



**DB** Mobility  
Networks  
Logistics

**UNGÜLTIG**

Anlage entfällt  
ersatzlos

Anlage 17.4

DB International GmbH  
Baigrund  
Bereich West / Südwest  
Büro Frankfurt am Main  
Oskar-Sommer-Straße 15  
60596 Frankfurt am Main  
Tel. 069 6319-176  
Fax 069 6319-118

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

## Geotechnischer Bericht

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

Teilobjekt: Stützwand (Dammverbreiterung) km 76,650 - km 77,050

Leistungsphase: Entwurfsplanung

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

Auftragsnummer: PF 3 0368 01

Bearbeiter: Dipl.-Geol. Ch. Josenhans

Dieser geotechnische Bericht umfasst 26 Seiten und 8 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, 02.03.2011

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

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

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1	Unterlagen	4
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	5
1.3	Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen	5
<b>2</b>	<b>Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse</b>	<b>7</b>
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	7
2.2	Geologische Situation	8
2.3	Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	9
2.4	Hydrologische Verhältnisse	11
2.5	Baugrundmodell	12
2.6	Bodenrechenwerte	13
2.7	Beton- und Stahlaggressivität des Bodens	14
2.8	Erdbebeneinwirkung	15
2.9	Rammfähigkeit des Untergrundes	15
<b>3</b>	<b>Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen</b>	<b>17</b>
3.1	Allgemeines	17
3.2	Flachgründung	17
3.3	Baugrubensicherung und Wasserhaltung	19
3.4	Verankerung	20
3.5	Entwässerung / Versickerungsfähigkeit	22
3.6	Einfluss auf angrenzende Bebauung	23
3.7	Ausbildung der Hinterfüllung / Dammverbreiterung	24
3.8	Tragschichtsystem	25
3.9	Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	25
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung / Schlussbemerkungen</b>	<b>26</b>

## Anlagenverzeichnis

Anlage 17.4.1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 17.4.2	Lage- und Aufschlusspläne	1 Blatt
Anlage 17.4.3	Bohr-/Sondierprofile und Rammdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.4.4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 17.4.4.1	Körnungslinien	4 Blatt
Anlage 17.4.4.2	Beton- und Stahlaggressivität des Bodens	5 Blatt
Anlage 17.4.5	Fundament-/Setzungsdiagramme	1 Blatt
Anlage 17.4.6	Kampfmittelfreimessung	1 Blatt
Anlage 17.4.7	Fotodokumentation	2 Blatt
Anlage 17.4.8	Ergänzende Stellungnahmen	17 Blatt

## 1 Einleitung

### 1.1 Unterlagen

Zur Ausarbeitung dieses Geotechnischen Berichtes standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /U 1/ Bestellung 0086/VEW/22669874 vom 10.08.2010 zum Vertrag 0016/RA8/92166128 vom 06.08.2010 auf Grundlage unseres Angebotes ID30616 vom 19.07.2010.
- /U 2/ Vorplanung Lagepläne LP21A, 22A, 23A, 04A und 05A, von DB ProjektBau GmbH, Stand: Juli 2004 / Okt. 2009 / Aug. 2010.
- /U 3/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Umweltgeotechnik GmbH, Jan. 2011.
- /U 4/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, Jan. 2011.
- /U 5/ Geologische Karte von Hessen, Blatt 5917 Kelsterbach, 3. neu bearbeitete Auflage, Maßstab 1:25.000; Herausgeber: Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1980.
- /U 6/ Hydrologisches Kartenwerk, Hessische Rhein- und Mainebene, Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Maßstab 1:50.000, Stand: 10/2009.
- /U 7/ Datenauszug zu Grundwassermessstellen vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und der HESSENWASSER GMBH & CO. KG - MONITORING UND GRUNDWASSERMESSTELLEN, Stand: Sept. 2010.
- /U 8/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 01.10.2008.
- /U 9/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2007.
- /U 10/ EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2006.
- /U 11/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ Stand: 05/2005.
- /U 12/ ZTVE-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Fassung 2009.
- /U 13/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnfahrwegen, Juli 2007.
- /U 14/ Programm „GGU-FOOTING“, Berechnungen von Fundamenten nach DIN 4017 und DIN 4019 bzw. DIN 1054, Version 6.25, 16.06.2010, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Johann Buß.
- /U 15/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Witt, K. J., Verlag Ernst & Sohn, 2009.

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<sup>plus</sup>. 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 Adolf - Miersch - Straße und Goldsteinstraße wird der bahnrechte Bestandsdamm für die neuen Streckengleise der Strecke 4010 verbreitert. Infolge unzureichender Platzverhältnisse im Bereich der EÜ Goldsteinstraße und den angrenzenden Kleingartenanlagen muss der entstehende Geländesprung hier mit einer Stützwand gesichert werden.

