



DB Engineering & Consulting GmbH
Umwelt, Geotechnik & Geodäsie
Umwelt & Geotechnik
Büro Frankfurt am Main
Oskar-Sommer-Straße 15
60596 Frankfurt am Main
www.db-international.de
Tel. 069 6319-178
Fax 069 6319-118

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

Ergänzungsbericht

Bauvorhaben: Strecke 4010 Mannheim – Frankfurt Stadion
Beseitigung Bahnübergang Bobstadt km 25,941

Auftraggeber:	DB Netz AG	über	DB E&C
	Regionalbereich Mitte		Regionalbereich Mitte
	Pfarrer-Perabo-Platz 4		Oskar-Sommer-straße 15
	60326 Frankfurt am Main		60596 Frankfurt am Main

Projektnummer DB E&C: U-G000578

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

Dieser geotechnische Bericht umfasst 31 Seiten und 7 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

Frankfurt, 15.09.2016

.....
Dipl.-Geol. C. Josenhans

.....
Dipl.-Ing. M.Sc. Anna Ehrhardt

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	4
1.1 Unterlagen	4
1.2 Vorgang / Aufgabenstellung	5
1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen	6
2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	8
2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	8
2.2 Geologische Situation	8
2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau	9
2.4 Hydrologische Verhältnisse	10
2.5 Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Bodens/ Wassers	12
2.6 Baugrundmodell	13
2.7 Bodenrechenwerte	14
2.8 Rammfähigkeit des Untergrundes	14
4 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	17
4.1 Allgemeines	17
4.2 Pfahlgründung	17
4.2.1 Rammpfähle	17
4.2.2 Bohrpfähle	19
4.2.3 Mikropfähle - Kleinverpresspfähle	21
4.3 Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse	22
4.4 Zusatzbelastung auf Pfähle	23
4.5 Hilfsbrücken	24
4.6 Baugrubensicherung und Wasserhaltung	26
4.7 Verankerung	27
5 Homogenbereiche	28
5.1 Einleitung	28
5.2 Erdarbeiten (ERD23)	28
5.3 Bohrarbeiten (BOH)	29
5.4 Ramm-, Rüttel- und Verpressarbeiten (RAM)	29
6 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	30

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lage- und Aufschlussplan	1 Blatt
Anlage 3	Bohrprofile, Sondierdiagramme	
Anlage 3.1	Sondierdiagramme	1 Blatt
Anlage 3.2	Querprofil	1 Blatt
Anlage 4	Bodenmechanische Laborergebnisse	
Anlage 4.1	Körnungslinien	9 Blatt
Anlage 4.2	Zustandsgrenzen	3 Blatt
Anlage 4.3	Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Grundwassers	9 Blatt
Anlage 5	Homogenbereiche	
Anlage 5.1	Erdarbeiten GK 2+3/Querprofil	4 Blatt
Anlage 5.2	Ramm-, Rüttel-, Verpressarbeiten (RAM)/ Querprofil	4 Blatt
Anlage 5.3	Bohrarbeiten (BOH)/ Querprofil	3 Blatt
Anlage 6	Fotodokumentation	6 Blatt
Anlage 7	Zusammenstellung der Laborversuche	1 Blatt

1 Einleitung

1.1 Unterlagen

Neben den gegenwärtig gültigen Normen und Richtlinien für Erd- und Grundbau standen zur Ausarbeitung dieses Geotechnischen Berichtes folgende Unterlagen zur Verfügung:

- /U 1/ Leistungsvereinbarung Nr. NF000704-00 (NF3HM) zwischen DB NETZ AG und DB International GmbH vom 12.12.2013.
- /U 2/ Geotechnischer Bericht, Beseitigung Bahnübergang Bobstadt km 25,068, DB International GmbH, Frankfurt, 15.05.2014
- /U 3/ Information des Planers, Christian Olt, Projektleiter Konstruktiver Ingenieurbau, DB International, 03.04.2014.
- /U 4/ Information des Planers, Christian Ziroff, Projektleiter Konstruktiver Ingenieurbau, DB E&C, 06.09.2016.
- /U 5/ Lageplan lvi 4010 BQ, Maßstab 1:1.000, übergeben von DB Netz AG.
- /U 6/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten Bohrunternehmen Krahle GmbH, 04.03.2014.
- /U 7/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten Bohrunternehmen Terrasond Gesellschaft für Baugrunduntersuchungen mbH & Co. KG, 22.08. -24.08.2016.
- /U 8/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten Fa. IUG Steinmetzer, 04.03.2014 sowie 23.07-05.08.2016.
- /U 9/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, 24.02.-27.02.2014.
- /U 10/ Laborergebnisse der Fa. Wessling GmbH, März 2014.
- /U 11/ Ril 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instand halten, 4. Aktualisierung, 01.12.2014.
- /U 12/ Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“, Stand: 05/2005.
- /U 13/ ZTV E-StB 09 Zusätzliche Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 2009.
- /U 14/ Geologische Karte von Hessen 1 : 25 000; Blatt Nr. 6316 Worms; Hessisches Landesamt für Bodenforschung; Wiesbaden 1977
- /U 15/ Grundwasserauskunft, Hessisches Landesamt für Umwelt- und Geologie, 26.03.2014.
- /U 16/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Karl Josef Witt, Verlag Ernst & Sohn, 2009.
- /U 17/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke, 7. Auflage, Karl Josef Witt, Verlag Ernst & Sohn, 2009.
- /U 18/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- /U 19/ EAB 2012 - Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“; Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., 4. Auflage; Verlag Ernst & Sohn, 2012.

- /U 20/ Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20; Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen, Technische Regeln, Stand: 2004.
- /U 21/ RStO 12 Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen, FGSV, 2012.
- /U 22/ VOB/C 2012 - Ergänzungsband 2015, Beuth, 2015.

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

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Der bestehende Bahnübergang in Bobstadt bei km 25,068 der Strecke 4010 Mannheim - Frankfurt Stadion wird durch eine BÜ bzw. eine Rad- und Fußwegunterführung mit den anschließenden Rampen ersetzt. Die Breite der neuen EÜ beträgt 5,0 m, mit einer Länge von ca. 12,5 m.

Die DB Engineering & Consulting GmbH (ehemals DB International), Abteilung Geotechnik wurde mit der geotechnischen Untersuchung beauftragt, die Baugrund- und Grundwasserverhältnisse an dem neu geplanten Standort zu erkunden und einen geotechnischen Bericht mit Angabe von Gründungsempfehlungen zu erstellen.

Umweltanalytische Untersuchungen des erkundeten Altschotters und Bodens waren ebenfalls Bestandteil der Beauftragung.

Das dafür angefertigte Gutachten wurde im Mai 2014 durch die damals DB International GmbH Baugrund erstellt und behält weitergehend seine Gültigkeit. Im Zuge der Variantenstudie und für die weitere Planung zur Lage der Personenunterführung und Rampen wurden auf der Strecke 4010 bei km 24,941 zusätzliche geotechnischen Untersuchungen beauftragt. Darüber hinaus wurde ein hydrogeologischer Bericht beauftragt, der in einem separaten Gutachten erstellt wird.

Der vorliegende Bericht stellt eine Ergänzung des geotechnischen Berichtes von 2014 /U 2/ und enthält zusätzlich Angaben zu den Homogenbereichen gemäß VOB/C /U 22/. Die Einteilung wurde für die geplanten Gewerke Erdarbeiten der Geotechnischen Kategorie 2 und 3, Bohrarbeiten sowie Rammarbeiten gemäß der geplanten Arbeiten vorgenommen (Kapitel 5). Im Zuge der Entwurfsplanung werden nun Kennwerte der einzelnen Bodenschichten benötigt, die im Rahmen der Vorplanung nicht vorgesehen waren. Hierfür wurde Abschnitt 3 ergänzt bzw. überarbeitet.

1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen

Zur Erkundung des vorhandenen Baugrundes und Entnahme von gestörten Bodenproben wurden zusätzliche Erkundungen infolge der neuen Kilometrierungslage der geplanten PU bei km 24,941 der Strecke 4010 ausgeführt.

Im Bereich des Personentunnels wurden 2 Kernbohrungen (BK, Trockendrehbohrung, Außendurchmesser 178 mm) mit Zielteufen von 20,0 m sowie KRB 7 mit der Zielteufen von 8,0 und DPH 7 bis 10,0 m, im Bereich der Rampe 4 Kleinbohrungen (KRB/DPH 1 bis 4) mit Zielteufen von 4,0 m bzw. 8,0 m niedergebracht.

Des Weiteren wurden im Bereich des BÜ Bobstadt ein Schotterschurf zur Entnahme von Schotterfeinanteilen zwecks analytischer Untersuchung sowie eine KRB 6 bis 3,0 m tiefe angelegt.

