836.4101A05, Bild A 5.2 und Erfahrungen mit Übergangsschicht (0,40 m und 0,30 m)

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~~ 70 cm (einschließlich Übergangsschicht) als ausreichend angesehen, was unsere Erfahrungen bestätigen. Aus geotechnischer Sicht sind folgende weitere Maßnahmen erforderlich:

- Einbau einer 0,40 m dicken Übergangsschicht aus KG 1, zweilagiger Einbau
- Einbau einer ~~0,40~~ 0,30 m dicken Schutzschicht aus KG ~~2~~ 1, ~~zweilagiger~~ einlagiger Einbau
- Prüfung der Tragfähigkeit und Dichte auf der OFTS gemäß Tabelle 7
- Einbau des neuen Schotteroberbaues

Zusammenstellung der Ergebnisse – Übersicht Tragschichteinbau

Tabelle 9: Zusammenstellung der Ergebnisse

Teilbereich	km von... bis	Schutzschichtdicke KG-2	Übergangsschichtdicke KG-2	Bemerkung
Teilbereich 1	31,850 32,200	0,40 m	—	auf Tragfähigkeit
Teilbereich 2	32,200 32,450	0,40 m	0,40 m	auf Tragfähigkeit

Teilbereich	km von... bis	Schutzschichtdicke		Übergangsschichtdicke		Bemerkung
		KG 2	KG 1	KG 2	KG 1	
Teilbereich 1	3,360-2,950	0,30 m	---	---	---	---
Teilbereich 2	2,950-2,740	---	0,30 m	---	0,40 m	auf Tragfähigkeit

3.5.3 Materialanforderungen an die Tragschicht

Der Einbau eines Korngemisches KG 2 als Schutzschicht und Übergangsschicht wird empfohlen. Das Korngemisch muss die Güteanforderungen der DBS 918 062 /U 12/ erfüllen:

Abschnittsweise wird der Einbau eines Korngemisches KG 2 bei versickerungsfähigen Böden und KG 1 bei nicht versickerungsfähigen Böden als Schutzschicht bzw. Übergangsschicht empfohlen. Die jeweiligen Korngemische müssen die Güteanforderungen der DBS 918 062 /U 12/ erfüllen.

3.5.4 Abnahmekriterien

Die für die Bauausführung erforderlichen Abnahmekriterien an die Oberfläche Tragschicht (OFTS) und das Planum in den Teilbereichen 1 ergeben sich aus den Regelanforderungen der Ril ~~836.0501, Bild A1-9~~ 836.4101A01 Tabelle 2 (Abschnitt 3.5).

Aufgrund der im Teilbereich 2 - vorgeschlagenen Bemessung der Schutzschicht (ohne Übergangsschicht), ist hier die Prüfung des Planums nach Tabelle 7 nicht anwendbar. Die Abnahmen beschränken sich daher im Wesentlichen auf die Oberfläche Tragschicht (OFTS) entsprechend Tabelle 7. Eine Tragfähigkeits- oder Dichtepfung auf dem Planum erfolgt hier nicht.

3.6 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen

In erster Linie fallen bei den Aushubmassen Bauschutt an. Die bei der Herstellung des Einschnittes anfallenden Erdmassen stellen sandige und kiesige sowie tonige Auffüllungen dar, darüber hinaus Oberboden im Erstellungsbereich des Einschnittes. Diese Böden sind gemäß Ril 836, Modul 836.0504, Bild 2 als Hinterfüllmaterial nicht geeignet. Bis auf den Oberboden und die bindigen Schichten können sie jedoch in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o.ä. eingesetzt werden.

Fremdbestandteile wie Wurzeln, Bauschutt, Schlacke o.ä. sowie der Oberboden und die tonigen Schichten 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 Untersuchungen ~~werden in einem gesonderten Bericht dargestellt und erläutert~~ wurden in das BoVEK Feinkonzept; Umbau Knoten Frankfurt (Main) - Sportfeld 2. BA; Standort 4.1.64 Frankfurt Luisa; erstellt durch FRI-M-S im April 2014, eingearbeitet.