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

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

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse für den Brückenneubau dargestellt und bewertet. Die abfalltechnische Beurteilung erfolgt in einem separaten Bericht.

## 1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen

Während des Streckenbegangs durch Mitarbeiter der DB International GmbH vom 06.-08.10.2010 wurden durch die Fa. Geolog die Ansatzpunkte der Kernbohrungen und der Rammsondierungen nach Vorgabe des RP Darmstadt auf Kampfmittelverdacht hin untersucht und freigemessen. Das Freimessprotokoll der Radarmessungen ist in Anlage 17.4.6 beigelegt.

Die Aufschlussarbeiten wurden durch die Firma Umweltgeotechnik GmbH am 05.01.2011 ausgeführt.

Unter Berücksichtigung der neuen Trassenführung wurden im Bereich der geplanten Stützwand und Dammverbreiterung vier Kleinbohrungen (RKS;  $\varnothing = 60$  mm) bis maximal 8,0 m unter Geländeoberkante (GOK) ausgeführt und durch leichte und schwere Rammsondierungen (DPL-5, DPH) bis maximal 9,0 m unter GOK ergänzt.

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

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

Die Aufschlüsse S/RKS/DPL-5 102; DPL-5 102.1; S/RKS 106, S/RKS 108 mussten aufgrund eines zu hohen Eindringwiderstandes vorzeitig abgebrochen werden.

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

Tabelle 1: Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse

km	Aufschluss	Lage	Ansatzhöhe [m NN]	Endtiefe [m NN]	Aufschlusstiefe [m]
7,291 <sup>1)</sup>	S/RKS 102	9,0 m r.d.GA	98,35	94,15	4,20 <sup>2)</sup>
7,291 <sup>1)</sup>	DPL-5 102	9,0 m r.d.GA	98,35	95,75	2,60 <sup>2)</sup>
7,292 <sup>1)</sup>	DPL-5 102.1	9,0 m r.d.GA	98,35	95,55	2,80 <sup>2)</sup>
7,346 <sup>1)</sup>	S/RKS 104	8,0 m r.d.GA	99,01	91,01	8,00
7,346 <sup>1)</sup>	DPL-5 104	8,0 m r.d.GA	99,01	90,11	8,90
7,457 <sup>1)</sup>	S/RKS 106	12,0 m r.d.GA	98,66	94,46	4,20 <sup>2)</sup>
7,457 <sup>1)</sup>	DPH 106	12,0 m r.d.GA	98,66	89,66	9,00
7,540 <sup>1)</sup>	S/RKS 108	15,0 m r.d.GA	98,01	93,41	4,60 <sup>2)</sup>
7,540 <sup>1)</sup>	DPH 108	15,0 m r.d.GA	98,01	89,01	9,00

S...Schurf, B...Kernbohrung, RKS...Kleinbohrung, DPH...schwere Rammsondierung, DPL-5...leichte Rammsondierung mit einer Sondierspitze A=5cm<sup>2</sup>, l./r. d. GA...links/rechts der Gleisachse

<sup>1)</sup> bezogen auf Streckengleis 3624

<sup>2)</sup> vorzeitiger Abbruch, zu hoher Eindringwiderstand

Alle Ansatzpunkte wurden nach Lage und Höhe auf m NN des DB Referenznetzes und die Gleisachse des nächstgelegenen Streckengleises eingemessen. Die Entnahme von Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtenwechsel. Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse /U 3/ können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Baugrund eingesehen werden. Die Lage der Aufschlüsse ist aus Anlage 17.4.2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf m NN in der Anlage 17.4.3 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 108

ist eine Bodenprobe entnommen und bezüglich Beton- und Stahlaggressivität untersucht worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 3x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 1x kombinierte Sieb-/Schlamm-analyse nach DIN 18123,
- 1x Bestimmung der Beton-/Stahlaggressivität (Boden) nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 17.4.4 entnommen werden.

Weiterhin sind chemische Laboruntersuchungen an Bodenproben aus dem Bereich des Dammfusses 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 76,650-77,050 befindet sich zwischen dem nördlichen Widerlager der EÜ Adolf - Miersch - Str. und dem südlichen Widerlager der EÜ Goldsteinstraße. 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. Der Übergangsbereich Dammschulter zu Dammfuss ist durch eine stark bewachsene Stützmauer gesichert.

## 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 Kleinbohrungen am Dammfuss sind beginnend ab Geländeoberkante rollige Auffüllungen erkundet worden.