Diese Aufschlussarbeiten (Bohrungen sowie Ausbau der GWM) erfolgten vom 22.08. bis 24.08.2016 durch das Bohrunternehmen Terrasond mbH & Co.

Die KRB/DPH wurden durch die Fa. IUG Steinmetzer vom 23.07-05.08.2016 durchgeführt.

Die Aufschlüsse stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

Tabelle 1a: Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse

km	Lage	Aufschluss	Ansatzhöhe DB Ref [DHHN]	Endtiefe [m]	Endtiefe DB Ref [DHHN]
24,863	6,80 m bahnlinks	KRB/DPH 1	90,32	4,00	86,32
24,881	6,80 m bahnlinks	KRB/DPH 2	90,24	8,00	82,24
24,923	20,00 m bahnrechts	KRB/DPH 3	90,29	8,00	82,29
24,935	13,50 m bahnrechts	KRB/DPH 4	90,54	8,00	82,54
25,030	5,50 m bahnrechts	KRB/DPH 5b	90,44	4,00	86,44
25,059	GA	S/KRB 6	90,43	3,00	87,43
24,946	GA	KRB 7	90,43	8,00	82,43
24,946	GA	DPH 7	90,43	10,00	80,43
24,929	14,60 m bahnrechts	BK 1	90,44	20,0	70,44
24,947	8,00 m bahnlinks	BK 2	90,20	20,0	70,20

Zum besseren Übersicht der Bodenverhältnisse wurden die Erkundungen aus dem Mai 2014 herangezogen.

Tabelle 1b: Übersicht der durchgeführten Aufschlüsse aus dem Jahr 2014, Bereich PU / Rampe

km	Lage	Aufschluss	Ansatzhöhe DB Ref [DHHN]	Endtiefe [m]	Endtiefe DB Ref [DHHN]
25,064	6,55 m bahn- links	S/BK 2	89,80	15,00	74,80
		DPH 2	89,80	15,00	74,80
25,063	6,80 m bahn- rechts	S/BK 3	90,00	15,00	74,80
		DPH 3	90,00	15,00	74,80
25,035	6,90 m bahn- links	S/RKS 4	90,27	8,00	82,27
		DPH 4	90,27	8,20	82,07
25,006	4,50 m bahn- links	S/RKS 5	90,15	4,20	85,95
25,072	GA	S1	89,75	0,40	89,35

GA...Gleisachse des Richtungsgleises, BK...Kernbohrung, RKS...Kleinrammbohrung, DPH...schwere Rammsondierung, SO...Schienenoberkante

Die Lage der Aufschlüsse ist aus Anlage 2 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind in Anlage 3 dargestellt.

Die Entnahme von Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtenwechsel. Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse /U 6/ können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Baugrund eingesehen werden. Die entnommenen Bodenproben wurden durch den Bearbeiter spezifiziert. Zur genaueren Klassifizierung der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 und Bodenklassen nach DIN 18300 sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen Untersuchungen unterzogen worden. Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 6 x Nass-/Trockensiebung nach DIN 18123,
- 3 x kombinierte Sieb-/Schlamm-analyse nach DIN 18123,
- 3 x Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18122,
- 2 x Bestimmung Betonaggressivität/Stahlkorrosivität nach DIN 4030 und DIN 50929.

Die Ergebnisse der Laboruntersuchungen können der Anlage 4 entnommen werden.

2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Der bestehende Bahnübergang liegt bei km 24,941 der Strecke 4010 (Mannheim/Frankfurt) in der Gemarkung Bobstadt, Gemeinde Bürstadt. Der BÜ quert von West nach Ost die zweigleisige Strecke. Der Planungsbereich verläuft geländegleich.

2.2 Geologische Situation

Geographisch befindet sich das Gebiet im Oberrheingraben. Das Gebiet ist Teil des hessischen Rieds. Die Oberfläche wird in diesem Bereich ausschließlich von Gesteinen des Quartärs gebildet. Im Randbereich treten auch tertiäre Gesteine auf. Die Anhäufungen der tertiären und quartären Sedimente bis zu einer maximalen Mächtigkeit von ca. 2850 m Mächtigkeit wurde durch die seit dem Oligozän anhaltende Eintiefung des Oberrheingrabens verursacht. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um eiszeitliche und nacheiszeitliche abgelagerte Lockersedimente des Rheins.

Der Bereich Bobstadt liegt in einem Mäandergebietes des Rheins. Die einzelnen ehemaligen Flussverläufe lassen sich in den Luftbildern leicht erkennen. In diesem Bereich ist vor allem mit rolligen Ablagerungen des Flusses zu rechnen. Teilweise sind Auelehme eingeschaltet. Die Sande und Kiese sind durch den Fluss gut sortiert.

Im oberflächennahen Bereich ist infolge des Baues von Bahnanlagen und Gebäuden 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.

2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau

Zunächst wurde mit Ausnahme von den Erkundungen KRB 7, 6 sowie Erkundungen aus dem Jahr 2014 ein Mutterbodenhorizont erkundet. Mit den Aufschlüssen KRB 1 und 2 wurde unter dem 10 - 20 cm mächtigen Mutterboden eine 13-15 cm als Zwischenschicht dicke Asphaltdecke erbohrt.

Mit den Bohrungen BK 1 und BK 2 wurde eine 0,50 m bis 0,80 m mächtige Straßenbefestigung in Form von Ziegelresten sowie Sandsteinbruch erkundet.

Darunter folgen rollige und bindige Auffüllungen aus natürlichen Böden. Die rollige Auffüllungen stellen sich als weitgestufte, schwach schluffige Sanden /Kiesen sowie schluffige Sanden dar. Die Mächtigkeit der Auffüllung liegt zwischen 0,80 m und 1,40 m. Die Auffüllungen weisen eine lockere Lagerung auf.

Die bindigen Auffüllungen wurden in den Erkundungen BK 1, BK 2 und KRB 3 angetroffen, dabei handelt es sich um stark sandige, ausgeprägt plastische Tone und stark kiesige, leichtplastischen Tone der Bodengruppen GT*-TL, ST*-TA mit steifer Konsistenz.

Unter den Auffüllungen steht der gewachsene Boden an. Dieser besteht direkt unter den Auffüllungen aus Tonen, die von Sanden/Kiesen unterlagert werden. Bei den anstehenden Tonen handelt es sich um leicht- und mittelplastische, schluffige, schwach sandige bis sandige, örtlich schwach kiesige Tone der Bodengruppe TL und TM. Die Mächtigkeit der Tone liegt zwischen 0,30 m und 1,10 m. Die Konsistenz der erkundeten Tone ist als weich bis halbfest handspezifiziert worden.

Unter den Tonen stehen die Sande und Kiese an.

Die rolligen Böden wurden in Form von eng- bis weitgestuften, schwach schluffigen Sanden sowie weit- und interminierend gestuften Kiesen der Bodengruppen SE, SW, SU und GW, GI erkundet. In diese Kiese und Sande sind ab ca. 12,80 m unter GOK Steine mit Kantenlängen bis ca. 5 cm eingelagert. Vereinzelt finden sich Holzreste, Steine bis ca. 15 cm und Sand-Kies-Kongrationen bis ca. 12 cm in diesen Böden. Die erkundete Mächtigkeit der rolligen Böden liegt zwischen 1,60 m (Endtiefe, KRB 6) und 18,35 m (Endtiefe, BK1 und BK2). Die Böden sind überwiegend mitteldicht gelagert.

Die erkundeten Schichtgrenzen sind in der Anlage 3 dargestellt. Die Laborversuche an repräsentativen Bodeneinzelproben sind in Anlage 4 abgelegt.

Die Beschreibung der Bodenverhältnissen der Bodenerkundungen aus dem Jahr 2014 bitte dem Bericht /U 2/ zu entnehmen.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten wurden im Februar/März 2014 und im Juli/August 2016 durchgeführt. Mit den durchgeführten Erkundungen wurde Schicht-/Grundwasser angetroffen.