4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse und deren Bewertung für einen Einschnitt auf der neu geplanten Strecke ~~4010 3657~~ im Rahmen des Projektes Umbau des Knotens Frankfurt(M)-Sportfeld, 2. Ausbaustufe dargestellt.

Der Untersuchungsbereich, innerhalb dessen die neue Strecke ~~4010 3657~~ (km 3,360 - km 2,740) über eine abfallende Gradienten unter dem Kreuzungsbauwerk Gleisdreieck hindurch geführt werden soll, erstreckt sich bahnrechts der Bestandsstrecke 3520 von km 31,850 - km

32,450. Die Untersuchungen beziehen sich auf die Ermittlung der Eigenschaften der aufgefüllten und anstehenden Böden zur Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Ausbildung des erforderlichen Einschnitts. Die Herstellung der Böschungen wurde erläutert.

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

Der Baugrund besteht unter dem ~~erkundeten 0,10 m bis 0,30 m mächtigen~~ aufgefüllten Mutterboden aus rolligen bis bindigen Auffüllungen in Form von ~~eng bis weitgestufte und schwach schluffigen bis schluffigen vereinzelt tonigen~~ **Fein- bis Mittelsanden** und ~~Darüber hinaus wurden auch weitgestufte sowie schwach schluffige, sandige~~ **Kiesen**. Die bindigen Auffüllungen bestehen aus leicht bis ausgeprägt plastischen **Tonen**. Alle Kleinrammbohrungen von 3,00 m bis maximal 10,00 m Erkundungstiefe enden in den Auffüllungen. ~~Im Bereich der S/B 54 wurde unter dem Ansatzpunkt 1,20 m mächtige rollige Auffüllungen erkundet.~~ In mehreren Bohrungen bestehen die Auffüllungen meist bis zu einer Teufe von 11,20 m (BK 17-2) vollständig aus **Bauschutt**. Darunter folgen mitteldicht bis dicht gelagerte Terrassensande als anstehender Boden in den vereinzelt Hochflutlehme eingelagert sind.

~~Das Grundwasser wurde nur mit der Kernbohrungen S/B 54 bei 5,90 m unter Gelände angeschnitten. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand bei ca. 97,4 m NN anzunehmen.~~

Das Grundwasser wurde nur mit den tieferen Kernbohrungen zwischen 93,86 und 96,38 m NHN eingemessen worden. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand für den Bauzustand bei ca. 97,4 m NHN und in Abhängigkeit der Vorgaben der Unteren Wasserbehörde für den Endzustand bei ca. 100,0 m NHN anzunehmen.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen ist durch den starken heterogenen Aufbau der Auffüllungen nicht mit einheitlichen Bodenkenverhältnisse zu rechnen. Zur Vereinheitlichung des Böschungsaufbaues, sollte ein größerer Einschnitt angelegt werden, bei dem die Böschungsränder ~~und im Bereichen mit ausschließlich Kriegsschutt~~, mit einem einheitlichen Kies-/Sandgemisch aufgebaut werden können. Entsprechende Sicherungen der Böschungen gegen Erosion sind zu planen.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen und den getroffenen Annahmen ist für den Teilbereich 1 der Einbau einer ~~40~~ 30 cm dicken Schutzschicht mit einem KG 2 Material vorzunehmen.

Für den Teilbereich 2 ist aufgrund der hohen Anforderungen für den Neubau von Gleisen der Einbau einer ~~40~~ 30 cm dicken Schutzschicht auf einer 40 cm dicken Übergangsschicht mit ei-



nem KG ~~2~~ 1 Material auf den vorhandenen Auffüllungen erforderlich. Das ~~KG 2~~—Material Schutzschichtmaterial 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 Lage und die Ausdehnung des Erdbauwerkes haben können.

aufgestellt:

Dipl.-Geol. U. Tang