Die rolligen Auffüllungen stellen sich sowohl als enggestufte und schwach schluffige bis schluffige bzw. tonige **Fein- bis Mittelsande**, mit kiesigen Bestandteilen, als auch schwach schluffige Kiese dar. Darüber hinaus wurden auch weiche bis weich - steife leichtplastische Tone bzw tonige Sande erkundet. Die aufgefüllten Sande und Kiese sind z.T. mit Ziegelresten durchsetzt. Nach DIN 18196 werden die Auffüllungen den Bodengruppen [GU, SE, SU, SU\*, ST\*, TL] zugeordnet. Die im Dammfuss erkundeten Auffüllungen weisen Mächtigkeiten zwischen 0,4-2,9 m auf. Die Lagerungsdichte der rolligen Auffüllungen im Damm ist gemäß der Ergebnisse der leichten bzw. schweren Rammsondierungen als locker über mitteldicht, lokal auch dicht, einzuschätzen.

Am Ansatzpunkt der Kleinbohrungen S/RKS 102 und 106 sind Oberflächenbefestigungen in Form von Betonplatten mit einer Dicke von 4 cm aufgenommen worden.

### Anstehender Boden

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

Hierbei handelt es sich zuerst um **Hochflutsande**. Das sind enggestufte und schwach schluffige Fein- bis Mittelsande der Bodengruppen SE, SU. Die Lagerungsdichte dieser rolligen Böden ist im Ergebnis der Rammsondierungen als dicht zu bewerten. Die Unterkante der Hochflutablagerungen liegt in den Kleinbohrungen bei 1,8-3,10 unter GOK (95,55-98,56 m NN).

Die **Mainterrassen** wurden überwiegend in den Erkundungen unter den Hochflutsedimenten erkundet. Punktuell unterlagern sie auch die Auffüllungen. Die Mainterrassen stellen sich zum einen als enggestufte Mittel- bis Grobsande mit kiesigen Anteilen dar, zum anderen als intermittierend gestufte stark sandige Mittelkiese. Gemäß DIN 18186 können diese Böden den Bodengruppen SE und GI zugeordnet werden. Die Lagerungsdichte der Sande und Kiese ist gemäß den leichten bzw. schweren Rammsondierungen als mitteldicht bis dicht zu bewerten.

Die Schichtmächtigkeit der quartären Terrassenablagerungen ist mit den Kleinbohrungen zwischen 1,1-5,1 m eingemessen worden, die Unterkante liegt zwischen 4,2-8,0 m unter GOK (91,01-94,46 m NN).

Die leichten Rammsondierungen DPL-5 102, 102.1 sowie die Kleinbohrungen S/RKS 102, S/RKS 106 und S/RKS 108 mussten infolge eines unzureichenden Bohrfortschritts vorzeitig abgebrochen werden.

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

Bezeichnung	Auffüllung		Hochflut	Terrasse
	Sand/Kies	Ton	Sand	Sand/Kies
Bodengruppe nach DIN 18196	[SE, SU, ST* SU*, GU]	[TL, ST*]	SE	SE, GI
Kornanteil $d \leq 0,063$ mm [%]	3...20 [SE, ST*]	---	---	2...3
Kornanteil $d > 2,0$ mm [%]	3...10 [SE, ST*]	---	---	27...41
Konsistenz handspezifiziert	---	weich... weichsteif	---	---
Lagerungsdichte	locker...dicht	---	dicht	mitteldicht...dicht
Durchlässigkeitswert $k_f$ [m/s]				
nach Beyer, USBR/Bialas	$8,5 \cdot 10^{-4}$ [SE] $4,6 \cdot 10^{-6}$ [ST*]	---	---	$7,8 \dots 9,8 \cdot 10^{-4}$
Erfahrungswerte	$10^{-5} \dots 10^{-5}$ $10^{-5} \dots 10^{-8}$ [SU*, ST*]	$10^{-6} \dots 10^{-9}$	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ (SE)	$10^{-3} \dots 10^{-5}$
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark bis schwach durchlässig	schwach bis sehr schwach durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300 *)	3 [SE, SU, GU] 4 [SU*, ST*]	4	3	3
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - S-B 09	F1 [SE] F 1-F2 [SU, GU] F3 [SU*, ST*]	F3	F1	F1

Tabellenwerte sind Mittelwerte bzw. Einzelwerte aus Laborversuchen.

\*) in Abhängigkeit vom Steinanteil auch höher.