Tabelle 2: Grund- und Schichtwasserstände Juli/August 2016

Aufschluss	Wasser angebohrt unter GOK	Wasser Angebohrt DB REF	Wasser nach Bohrende unter GOK	Wasser nach Bohrende DB REF
KRB 1	2,70 m	87,62	---	---
KRB 2	2,65 m	87,59	---	---
KRB 3	2,10 m	88,44	---	---
KRB 4	2,70 m	87,84	---	---
KRB 5b	2,40 m	88,04	---	---
KRB 6	0,95 m (SW) 2,70 m	89,48 87,73	---	---
KRB 7	0,65 m (SW)	89,78	---	---
BK 1	2,29	88,15	---	---
BK 2	2,99	87,21	2,57	87,63

Tabelle 3: Grundwasserstände Februar/März 2014

Aufschluss	Wasser angebohrt unter GOK	Wasser Angebohrt DB REF	Wasser nach Bohrende unter GOK	Wasser nach Bohrende DB REF
KRB 4	3,20 m	87,07	---	---
KRB 5	3,70 m	86,45	---	---
BK 3	2,60 m	87,40	2,43	87,57
BK 2	2,70 m	87,10	2,38	87,42

Mit den Bohrungen wurde in einer Tiefe von 2,60 - 2,99 m unter GOK ein Grundwasserspiegel angebohrt. Dieser Grundwasserspiegel war nach Beendigung der Bohrung bis 2,38 - 2,57 m unter GOK angestiegen. Dies spricht für einen gespannten Grundwasserspiegel.

Die Bohrung BK 2 wurde zu einer 4 ½" Grundwassermessstelle ausgebaut. Im Anschluss an den Pumpversuch vom 01.09.2016 wurde diese mit einem Aquitronic Datenlogger ausgestattet. Dieser misst den Grundwasserstand alle 8 Stunden über einen Zeitraum von 6 Monaten. Darüber hinaus finden Kontrollmessungen mittels Kabellichtlot statt. Diese werden monatlich

durchgeführt. Die ermittelten Grundwasserstände geben dann einen präziseren Einblick in die Schwankungsbreite des Grundwasserstands wieder.

Ein hydrogeologischer Bericht wird in einem separaten Gutachten erstellt.

Bezüglich der Grundwasserverhältnisse im Bereich der geplanten Umbau BÜ Bobstadt wurde eine Anfrage an Hessisches Landesamt für Umwelt- und Geologie /U 15/ gestellt und im Bild 1 dargestellt.

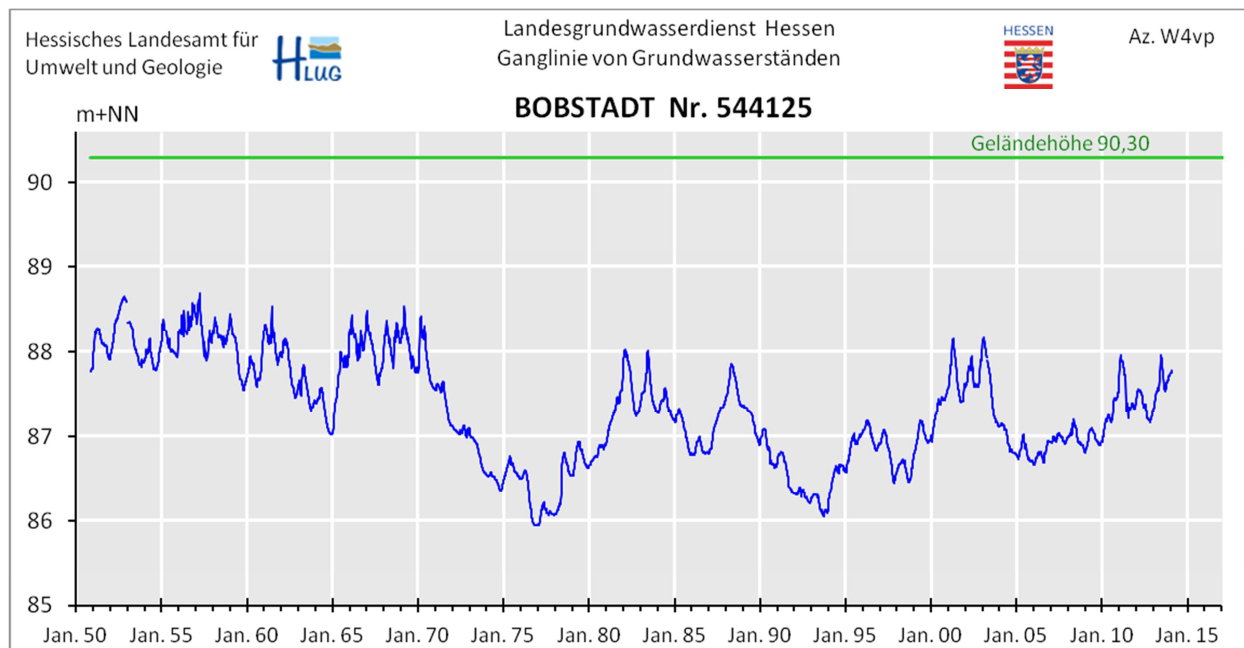


Bild 1: Ganglinie von Grundwasserständen/ Messtelle Nr. 544125, Bobstadt

In der Nähe des Bauwerkes liegen keine Grundwassermesspegel. Zur Festlegung der Werte HHGW und MHGW wurden ebenso die Daten der GWM 544007 in Bürstadt hinzugezogen. Im Ergebnis des v. g. können für den Untersuchungsbereich nachfolgende Bemessungswasserstände angesetzt werden:

- HHGW von 89,00m NN
- MHGW (bauzeitig) von 88,70m NN.

Somit wird eine Wasserhaltung bzw. eine dichte Baugrube (z.B. Spundwandverbau) im Bereich der Personenunterführung und der tieferen Rampenbereiche erforderlich sein. Es muss ein Nachweis über den hydraulischen Grundbruch geführt werden.

Die erkundeten aufgefüllten und anstehenden Kiese und Sande der Bodengruppen [SW, SU, GW, GU] und SE, SW, SU, GW, GI sind als wasserdurchlässig einzuschätzen.

Die erkundeten aufgefüllten und anstehenden Tone besitzen aufgrund ihrer hohen Feinanteile sehr geringe Durchlässigkeitsbeiwerte und wirken als Wasserstauer.

2.5 Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Bodens/ Wassers

Zur Beurteilung der Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Bodens ist aus den Bereichen des neugeplanten Personentunnels, aus den Bohrungen BK 1 und BK 2 eine Mischprobe von 0,5 m bis ca. 14,0 m erstellt worden. Zur Beurteilung der Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Grundwassers sind aus diesen Bohrungen Grundwasserproben entnommen worden. Die Wasser- und Bodenproben wurden auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe untersucht. Die Analysenergebnisse befinden sich in Anlage 4.3.

Danach entspricht die analysierte Bodenprobe gemäß DIN 4030 folgender Expositionsklasse (Anlage 4.3, Blatt 5):

Tabelle 4: Beurteilung betonangreifender Böden gemäß DIN 4030

Aufschluss	Beurteilung
BK 2+ BK 3 (Mischprobe Boden)	Der Boden liegt unterhalb der Expositionsklasse XA1 .

Betonaggressivität des Wassers

Die untersuchte Wasserprobe (Anlage 4.4, Blatt 1) ist nach DIN 4030 als mäßig **betonangreifend** einzuschätzen. Die Zuordnungswerte liegen unterhalb der Expositionsklasse XA1 nach DIN EN 206-1.

Stahlkorrosivität

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

Tabelle 5: Korrosionswahrscheinlichkeit metallischer Werkstoffe

	MP (Boden)		MP (Wasser)	
Freie Korrosion (nur Bezug auf Bodenprobe)	Ia – praktisch nicht aggressiv		nicht aggressiv	
Freie Korrosion (mit Bezug auf umgebende Böden)	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
	mittel	gering	sehr gering	sehr gering

2.6 Baugrundmodell

Im Ergebnis der Baugrunderkundungen und der bodenphysikalischen Untersuchungen lässt sich für den Untersuchungsbereich ein Baugrundmodell entwickeln, welches für die Bewertung der Baugrundverhältnisse herangezogen wird. Dabei wurden Böden mit annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften in Schichten zusammengefasst.

Schicht 1 **Auffüllung, nichtbindig** d = 0,8...1,4 m

- Sand, kiesig, schwach schluffig bis schluffig, Schotter, Ziegelreste, Sandsteinbruch, Wurzelreste, örtlich schwach organisch
- Kies, schwach schluffig, sandig, Schotter, Schlackerreste
- lockere Lagerung (Schicht 1.1.1)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[SW, SU, SU*, GW, GU]**

Schicht 1 **Auffüllung, bindig** d = 0,4...0,85 m

- stark sandigen und stark kiesigen leicht - /ausgeprägt plastischen Tone
- steife Konsistenz (Schicht 1.3.2)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **[ST*-TA, GT*-TL]**

Schicht 2 **Ton** d = 0,4...1,15 m

- Leicht- und mittelplastisch, schluffig, schwach sandig bis stark sandig, schwach kiesig
weich, weich/steife Konsistenz (Schicht 2.2)
- steife, steif/halbfeste Konsistenz (Schicht 2.3)
halbfeste Konsistenz (Schicht 2.4)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **TL, TM, ST*-TM**

Schicht 4 **Sande/Kiese** d = 1,60 (ET)...18,35 m (ET)

- Sand, feinkiesig, schwach kiesig bis kiesig, schwach schluffig, eng- und weitgestuft
- Kies, weit-/ intermittierend gestuft, sandig, steinig mit Kantgrößen von 5 bis 15 cm
- lockere Lagerung (Schicht 4.1)
- mitteldichte Lagerung (Schicht 4.2)
- dichte Lagerung (Schicht 4.3)
- Klassifikation lt. DIN 18196 ⇒ **SE, SW, SU, GW, GI**

d = Schichtdicke der Einzelschicht

ET ... Endteufe

2.7 Bodenrechenwerte

Den erkundeten Baugrundsichten können aus den Laborversuchen und Erfahrungen für erdstatische Berechnungen folgende charakteristische Rechenwerte zugeordnet werden.

Tabelle 6: Charakteristische Rechenwerte aus Erfahrungen

Schicht	Bodengruppe DIN 18196	Wichte		Scherfestigkeit		Steifemodul
		über Wasser	unter Auftrieb	Reibungs- winkel	Kohäsion	
		γ_k [kN/m ³]	γ'_k [kN/m ³]	ϕ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	
1.1.1	[SW, SU, GW, GU]	17,0	9,0	30,0	1,0	12,0
1.2.1**	[SU*]	17,5	9,5	27,0	2,0	8,0
2.2	TM	19,0	9,5	25,0	10,0	10,0
2.3	TL, TM, ST*-TL	20,0	10,5	25,0	15,0	15,0
2.4	TL	21,0	11,0	25,0	15,0	15,0
3.2**	SU*	19,0	10,0	30,0	0,0	25,0
4.1	SE, SW, SU, GW	17,5	9,5	30,0	2,0	15,0 25,0*
4.2	SE, SW, SU, GW, GI	19,0	10,0	32,5	2,0	25,0 40,0*
4.3	SE, SW, GI	19,5	10,5	35	2,0	70,0 120,0*

*ab 5,0 m, bezogen auf OK anstehende Boden

** Erkundungen 2014

2.8 Rammfähigkeit des Untergrundes

Die erkundeten Baugrundsichten bestehen aus nichtbindigen und bindigen Auffüllungen, Tonen und Sanden/Kiesen. Eine Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Rammfähigkeit (z.B. nach DIN-Norm) gibt es nicht. Die nachfolgende Einschätzung basiert auf der Grundlage der erkundeten Bodenarten, der Lagerungsdichten bzw. der Konsistenzen und Erfahrungen.

Tabelle 7: Rammfähigkeit

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
1.1.1, 1.2.1	Auffüllung, nichtbindig, locker gelagert	leicht bis mittelschwer
1.3.1, 2.2*	Ton, weich, weich/stEIF	leicht bis mittelschwer
1.3.2, 2.3	Ton, steif, steif/halbfest	mittelschwer bis schwer
3.1*, 4.1	Sand, Kiese, locker gelagert	leicht bis mittelschwer

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
4.2	Sand, Kiese, mitteldicht gelagert	mittelschwer bis schwer
4.3	Sand, dicht gelagert	schwer

* Erkundungen 2014

In aufgefüllten Böden ist mit Steinen o.ä. zu rechnen, die die Rammfähigkeit des Untergrundes wesentlich verschlechtern können.

Insgesamt ist der Baugrund als mittelschwer rammfähig einzuschätzen. Ab einer Tiefe von ca. 13,30 m unter GOK im Bereich der Bohrung BK 1 und ab ca. 14,00 m unter GOK Bereich der Bohrung BK 2 wurden vermehrt Kieslagen sowie Steine mit der Kantengrößen von 5-15 cm erkundet. Im Ergebnis der Rammsondierung und aufgrund der nur punktuell erkundeten Kiese mit Kantengrößen von ca. 15 cm, sind aus geotechnischen Sicht Vorbohrungen bzw. Auflockerungsbohrungen nicht notwendig. Die Angaben des Berichtes von 2014 /U 2/ zu Rammfähigkeit des Untergrundes werden somit durch diese ersetzt.

Sofern Rammarbeiten vorgesehen sind, empfehlen wir, zur Auswahl der Rammtechnologie und Rammgeräte eine Fachfirma einzuschalten und Proberammungen vorzusehen.

Zu beachten ist außerdem, dass die enggestuften und/oder schwach schluffigen Sande (4.1, 4.2, 4.3) generell sehr verlagerungsempfindlich und bei lockerer Lagerung im Grundwasser **setzungsfließgefährdet** sind.

Baupraktische Hinweise zur Reduzierung des Risikos einer Bodenverflüssigung:

- Zur Verringerung der dynamischen Anregung des Bodens sollten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden.
- Im Bereich der Rammstelle ist eine Langsamfahrstelle einzurichten. Da Setzungen im Gleisbereich nicht ausgeschlossen werden können, sind die Gleise in der Nähe der Rammstelle messtechnisch zu überwachen. Überschreiten Verformungen zulässige Grenzwerte, ist die Gleislage kurzfristig durch Nachstopfen zu korrigieren.
- Bezüglich der Setzungsfließgefahr ist Rammen günstiger zu bewerten als Vibrieren, da beim Vibrieren die Einwirkungsdauer wesentlich größer ist. Das Rammgerät ist für den anstehenden Boden zu optimieren, so dass die Schwingungsbelastung des Bodens möglichst gering ist.
- An den kritischen Punkten (hoch stehender Grundwasserspiegel) sind vor Beginn der Baumaßnahmen Proberammungen durchzuführen, um die Einbringmethode und die

Setzungsfließgefahr zu prüfen. Es werden Schwingungsmessungen im Boden empfohlen, um Grenzwerte für die Schwinggeschwindigkeiten festlegen und bei den weiteren Arbeiten überwachen zu können. Bereits hier sind die Vorsichtsmaßnahmen des Punktes 1. anzuwenden. Tritt bereits bei den Proberammungen Setzungsfließen ein, sollten mindestens die Parameter des Einbringverfahrens geändert werden oder auf ein Erschütterungsärmeres Einbringverfahren umgestellt werden.

- An einer Nachbarbebauung, die sich dichter als 30 m an einer Rammstelle befindet, sollte zur Abwehr unberechtigter Schadenersatzansprüche ein Beweissicherungsverfahren durchgeführt werden.
- Beim Auftreten von Rammhindernissen muss die Rammung abgebrochen werden. In diesem Fall werden stärkere Schwingungen in den Baugrund eingeteilt, als das bei der Proberammung der Fall war. Die Setzungsfließgefahr wäre dann ebenfalls höher als bei der Proberammung und damit nicht mehr einschätzbar.
- Es sollen vorzugsweise Fachfirmen eingeschaltet werden, die regionale Erfahrungen beim Einbringen von Verbausträgen in dem Gebiet haben.

Grundsätzlich sind bei der Ausführung der Rammarbeiten die Regelungen der DIN 18304 zu beachten.

4 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen

4.1 Allgemeines

Im Zuge der Beseitigung des Bahnüberganges bei Kilometer 24,941 der Bahnstrecke 4010 Mannheim – Frankfurt Stadion ist der Neubau eines Personentunnels mit Rampen vorgesehen. Zur Vorbemessung der Fundamentplatten werden die Bettungsziffern benötigt. In dem großtechnischen Bericht /U 2/ werden die Bettungsziffern für den Personentunnel und die Rampe überschläglich ermittelt.

In den nachfolgenden Tabellen werden die zur Vorbemessung erforderlichen Pfahlkennwerte die maßgebenden Baugrundsichten aus der KRB 7, Bohrungen BK 1 und BK 2 angegeben.

Tabelle 8: Maßgebenden Baugrundsichten aus der KRB 7, Bohrungen BK 1 und BK 2

Schicht	Bodenart	von / bis m unter SO
2.3	Tone, steif	1,20 ... 1,65
4.2	Sande, Kiese, mitteldicht gelagert	1,80 ... 64,1
4.3	Sande, Kiese, dicht gelagert	4,1 ... 4,9
4.2	Sande, Kiese, mitteldicht gelagert	4,9 ... 6,3
4.3	Sande, Kiese, dicht gelagert	6,3 ... 7,4
4.2	Sande, Kiese, mitteldicht gelagert	7,4 ... 13,5
4.3	Sande, Kiese, dicht gelagert	13,5 ... 20,0

4.2 Pfahlgründung

4.2.1 Rammpfähle

Die Hinweise zur Rammfähigkeit der einzelnen Schichten können dem Abschnitt 2.9 entnommen werden. Das Einbringen der Rammpfähle sollte erschütterungsarm erfolgen, um Schäden an der Gleisanlage, den Fahrleitungsmasten sowie an bereichsweise vorhandenen Nachbarbebauungen zu vermeiden. Durch die Rammarbeiten ist mit Verdichtungssetzungen in der locker gelagerten Auffüllung bzw. den locker gelagerten Sanden und Kiesen zu rechnen.