## 2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten wurden im 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 104	3,50	3,50	95,51	05.01.2011

Mit der Kleinbohrung S/RKS 104 ist der Grundwasserstand bei 95,51 m NN (3,5 m unter Gelände) eingemessen worden. Die erkundeten aufgefüllten Sande und Kiese sind überwiegend gut wasserdurchlässig. Die aufgefüllten tonigen Sande und leichtplastischen Tone sind nur gering wasserdurchlässig bis undurchlässig. Auf diesen Schichten ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Die mit den Kleinbohrungen angetroffenen Hochflutsande und Mainterrassen weisen 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 6/ und /U 7/). Diese sind nachrichtlich in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Wasserstände zu Grundwassermessstellen

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

Gemäß des aktuellsten Grundwasserhöhengleichenplan vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie /U 6/ fällt der Grundwasserhorizont von ca. 95 m NN auf 92,5 m NN Richtung Main hin ab.

Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand in Abhängigkeit des festgestellten Ergebnisses aus der Kleinbohrung S/RKS 104 zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1 m bei 96,51 m NN anzusetzen.

## 2.5 Baugrundmodell

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

- Schicht 1:** **Auffüllung, rollig, nicht bis schwach bindig** Mächtigkeit: 0,36-1,45 m
- Fein-/Mittelsand, enggestuft, schwach schluffig, schwach kiesig bis kiesig, Ziegelbruchstücke, Bauschutt
  - Kies, schwach schluffig, stark sandig
  - lockere Lagerung (**Schicht 1.2.1, 1.4.1**)  
mitteldichte Lagerung (**Schicht 1.2.2**)  
dichte Lagerung (**Schicht 1.2.3**)
  - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SE, SU, GU]**

- Auffüllung, rollig, gemischtkörnig** Mächtigkeit: 0,41-0,50 m
- Fein-/Mittelsand, schwach kiesig bis kiesig, schluffig bis tonig
  - lockere Lagerung (**Schicht 1.3.1**)
  - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SU\*, ST\*]**

- Auffüllung, bindig** Mächtigkeit: 0,4-1,1 m
- Ton, leichtplastisch schwach kiesig, schluffig, sandig
  - Sand, feinsandig, Tonig
  - weiche bis weich- steife Konsistenz (**Schicht 1.6.2**)
  - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[TL, ST\*]**

- Schicht 5:** **Hochflutsande** Mächtigkeit: 0,9-1,4 m
- Fein-/Mittelsand, enggestuft, schwach kiesig bis kiesig
  - mitteldichte Lagerung (**Schicht 5.1.2**)  
dichte Lagerung (**Schicht 5.1.3**)
  - Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE**

**Schicht 10: Terrassensande / -kiese**

Mächtigkeit: 1,1-5,1 m

- Mittel-/Grobsand, enggestuft, kiesig
- Fein-/Mittelkies, schwach sandig bis sandig
- mitteldichte Lagerung (**Schicht 10.2.2**)  
dichte Lagerung (**Schicht 10.1.3**)
- Klassifikation lt. DIN 18196

⇒ **SE, GI**

**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					[A] bindig
	[SE, SU]	[SU]	[SE]	[SU*, ST*]	[GU]	[TL, ST*]
Bodengruppe nach DIN 18196						
Schicht-Nr.	<b>1.2.1</b>	<b>1.2.2</b>	<b>1.2.3</b>	<b>1.3.1</b>	<b>1.4.1</b>	<b>1.6.2</b>
Konsistenz, Lagerungsdichte	locker	mitteldicht	dicht	locker	locker	weich, weichsteif
wirks. Reibungswinkel $\varphi_k'$ [Grad]	30,0	32,5	35,0	29,0	30,0	20,0
wirks. Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	3,0
Wichte des feuchten Bodens $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	16,5	17,5	18,5	17,0	16,5	18,5
Wichte des Bodens unter Auftrieb $\gamma_k'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	9,0	10,0	11,0	9,0	9,0	8,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	10,0	20,0	40,0	8,0	12,0	5,0

Tabelle 5b: Bodenrechenwerte

Bodenart	Hochflutablagerungen		Terrassenablagerungen	
	SE	SE	SE	GI
Bodengruppe nach DIN 18196				
Schicht-Nr.	<b>5.1.2</b>	<b>5.1.3</b>	<b>10.1.3</b>	<b>10.2.2</b>
Konsistenz, Lagerungsdichte	mitteldicht	dicht	dicht	mitteldicht
wirks. Reibungswinkel $\varphi_k'$ [Grad]	32,5	35,0	35,0	35
wirks. Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0,0	0,0	0,0	0,0
Wichte des feuchten Bodens $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17,0	18,0	18,0	18,0
Wichte des Bodens unter Auftrieb $\gamma_k'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	9,5	10,5	10,5	10,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	20,0	35,0	75	50

## 2.7 Beton- und Stahlaggressivität des Bodens

Zur Bestimmung der Beton- und der Stahlaggressivität des aufgefüllten Bodens ist aus der Kleinbohrung S/RKS 108 eine Bodenprobe im Bereich von 1,5 m bis 2,9 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 GmbH. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Anlage 17.4.4 beigefügt.

### **Betonaggressivität**

Die aufgeschlämmte und untersuchte Bodenprobe ist nach DIN 4030 Teil 2 als **nicht betonangreifend** einzuschätzen (Anlage 17.4.4.2, Blatt 1), 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 17.4.4.2, 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	Abtragungsrate $w(100a)$ [mm/a]	Eindringtiefe $w_{L,max}(30a)$ [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 eingeordnet:

Tabelle 8: Einstufung gemäß DIN 4149

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

## 2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes

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

Tabelle 9: Rammfähigkeit

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
1.2.1, 1.3.1, 1.4.1	Auffüllung (Sand, Kies), locker	leicht bis mittelschwer
1.2.2	Auffüllung (Sand), mitteldicht	mittelschwer bis schwer
1.2.3	Auffüllung (Sand), dicht	schwer
1.6.2	Auffüllung (Ton), weich - weich/stEIF	leicht
5.1.2	Hochflut: Sand, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
5.1.3	Hochflut: Sand, dicht	schwer
10.2.2	Terrasse: 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 bzw. bei weicher - weich/stEIFer Konsistenz (Schicht 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1, 1.6.2) als leicht bis mittelschwer, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 1.2.2, 1.3.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 1.2.3) als schwer rammfähig eingeschätzt.

**Hochflutablagerungen:**

Die Sande werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 5.1.2) als mittelschwer bis schwer und bei dichter Lagerung (Schicht 5.1.3) als schwer rammfähig eingeschätzt

**Terrassenablagerungen / Tertiär:**

Die Sande und Kiese werden in Abhängigkeit von der Lagerungsdichte, bei mitteldichter Lagerung (Schicht 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. Insbesondere in den dicht gelagerten Sanden sind Rammhilfen wie Spülen oder Vorbohren einzuplanen.

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.

Zu beachten ist außerdem, dass die enggestuften und/oder schwach schluffigen Hochflut- und Terrassensande (**Schicht 5.1, 10.1**) generell sehr verlagerungsempfindlich und im Grundwasser bei Anregung **setzungsfließgefährdet** sind.

Zur Minimierung der Setzungsfließgefahr sollten folgende Grundsätze beachtet werden:

- Zur Verringerung der dynamischen Anregung des Bodens sollten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden.
- Die Bohlen sollten nach Möglichkeit in einem Zug bis zur Endtiefe gerammt werden. Sofern ein Nachrammen vorgesehen ist, muss die Verweilzeit bis zum Rammen auf Endtiefe minimiert werden, um den „Festwachseffekt“ zu vermeiden.
- Es ist ein Rammgerät zu verwenden, das eine ausreichende Größe hat. Wird ein zu kleines Gerät verwendet, so dass kaum ein Rammfortschritt erzielt wird, wird die Rammenergie zum großen Teil in Schwingungsenergie umgesetzt, welche zur Verflüssigung des Bodens führen kann.
- Zur Vermeidung hoher Schwingenergien beim Ziehen der Bohlen sollten diese im Boden verbleiben.

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

### **3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen**

#### **3.1 Allgemeines**

Im Rahmen des Ausbaus Knoten Frankfurt(Main)-Sportfeld sind zwei zusätzliche Fernverkehrsgleise geplant. Diesbezüglich muss im Abschnitt km 76,650-77,050 der neuen Strecke 4010 der Damm verbreitert werden. Aufgrund unzureichender Platzverhältnisse ist gemäß der Vorplanung /U 2/ im Bereich der EÜ Goldsteinstraße eine bahnrechte Stützwand 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 dicht gelagerten sandigen und kiesigen Auffüllungen aus mitteldicht bis dicht gelagerten Hochflut-sanden (Schicht 5) besteht. Am Ansatz der Kleinbohrung 108 fehlen die Hochflutablagerungen. Darunter bzw. unter den Auffüllungen folgen die mitteldicht bis dicht gelagerten Sande und Kiese der Mainterrassen (Schicht 10).

Bei Annahme einer frostfreien Gründung von  $\geq 0,8$  m unter GOK liegt die Gründungstiefe bei ca. 97,2 m NN. Aufgrund der im gründungsrelevanten Bereich anstehenden locker gelagerten Auffüllungen empfehlen wir zur Reduzierung und Vergleichmäßigung der Setzungen im Bereich der Gründungssohle, den Einbau eines  $\geq 1,0$  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 Kieselpolster ist zu beachten, dass dieses gegenüber dem Gründungskörper einen allseitigen Überstand in Höhe Unterkante Kieselpolster besitzen muss, welcher mindestens so groß wie die Auffüllhöhe ist.