Die Einbindung der Rammträger müsste nach EA-Pfähle /U 18/ mindestens 2,5 m in tragfähige Schichten erfolgen. Gemäß EA-Pfähle gelten rollige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ und bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undranierten Boden $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$ als ausreichend tragfähig und somit relevant für den Ansatz eines Pfahlspitzendrucks.

Das heißt, die Träger müssten mindestens 2,5 m in die bindigen Böden mit mindestens steifer Konsistenz (Schicht 2.3) sowie die rolligen Böden mit mindestens mitteldichter Lagerung der Schichten 4.2 bzw. 4.3 einbinden.

Aus geotechnischer Sicht kann aufgrund der im Regelfall nur minimal auftretenden Vertikalkräfte bei der Gründung auf die nach EA Pfähle geforderte Mindesteinbindetiefe der Pfähle von 2,5 m in den tragfähigen Horizont verzichtet werden. Durch den Statiker muss jedoch nachgewiesen werden, dass die auftretenden Kräfte schadensfrei in den Untergrund abgeleitet werden können.

In der nachfolgenden Tabelle werden die zur Vorbemessung erforderlichen Kennwerte für Rammpfähle in Anlehnung an die EA-Pfähle angegeben. Die in Abhängigkeit vom Pfahltyp anzusetzenden Modellfaktoren nach EA-Pfähle, η_b für den Pfahlspitzendruck und η_s für die Pfahlmantelreibung, sind dabei nicht berücksichtigt.

Tabelle 9: Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung für Rammpfähle nach EA-Pfähle /U 18/ ohne Berücksichtigung der Modellfaktoren

Schicht	Bodenart	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²] ^{1), 2)}	Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²] ²⁾
1.1.1	Auffüllung, rollig, locker	---	0,015
1.3.2	Auffüllung, bindig, steif	0,3 - 0,5	0,025
2.2	Tone, weich-steif	---	0,01
2.3	Tone, steif	0,35 - 0,6	0,03
2.4	Tone, halbfest	0,55 - 0,85	0,04
3.1	Sande, Kiese, schluffig, locker	---	0,015
4.1	Sande, Kiese, locker	---	0,02
4.2	Sande, Kiese, mitteldicht	2,2 - 4,2	0,04
4.3	Sande, Kiese, dicht	4,0 - 7,6	0,065

¹⁾ in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfsetzung nach EA-Pfähle

²⁾ Die Modellfaktoren η_b und η_s für Spitzen- und Mantelwiderstand sind in Abhängigkeit vom Pfahltyp entsprechend EA-Pfähle /U 18/ zu berücksichtigen.

Die angegebenen Werte gelten für:

- vorgefertigte Stahlbeton- und Spannbetonpfähle von D_{eq} =0,25 bis 0,5 m,
- geschlossene Stahlrohrpfähle mit einem Durchmesser bis 800 mm,
- offene Stahlrohr- / Hohlkastenpfähle mit einem Durchmesser von 300 mm bis 1600 mm
- Stahlträgerprofilpfähle mit Flanschbreiten von 300 bis 500 mm und Profilhöhen von 290 bis 1000 mm und
- Kastenpfähle

Wenn der Spitzendruck angesetzt wird, darf die Mächtigkeit der tragfähigen Böden unterhalb der Pfahlfußfläche bei $d = 0,5 \text{ m}$ ein Maß von $2,5 \text{ m}$ ($5 \times$ Pfahldurchmesser) nicht unterschreiten. Sind die vorgenannten Randbedingungen nicht eingehalten, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen sowie des Setzungsverhaltens des darunterliegenden Bodens zu führen. Ansonsten empfehlen wir sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen.

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle und unter Beachtung der ergänzenden Forderungen und Hinweise der EA-Pfähle. Für die Gewährleistung einer einwandfreien Pfropfenbildung wird eine Mindestpfahllänge von $5,0 \text{ m}$ empfohlen.

Sofern Rammhilfen, beim Einbringen der Ramppfähle zum Einsatz kommen, sind die in Tabelle 10 angegebenen Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.

Tabelle 10: Abminderungsfaktoren

	Vorbohren			Spülhilfe
Mantelreibung	0,5	bei $d - d_B \leq 50 \text{ mm}$		0,9
	0,6	bei $d - d_B > 50 \text{ mm}$		
	1,0	bei $d - d_B > 150 \text{ mm}$		
Spitzendruck	1,0 ¹⁾			1,0 ¹⁾

d Pfahl- $\varnothing$ bzw. -breite

d_B $\varnothing$ Bohrung

¹⁾ gilt nur, wenn Rammhilfe $1,0 \text{ m}$ oberhalb der Pfahlspitze endet

4.2.2 Bohrpfähle

Zur Bemessung von Bohrpfählen werden Spitzendruck- und Mantelreibungswerte benötigt. Die Einbindung der Bohrpfähle muss nach EA-Pfähle /U 18/ mindestens $2,5 \text{ m}$ in tragfähige Schichten erfolgen.

Tragfähige Schichten für den Ansatz eines Pfahlspitzendrucks sind im Sinne der EA-Pfähle rollige Böden mit einem mittleren Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ oder bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undrained Bodens $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$.

Entsprechend der Erkundungsergebnisse sind die mitteldichten und dichten Sande/Kiese (Schicht 4.2, 4.3) für die Ableitung der Pfahlspitzendrücke geeignet.

In den nachfolgenden Tabellen werden die zur Vorbemessung erforderlichen Bohrpfahlkennwerte für die maßgebenden Baugrundsichten aus der KRB 7, Bohrungen BK 1 und BK 2 in Anlehnung an die EA-Pfähle /U 18/ angegeben.

Tabelle 11: Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung für Bohrpfähle nach EA - Pfähle

Schicht	Bodenart	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ [MN/m ²]
1.1.1	Auffüllung, rollig, locker gelagert	---	0,015
1.3.2	A, bindig, steif	---	0,03
2.2	Tone, weich/steif	---	0,025
2.3	Tone, steif	0,35 - 0,8 ¹⁾	0,04
2.4	Tone, halbfest	0,75 - 1,5 ¹⁾	0,065
4.1	Sande, Kiese, locker gelagert	---	0,03
4.2	Sande, Kiese, mitteldicht gelagert	0,60 - 1,8 ¹⁾	0,06
4.3	Sande, Kiese, dicht gelagert	1,05 - 3,0 ¹⁾	0,10

¹⁾ in Abhängigkeit von bezogener Pfahlkopfssetzung nach EA-Pfähle

Die angegebenen Werte gelten für Bohrpfähle ($D = 0,30 - 3,0$ m) mit einer Einbindetiefe in den tragfähigen Baugrund von mindestens 2,5 m. Die Mächtigkeit der tragfähigen Böden unterhalb der Pfahlfußfläche darf bei $d = 0,9$ m ein Maß von 2,7 m (3 x Pfahldurchmesser), mindestens aber 1,5 m (= maßgebend!) nicht unterschreiten. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass in diesem Bereich $q_c \geq 10,0$ MN/m² bzw. $c_{u,k} \geq 0,10$ MN/m² nachgewiesen ist. Wenn die genannten geometrischen Werte unterschritten werden, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen zu führen. Außerdem ist dann nachzuweisen, dass der darunter liegende Boden das Setzungsverhalten nicht maßgeblich beeinträchtigt. Sofern dies nicht gewährleistet ist, empfehlen wir, sicherheits- halber keinen Spitzendruck anzusetzen.

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle und unter Beachtung der ergänzenden Forderungen und Hinweise der EA-Pfähle /U 18/.

4.2.3 Mikropfähle – Kleinverpresspfähle

Unter Mikropfähle versteht man Verpresspfähle mit einem Schaftdurchmesser kleiner als 300 mm. Sie eignen sich zur Abtragung von Druck- und Zugkräften. Mikropfähle werden wegen der kleinen Bohrgeräte oft zur Nachgründung bereits bestehender Bauwerke verwendet. Die Lastabtragung erfolgt dabei ausschließlich über die Mantelreibung.