Für das Kieselpolster wurden folgende charakteristische Berechnungskennwerte zum Ansatz gebracht:

$$\varphi_k' = 35,0^\circ; \quad c_k' = 0 \text{ kN/m}^2; \quad \gamma_k/\gamma_k' = 19 / 11 \text{ kN/m}^3; \quad E_{s,k} = 80 \text{ MN/m}^2$$

Für die Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

Fundamentlänge:	a = 80 m
Fundamentbreite:	b = 3...5 m
Gründungstiefe:	t <sub>min</sub> ≈ 0,8 m (auf mind. 1,0 m Kieselpolster)
Baugrundprofil:	S/RKS 108
Grundwasser:	t <sub>GW</sub> ≈ 1,5 m unter GOK = 96,51 m NN (Abschnitt 2.4)
Vorbelastung:	σ <sub>v</sub> ≈ 7,0 kN/m <sup>2</sup> (Aushubentlastung am Dammfuss)
angenommene zulässige Setzung:	s <sub>zul</sub> ≤ 2 cm

In Anlage 17.4.5, 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 <sup>2</sup> ]			Setzung [cm]		
	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0
Anlage 17.4.5, Blatt 01	Kieselpolster d = 1,0 m					
Fundamentbreite [m]	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0	5,0
<b>Grundbruchsicherheit</b> nach DIN 1054:2005-01	622	738	853	5,75	8,4	11,4
Setzung <b>max. s = 2,0 cm</b>	<b>220</b>	<b>180</b>	<b>150</b>	2,0	2,0	2,0

Die aus den Grundbruchberechnungen ermittelten aufnehmbaren Sohldrücke liegen in Abhängigkeit von den Fundamentbreiten zwischen σ<sub>zul</sub> = 622...853 kN/m<sup>2</sup> mit Setzungsbeträgen von 5,75...11,4 cm für ein 1,0 m dickes Kieselpolster.

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<sub>zul</sub> = 220...150 kN/m<sup>2</sup> für ein 1,0 m dickes Kieselpolster.

**Folgerung:**

Bei einer Flachgründung der Stützwand auf einem Kiespolster können die aufnehmbaren Sohldrücke je nach Fundamentabmessungen in Abhängigkeit von den zulässigen Setzungen der Anlage 17.4.5, Blatt 01 entnommen werden.

Die Auffüllungen der Schicht 1.6.2 und Schicht 1.3.1 in der Aushubsohle sind auszukoffern. Die Fundamentsohle ist durch einen fachkundigen Geotechniker abnehmen zu lassen.

Die angegebenen aufnehmbaren Sohldrücke gelten zur Vorbemessung. Sie ersetzen nicht die notwendigen erdstatischen Nachweise (Grundbruchsicherheit, Gleiten, Kippen, Setzungen) unter Ansatz der tatsächlichen Fundamentabmessungen und Lasten.

**3.3 Baugrubensicherung und Wasserhaltung**

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

Die horizontalen Bettungsziffern für durchgehende Verbauwände lassen sich in Anlehnung an die EAB /U 10/, Kapitel 4.6 (EB 102) näherungsweise ableiten zu:

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

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

mit:  $E_{Sh,k}$  - horizontale Steifemodul

$t_B$  - von der Bettung erfasste Einbindetiefe

$b$  - Flanschbreite bei 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-d) mit dem Faktor 0,5 umgerechnet werden.

Grundwasser wurde mit der Kleinbohrung S/RKS 104 und in einer Tiefe von 3,5 m unter GOK angetroffen. Der höchste Grundwasserstand (Bemessungswasserstand) wurde in Abschnitt 2.4 mit ~ 96,51 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. Auf bindigen Auffüllungen der Schicht 1.6.2 am Ansatz S/RKS 106 und 108 ist mit Stau- bzw. Schichtenwasser zu rechnen. Dieses Wasser kann mit einer temporären Wasserhaltung gefasst werden.

### **3.4 Verankerung**

Der Verbau zur Herstellung der neuen Stützwand im Bereich der EÜ Goldsteinstraße wird vermutlich rückverankert werden. Nachfolgend werden Hinweise und Empfehlungen zur Rückverankerung des Verbaus 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 Krafteintragslänge in den Baugrund eingeleitet. Die Überprüfung des Tragverhaltens der Anker im Bereich der Krafteintragslänge 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 15/ 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 (Kraftertragslänge) 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 Kraftertragslänge 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 verformungsempfindlichen 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  $10^\circ$  betragen. Wegen der Tragkraft sind in Böden mit wechselnden Schichten mindestens  $15^\circ$  bis  $20^\circ$  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 dicht gelagerten Sande der Schicht 5.1.3 und 10.1.3 einbinden.

Nachfolgend wird zur Bemessung der Anker Diagramme aus /U 15/ dargestellt. Für nichtbindige Böden sind in den nachfolgenden Grafiken die Grenzlasten beim Bruch in Abhängigkeit von der Krafteintragungslänge (Verpresskörperlänge) für verschiedene Lagerungsdichten dargestellt.

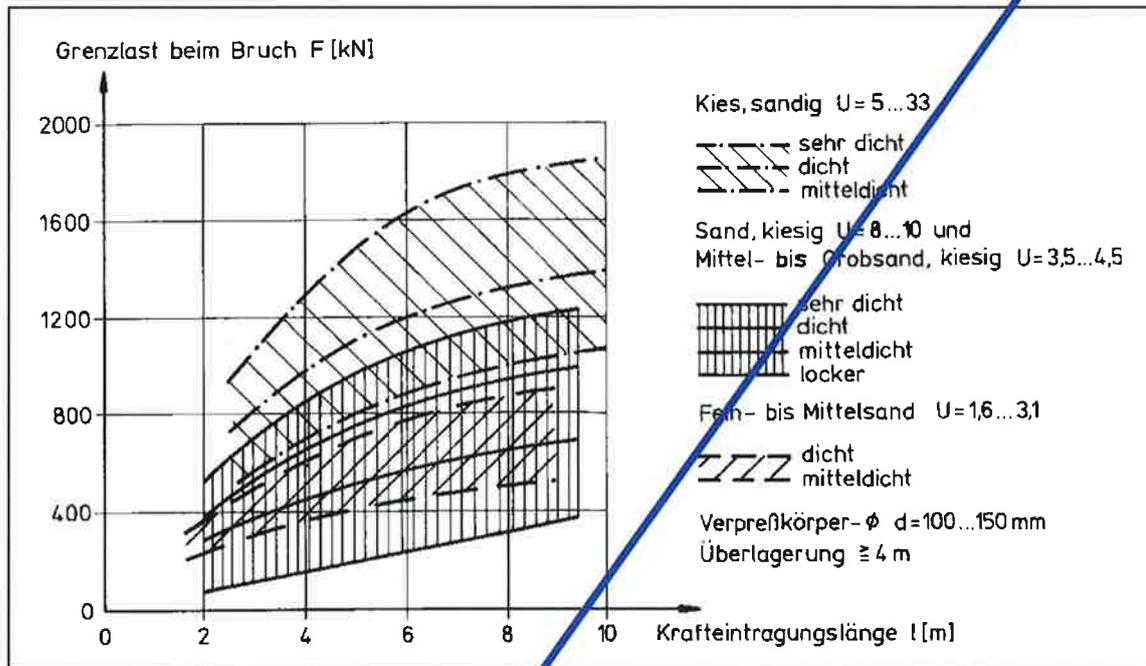


Bild 1: Grenzlast von Ankern in nichtbindigen Böden (nach Ostermeyer) aus /U 15/

### 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 11/ 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/Kies), rollig	1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.4.1	$8,5 \cdot 10^{-4}$ [SE]	$1,7 \cdot 10^{-4}$ [SE]	versickerungsfähig
		$10^{-4} \dots 10^{-6}$ [SU, GU]	$10^{-4} \dots 10^{-6}$ [SU, GU]	
Auffüllung, (Sand), gemischtkörnig	1.3.1, 1.3.2,	$4,6 \cdot 10^{-6}$ [ST*]	$9,2 \cdot 10^{-7}$ [ST*]	versickerungsfähig bis nicht versickerungsfähig
		$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU*]	$10^{-5} \dots 10^{-7}$ [SU*]	
Auffüllung, bindig	1.6.2	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	$10^{-7} \dots 10^{-9}$	nicht versickerungsfähig
Hochflutsand, rollig	5.1.2, 5.1.3	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ [SE]	$10^{-3} \dots 10^{-5}$ [SE]	versickerungsfähig
Terrasse: Sand/Kies, rollig	10.1.3, 10.2.2,	$7,8 \dots 9,8 \cdot 10^{-4}$ (SE, GU)	$1,5 \dots 1,9 \cdot 10^{-4}$ (SE, GU)	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 11 entnommen werden.