Die Krafteintragungslänge der Verpresspfähle sollte mindestens 3,0 m in die tragfähigen Bodenschichten erfolgen. Tragfähige Schichten für den Ansatz einer Pfahlmantelreibung sind im Sinne der EA-Pfähle /U 18/ rollige Böden mit einem mittleren Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ oder bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undrained Bodens $c_{u,k} \geq 0,06 \text{ MN/m}^2$.

Für die Herstellung der Mikropfähle sind die Hinweise und Forderungen der DIN EN 14199 zu beachten.

Bei Zugpfählen sollten nach EA-Pfähle /U 18/ immer Pfahlprobelastungen durchgeführt. Auch die DIN 1054 lässt eine Abschätzung der Zugpfahlwiderstände nur in Ausnahmefällen zu.

Die rechnerische Länge der verpressten Mikropfähle ist nach EA-Pfähle auf maximal 12,0 m zu begrenzen, da dies dem bisherigen Erfahrungsbereich entspricht. In der Praxis werden jedoch auch größere Längen hergestellt.

Bei der Nachweisführung von Zugpfahlgruppen ist zu beachten, dass hier nach DIN 1054 stets zwei Grenzfälle zu untersuchen sind:

- mit der Annahme, dass jeder Pfahl als Einzelpfahl wirkt und
- mit der Annahme, dass die Pfähle zusammen mit dem umgebenden Boden infolge der Gruppenbildung einen geschlossenen Block bilden.

Vorbehaltlich der durchzuführenden Pfahlprobelastungen werden in der EA-Pfähle /U 18/ Erfahrungswerte der Pfahlmantelreibung von verpressten Mikropfählen für nichtbindige und bindige Böden angegeben. Die Zwischenwerte der Tabelle können geradlinig interpoliert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Werte für Druckpfähle gelten und die Werte für Zugpfähle deutlich abzumindern sind.

In Anlehnung an die EA-Pfähle und Erfahrungen werden in Tabelle 12 Bruchwerte der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m²] empfohlen.

Tabelle 12: Bruchwerte der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$

Schicht	Bodenart	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]
1.1.1	Auffüllung, rollig, locker	---
1.2.2	Auffüllung, bindig, steif	0,03
2.1	Ton, weich	---
2.2	Ton, steif	0,03
2.4	Ton, halbfest	0,075
4.1	Sand/Kies, locker	---
4.2	Sand/Kies, mitteldicht	0,13
4.3	Sand/Kies, dicht	0,20

Die angegebenen Werte gelten zur Vorbemessung und unter Vorbehalt der noch durchzuführenden Pfahlprobelbelastungen. Die genauen Schichtunterkanten sind den jeweiligen Bohrprofilen zu entnehmen. Wir empfehlen, die Pfahlbohrungen zu überwachen und die Pfahllängen im Zuge der Bauausführung ggf. zu präzisieren.

4.3 Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse

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

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

$D_s \dots \text{ Pfahldurchmesser}$

Die Anwendung dieser Formel gilt für Pfahldurchmesser $D \leq 1,0$ m und einem Höchstwert der Horizontalverschiebung von $y = 2$ cm bzw. $y = 0,03 \cdot D$, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Für größere Durchmesser ist $D = 1,0$ m anzusetzen. Bei einem Pfahldurchmesser von 0,9 m ergibt sich somit eine maximale Horizontalverschiebung von 2 cm $< 0,03 \cdot 0,9 \text{ m} = 2,7 \text{ cm}$. Bei größeren Verformungen sind die Bettungsmoduli abzumindern. Bei der Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls ist ebenfalls eine Gruppenwirkung der Pfähle zu berücksichtigen. Bei einem Pfahlabstand, der dem zweifachen Pfahldurchmesser entspricht, ist der Bettungsmodul mit dem Faktor 0,75 abzumindern.

Die in Tabelle 10 und 11 angegebenen Bettungsziffern gelten für Pfahldurchmesser $\geq 1,0$ m und maximale Horizontalverformungen von 2,0 cm.

4.4 Zusatzbelastung auf Pfähle

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

Ob Einwirkungen aus Seitendruck zu erwarten sind, kann näherungsweise mit Geländebruchuntersuchungen abgeschätzt werden (siehe Grundbautaschenbuch T 3, Aufl. 7, Seite 201ff). Bei einem Grenzwert des Ausnutzungsgrades gemäß EA-Pfähle, Kapitel 4.5.2, Tabelle 4.1 von $\mu < 0,8$ für bindige Böden kann eine Pfahlbemessung auf Seitendruck entfallen. Sofern Seitendruck zu berücksichtigen ist, sollte nach EA-Pfähle, Kapitel 4.5.5 eine charakteristische Mindestmomentenbeanspruchung gemäß Bild 2 in Abhängigkeit des Pfahldurchmessers berücksichtigt werden.

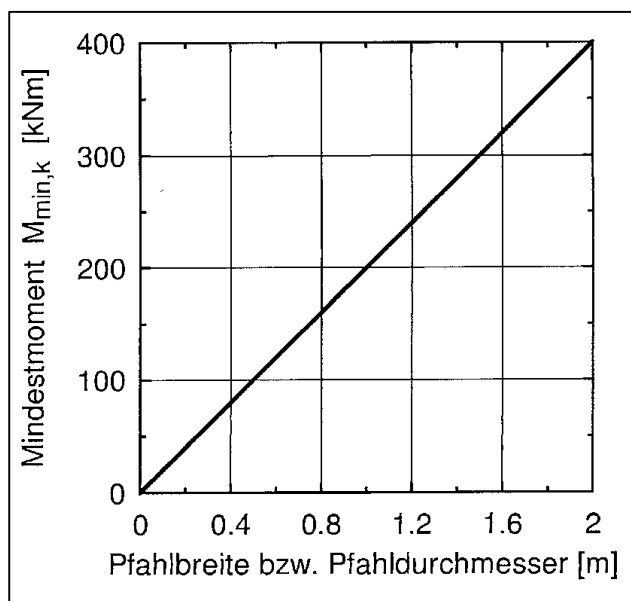


Bild 2: charakteristisches Mindestmoment

4.5 Hilfsbrücken

Bei einer Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebs während der Baumaßnahmen ist der Einbau von Hilfsbrücken erforderlich. Für die Auflagerung der Hilfsbrücken gemäß Planung sind Verbauwände vorgesehen. Wenn Spundwände des Baugrubenverbau als Widerlager für die Hilfsbrücke verwendet werden, sind diese für die vertikalen und horizontalen Lasten zu dimensionieren. Ein einheitliches Berechnungsverfahren für die vertikale Tragfähigkeit von Spundwänden gibt es nicht. Eine Vordimensionierung für vertikale Lasten auf Basis von Erfahrungswerten kann, wie unten beschrieben, nach EAB /U 19/ durchgeführt werden. Grundsätzlich liefert eine Probelastung sicherere Ergebnisse als eine Dimensionierung auf der Basis von Erfahrungswerten und wird daher von uns empfohlen.

Die Lastabtragung einer Spundwand erfolgt über Spitzendruck und Mantelreibung. Als tragfähiger Boden gelten dabei nach EAB nichtbindige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde von mindestens 10 MN/m², was bei einer schweren Rammsondierung (DPH) etwa 10 Schlägen je 10 cm Eindringtiefe gleichgesetzt werden kann. Das heißt, die Spundwände müssten mindestens bis in die mitteldichten/dichten Kiese (Schicht 4.2, 4.3) oder tiefer geführt werden. Weiterhin ist die Abtragung von zusätzlichen Lasten neben der Eigenlast der Baugrubenkonstruktion und der Vertikalkomponente des Erddrucks nach /U 19/. Bei Spundwänden nur ab einer Mindesteinbindetiefe von $t_g \geq 3,0$ m zulässig.