Im vorliegenden Fall besitzen die über dem Grundwasser erkundeten, aufgefüllten Sande und Kiese der Bodengruppen [SE, SU, GU]  $k_f$ -Werte  $>10^{-6}$  m/s und sind gemäß DWA-A138 ausreichend versickerungsfähig. Die rolligen Auffüllungen der Bodengruppe [SU\*, ST\*] sind bedingt versickerungsfähig, da ihr  $k_f$ -Werte im Grenzbereich von  $10^{-6}$  m/s und liegt. Die bindigen Auffüllungen (TL, ST\*), sind nach DWA-A138 nicht versickerungsfähig. Die Hochflutsande und -kiese sowie die Terrassensande und -kiese sind im Untersuchungsgebiet versickerungsfähig.

#### **Fazit:**

Im Bereich der Bohrpunkte ist eine Versickerung von nicht belastetem Niederschlagswasser gemäß DWA-A 138 möglich. Nur im Auffüllungsbereich der S/RKS 106 und S/RKS 108 ist in den Schichten 1.3.1 und 1.6.2 mit Stau- und Schichtwasser zu rechnen.

### **3.6 Einfluss auf angrenzende Bebauung**

Um Nachsetzungen der Bestandsbrücken und angrenzenden Gebäude der Kleingartenanlage 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 Bauwerken und 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 8/ und der ZTVE-StB 09 /U 12/ herzustellen. Wir empfehlen für die Hinterfüllung/Dammverbreiterung in Anlehnung an die Ril 836.0501 Bild A 1.9 die Verwendung von grobkörnigen Böden als Schüttmaterial.

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

#### Hinweise zur Dammverbreiterung

- Bewuchsbeseitigung und Abtragung Oberboden
- Herstellung einer abgetreppten Böschungfläche 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 Schichten 1.2.1 und 1.4.1 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  $D_{Pr} \geq 0,98$ .
- Prüfung des Verdichtungsgrades, Prüfmethode und Prüfumfang analog ZTVE-StB bzw. Ril 836.0501 Bild 1.

### 3.8 Tragschichtsystem

Die Anforderungen an das Tragschichtsystem der geplanten Neubaustrecke 4010 zwischen km 76,650 bis km 77,500 sind dem eigenständigen geotechnischen Bericht Tragschichtgutachten „Gleis km 76,650 bis km 77,500“ zu entnehmen.

### 3.9 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen

Die bei der Herstellung der Stützwand und der Dammverbreiterung anfallenden Erdmassen stellen sandige bzw. kiesige und z.T. bindige Auffüllungen dar, darüber hinaus Oberboden im Böschungsbereich des Bestandsdammes. Diese Böden sind gemäß Ril 836, Modul 836.0504, Bild 2 als Hinterfüllmaterial der Stützwand nicht geeignet. Bis auf den Oberboden können sie jedoch in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o.ä. eingesetzt werden.

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

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

#### 4 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse und deren Bewertung für die neue Stützwand und die Dammverbreiterung von km 76,650 bis km 77,050 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 wurde erläutert, das Tragschichtsystem ist einem separaten Bericht zu entnehmen

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

Der Baugrund besteht ab Geländeoberkante bzw. im Dammfußbereich aus rolligen Auffüllungen in Form von enggestuften Sanden sowie aus schwach schluffigen bis schluffigen / tonigen Sanden. Untergeordnet wurden schwach schluffige Kiese erkundet. Des Weiteren wurden geringmächtige Schichten aus leichtplastischen Tonen sowie tonigen Sanden erkundet. Im Dammfußbereich weisen die Auffüllungen Mächtigkeiten zwischen 0,4 m und 2,9 m auf. Darunter folgen mitteldicht und dicht gelagerte Hochflutsande, gefolgt von mitteldichten bis dichten Terrassensande und -kiesen.

Das Grundwasser wurde mit den Kleinbohrung S/RKS 104 bei 3,5 m unter Gelände angeschnitten. Wir empfehlen, den Bemessungswasserstand zuzüglich eines Sicherheitszuschlages von 1 m bei ca. 96,51 m NN anzunehmen.

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen ist eine Flachgründung der Stützwand möglich. Die Dammverbreiterung kann auf einem ca. 0,5 m dicken Bodenaustausch ausgeführt werden. Der Dammaufbau ist entsprechend den Vorgaben zu prüfen.

Die punktförmig durchgeführten Bodenuntersuchungen geben einen guten Überblick über die vorhandenen Untergrundverhältnisse, sie schließen jedoch Abweichungen in Teilbereichen nicht aus. Wir empfehlen uns einzuschalten, wenn sich Abweichungen von den Untersuchungsergebnissen ergeben bzw. planungstechnische Änderungen durchgeführt werden, die Einfluss auf die Gründung des Bauwerkes haben können.

aufgestellt:

Dipl.-Geol. Ch. Josenhans