Die vertikale Tragfähigkeit von Spundwandkonstruktionen ergibt sich mit einem tiefenabhängigen Fußwiderstand nach EAB /U 19/ wie folgt:

$$R_{1,k} = A_b \cdot q_{b,k} + A_s \cdot q_{s,k}$$

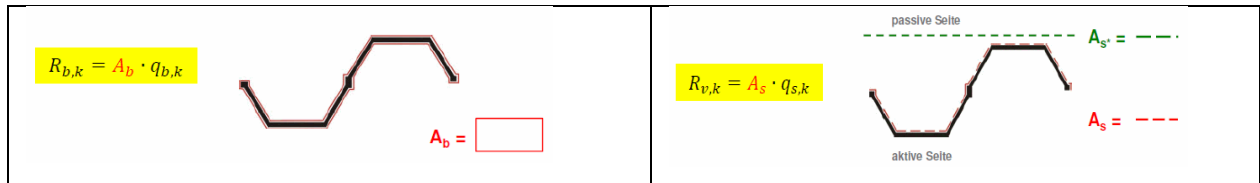
A_b - wirksame Aufstandsfläche

$q_{b,k}$ - charakteristischer Fußwiderstand

A_s - tatsächlich vorhandene Mantelfläche unterhalb der Baugrubensohle

$q_{s,k}$ - charakteristische Mantelreibung

Die Ermittlung des charakteristischen Fußwiderstandes ergibt sich gemäß EAB 2012 /U 19/ aus der vorhandenen Stahlquerschnittsfläche A_b und dem Spitzendruck. Eine Bodenpfropfenbildung wird nicht mehr angesetzt.	Der charakteristische Mantelwiderstand ermittelt sich aus der vorhandenen Mantelfläche A_s unterhalb der Baugrubensohle <i>nur auf der Baugrubenseite</i> .
--	---



In der nachfolgenden Tabelle 11 ist der charakteristische Spitzendruck $q_{b,k}$ und die Mantelreibung $q_{s,k}$ für Spundwände angegeben. Die Werte für nichtbindige Böden wurden in Anlehnung an die EAB 2012, Anhang A10 und für bindige Böden gemäß EA-Pfähle 2012 gewählt.

Tabelle 13: Charakteristische Werte Spitzendruck und Mantelreibung gemäß /U 19/

Schicht	Spitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]
1.1.1 - 1.2.1	---	---
2.2	---	---
2.3	0,45 ¹⁾	0,015 ¹⁾
2.4	0,7 ¹⁾	0,025 ¹⁾
4.1, 3.1	---	---
4.2	7,5	0,02
4.3	15	0,04

¹⁾ Die angegebenen Werte für bindige Böden sind mit den Anpassungsfaktoren für Spundbohlen nach Kempfert/Becker 2008 multipliziert; für die Mantelreibung mit $\eta_s=0,45$ und für den Spitzendruck mit $\eta_b=1,3$.

Werden die Spundbohlen eingerüttelt, sind die Werte für Mantelreibung und Spitzenwiderstand auf 75% abzumindern. Wir empfehlen, den letzten Meter zu rammen. Die Auflagerungen für die Hilfsbrücken sind so zu bemessen bzw. auszubilden, dass nur eisenbahnverträgliche horizontale Kopfverschiebungen auftreten. Um Kopfverschiebungen zu begrenzen, sind ggf. Aussteifungen hinter den Hilfsbrückengründungen erforderlich.

Für die Dimensionierung der Spundwandkonstruktionen sind die weitergehenden Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der EAB zu beachten.

4.6 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Nach DIN 4124 dürfen Baugruben bis 1,25 m Tiefe senkrecht hergestellt werden, sofern die in dieser Norm angegebenen Hinweise und Forderungen erfüllt werden. Ausgehend von den Erkundungsergebnissen können nach DIN 4124 für Böschungen bis 5,0 m Höhe ohne besonderen Nachweis folgende Böschungswinkel im Lockergesteinsbereich über Grundwasser entsprechend DIN 4124 in Ansatz gebracht werden:

- Schicht 1, 3, 4 $\beta \leq 45^\circ$
- Schicht 2 $\beta \leq 60^\circ$ (mindestens steife Konsistenz) ansonsten $\beta \leq 45^\circ$

Bei belasteten Böschungen und/oder Grundwasser oberhalb der Sohle ist die Standsicherheit nachzuweisen. Für die Herstellung der Baugruben sind die weitergehenden Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 zu beachten.

Sofern Verbauarbeiten vorgesehen sind, können die Rechenwerte zur Verbauberechnung Abschnitt 2.7, Tabelle 6 entnommen werden. Angaben zur Rammfähigkeit des Untergrundes enthält Abschnitt 2.9.

Die horizontalen Bettungsziffern für durchgehende Verbauwände lassen sich in Anlehnung an die EAB /U 19/, Kapitel 4.5 (EB 102) näherungsweise ableiten zu:

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

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

mit: $E_{sh,k}$ – horizontale Steifemodul

t_B – von der Bettung erfasste Einbindetiefe

b – Flanschbreite bei gerammten Trägern, bei Trägern, die in vorgebohrte Löcher eingestellt werden, tritt der Bohrlochdurchmesser D an die Stelle von b

Der horizontale Steifemodul E_{sh} kann aus dem vertikalen Modul E_s (siehe Tabelle 6) mit dem Faktor 0,5 bzw. 0,6 im Grundwasser (aus /U 17/, Seite 483) umgerechnet werden.

Leicht gespanntes Grundwasser wurde mit beiden Bohrungen angetroffen. Der Bemessungswasserstand wurde in Abschnitt 2.4 angegeben.

Wir empfehlen eine wasserdichte Baugrube. Die Baugrubensohle ist hierbei mit einer gegen Auftrieb gesicherten Unterwasser Betonsohle zu bewehren.

4.7 Verankerung

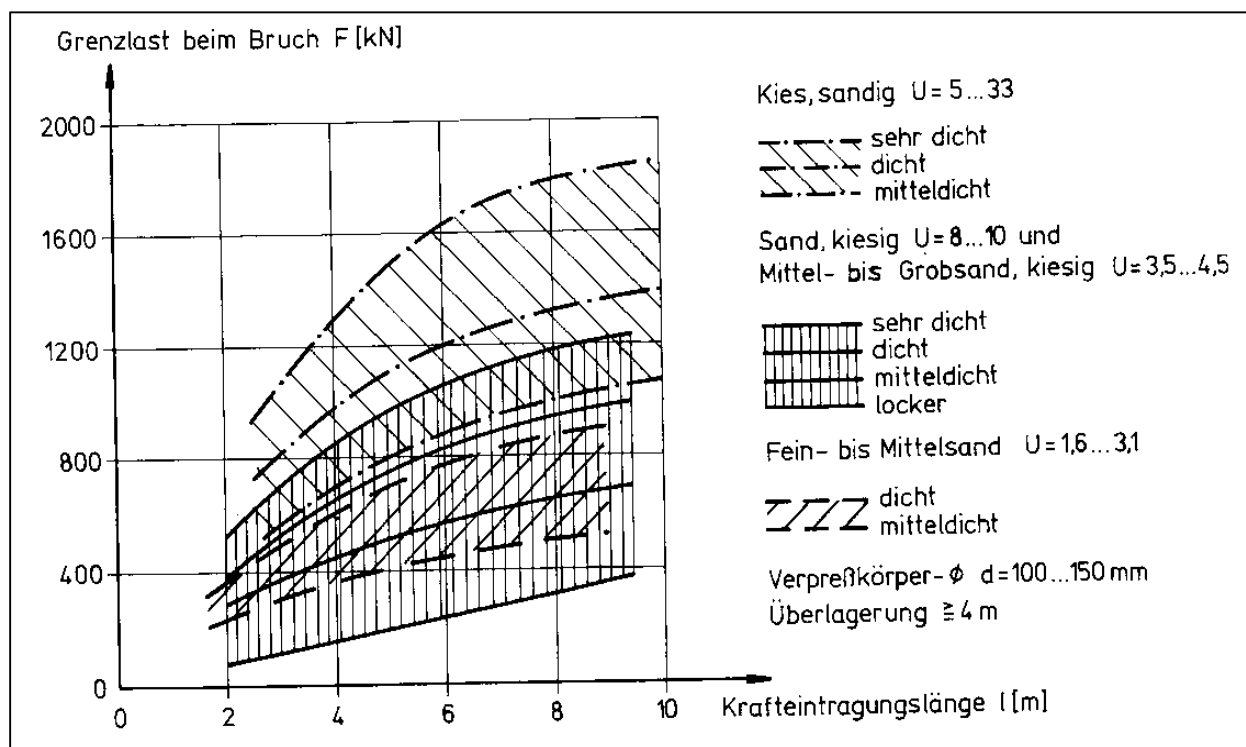
Für die Bemessung und Herstellung von Verpressankern ist die DIN EN 1997 und die DIN 1054, Abschnitt 8 maßgebend zu beachten. Die Bemessung (Art, Länge, Lage) der Verpressanker ist von den Baugrundverhältnissen, der Belastung und der Einspannungstiefe der Trägerelemente sowie deren zulässiger Verformungen abhängig.

Die Bemessung der Anker, insbesondere die Verpresskörperlänge, muss den hier erkundeten Baugrundverhältnissen entsprechen und in Zusammenhang mit der Berechnung der Trägerelemente nach den bekannten Regeln der Erdstatik ermittelt werden.

Die Krafteintragung sollte vollständig in einer Bodenschicht liegen. Da die lockeren Auffüllungen und Deckschichten nicht für eine Verankerung geeignet sind und der Verpresskörper mindestens 4,0 m unter Geländeoberfläche liegen sollte, empfehlen wir die vollständige Einbindung des Verpresskörpers in den mindestens mitteldicht gelagerten Sanden der Schichten 4.2, 4.3.

Die erforderliche Krafteintragungslänge sollte mindestens 4,0 m und die freie Ankerlänge mindestens 5,0 m betragen. Es ist eine Eignungs- und Abnahmeprüfung der Verankerungen auf der Baustelle durchzuführen.

Zur Bestimmung der Grenzlaster bzw. Grenzwerte der mittleren Mantelreibung von Verpressankern kann das Diagramm nach OSTERMEYER (Bild 3) für mitteldicht bis dicht gelagerte Sande, örtlich Kiese verwendet werden. Diese Werte gelten für Einzelanker mit Verpresskörper-Durchmessern zwischen 100-150 mm und einer Überlagerung $\geq 4,0$ m.



Für die erkundeten Terrassenablagerungen können folgende Grenzlaster angesetzt werden:

Krafteintragungslänge $l = 4 \text{ m} \rightarrow$ Grenzlast beim Bruch 380 kN

Krafteintragungslänge $l = 6 \text{ m} \rightarrow$ Grenzlast beim Bruch 420 kN

Krafteintragungslänge $l = 8 \text{ m} \rightarrow$ Grenzlast beim Bruch 500 kN

5 Homogenbereiche

5.1 Einleitung

Gemäß VOB 2012 - Ergänzungsband 2015 /U 22/ sind Böden entsprechend ihrem Zustand vor dem Lösen in Homogenbereiche einzuteilen. Der Homogenbereich ist ein begrenzter Bereich bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für das jeweilige Bauwerk bzw. Bauverfahren vergleichbare Eigenschaften aufweist.

Die im Untersuchungsbereich anstehende Schichtenfolge wird nachfolgend auf der Grundlage des erarbeiteten Baugrundmodells, den labortechnisch ermittelten Bodenkenngrößen sowie von Erfahrungswerten in Homogenbereiche für die Gewerke Erdarbeiten, Bohrarbeiten sowie Ramm-, Rüttel- und Verpressarbeiten eingeteilt. Zusätzlich befindet sich in Anlage 5 eine Zusammenstellung aller durchgeführten Laborversuche und deren Ergebnisse.

5.2 Erdarbeiten (ERD23)

Die im Untersuchungsbereich anstehende Schichtenfolge wird nachfolgend auf der Grundlage des erarbeiteten Baugrundmodells (siehe Abschnitt 2.7), den labortechnisch ermittelten Bodenkenngrößen sowie von Erfahrungswerten in Homogenbereiche gemäß VOB - Teil C für das Gewerk Erdarbeiten (ERD) gemäß DIN 18300 eingeteilt.

Die Einteilung in Homogenbereiche muss mit fortgeschriebener Planung, insbesondere unter Berücksichtigung von Bauzuständen- und -phasen, überprüft und ggf. fortgeschrieben werden. Eine Zusammenstellung der für das Gewerk Erdarbeiten (ERD) relevanten Kennwerte (Streubereiche) für die abgegrenzten Homogenbereiche findet sich in Anlage 5.1.

Homogenbereich ERD23 A:

aufgefüllte und anstehende gemischtkörnige Böden, locker bis mitteldicht gelagert sowie feinkörnige Böden weicher Konsistenz.

Homogenbereich ERD23 B:

aufgefüllte und anstehende, feinkörnige Böden, steifer bis halbfester Konsistenz.

Homogenbereich ERD23 C:

anstehende, gemischtkörnige Böden locker bis mitteldicht gelagert.

Homogenbereich ERD23 D:

anstehende, gemischtkörnige Böden mitteldicht bis dicht dichter Lagerung.

5.3 Bohrarbeiten (BOH)

Die im Untersuchungsbereich anstehende Schichtenfolge wird nachfolgend auf der Grundlage des erarbeiteten Baugrundmodells (siehe Abschnitt 2.7), den labortechnisch ermittelten Bodenkenngößen sowie von Erfahrungswerten in Homogenbereiche gemäß VOB - Teil C für das Gewerk Erdarbeiten (ERD) gemäß DIN 18300 eingeteilt.

Die Einteilung in Homogenbereiche muss mit fortgeschriebener Planung, insbesondere unter Berücksichtigung von Bauzuständen- und phasen, überprüft und ggf. fortgeschrieben werden. Eine Zusammenstellung der für das Gewerk Erdarbeiten (ERD) relevanten Kennwerte (Streubereiche) für die abgegrenzten Homogenbereiche findet sich in Anlage 5.2.

Homogenbereich BOH A:

aufgefüllte, gemischtkörnige Böden, locker gelagert und
aufgefüllte und anstehende, feinkörnige Böden, weicher Konsistenz.

Homogenbereich BOH B:

anstehende, gemischtkörnige Böden locker, mitteldicht bis dicht gelagert und
anstehende, feinkörnige Böden, steifer bis halbfester Konsistenz.

5.4 Ramm-, Rüttel- und Verpressarbeiten (RAM)

Die im Untersuchungsbereich anstehende Schichtenfolge wird nachfolgend auf der Grundlage des erarbeiteten Baugrundmodells (siehe Abschnitt 2.7), den labortechnisch ermittelten Bodenkenngößen sowie von Erfahrungswerten in Homogenbereiche gemäß VOB - Teil C für das Gewerk Ramm-, Rüttel- u. Pressarbeiten (RAM) gemäß DIN 18304 eingeteilt.

Die Einteilung in Homogenbereiche muss mit fortgeschriebener Planung, insbesondere unter Berücksichtigung von Bauzuständen- und phasen, überprüft und ggf. fortgeschrieben werden.

Homogenbereich RAM A:

aufgefüllte, gemischtkörnige Böden, locker gelagert und
aufgefüllte und anstehende, feinkörnige Böden, weicher Konsistenz.

Homogenbereich RAM B:

anstehende, gemischtkörnige Böden locker bis mitteldicht gelagert und
anstehende, feinkörnige Böden, steifer bis halbfester Konsistenz.

Homogenbereich RAM C:

anstehende, gemischtkörnige Böden mitteldicht bis dicht gelagert.

Eine schichtbezogene Zusammenstellung der für das Gewerk Bohrarbeiten relevanten Kennwerte (Streubereiche) für die abgegrenzten Homogenbereiche findet sich In Anlage 5.3. wurden die Bohr- und Sondierprofile um die Homogenbereiche ergänzt.

6 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Der vorliegende Bericht ist eine Überarbeitung des Geotechnischen Berichts vom 2014 und enthält zusätzlich Angaben. In diesem geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse sowie deren Bewertung im Bereich der zu erneuernden BÜ Bobstadt km 24,941 der Strecke 4010 Mannheim – Frankfurt Stadion dargestellt. Gegenstand der Untersuchung ist die Ermittlung von Bodenkenn- und Rechenwerten sowie von Pfahlkennwerten.

Der Baugrund besteht unter rolligen und bindigen Auffüllungen aus sandigen und kiesigen leicht-/mittelplastischen Tonen in weich-steifer bis halbfester Konsistenz. Darunter folgen Sande und lokal Kiese in lockerer und mitteldichter-dichter Lagerung.

Mit den ausgeführten Bohrungen wurde ein Grundwasserstockwerk, in den Sanden, angetroffen. Das Grundwasser liegt in leicht gespannter Form vor. Der höchste Ruhewasserstand wurde in der Bohrung BK 2 bei 2,57 m unter GOK gemessen. Eine hydrologische Bearbeitung der GW-Schwankung folgt in einem separaten Bericht.

In Abschnitt 2 wird aus den erkundeten Bodenschichten ein Baugrundmodell gebildet und die zugehörigen Boden- und Berechnungskennwerte angegeben. Ferner werden in diesem Abschnitt Aussagen zur Rammfähigkeit und Versickerungsfähigkeit des Untergrundes gemacht. Angaben zur Gründung auf Ramm, Bohr und Mikropfähle enthält Abschnitt 3.

Eine Einteilung des erkundeten Baugrunds in Homogenbereiche gemäß VOB/C 2012, Ergänzungsband 2015 wurde für die zu erwartenden Arbeiten vorgenommen und befindet sich in Kapitel 5 und Anlage 5. Die Einteilung in Homogenbereiche muss mit fortschreitender Planung,

insbesondere unter Berücksichtigung von Bauzuständen und -phasen, überprüft und ggf. fortgeschrieben werden.

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.

aufgestellt:

Dipl.-Ing. M.Sc. Anna Ehrhardt