



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

DB Netz AG
(I.NP-SW-M 4)
Herr Hilligardt
Mönchstraße 29
70191 Stuttgart

Projekt-Nr.
36.4303

Datei
P4303b160622-ü.docx

Diktat
CSp/Sa

Büro
Esslingen

Datum
22.06.2016

EÜ Bilfingen
Oberleitungsmaste
DB-Strecke 4200

- Ergänzendes Baugrundgutachten für Oberleitungsmaste -
- überarbeitete Fassung vom 22.06.2016 -

Rahmen Vertrag Nr. 1000/EKX/92202227

Bestellung 0016/KJ5/25866936

vom 11.09.2015

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang
Zentrale Witten: Westfalenstraße 5 - 9, D-58455 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de
<http://www.dr-spang.de>
Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Rennbahnstraße 72 – 74, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de
06618 Naumburg, H.-von-Stephan-Platz 1, Tel. (03445) 762-0, Fax 762-162, naumburg@dr-spang.de
90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de
Banken: Deutsche Bank AG, Esslingen, IBAN: DE46 6117 0024 0010 4299 00, BIC: DEUTDEDB611



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	3
1.1 Projekt	3
1.2 Auftrag	3
1.3 Unterlagen	3
1.4 Untersuchungen	4
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	5
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	5
2.2 Baugrund	6
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	8
2.4 Geotechnische Besonderheiten	9
3. BODENKENNWERTE	10
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	10
3.2 Bodenkennwerte	11
3.3 Felsmechanische Kennwerte	11
3.4 Homogenbereiche	12
3.4.1 Allgemeines	12
3.4.2 DIN 18 301 Bohrarbeiten	13
3.4.3 DIN 18 304 Ramm/Rüttelarbeiten	14
4. FOLGERUNGEN	14
4.1 Gründung Oberleitungsmaste	14
5. EMPFEHLUNGEN	16
5.1 Flachgründung	16
5.2 Rammpfahlgründung	18
5.3 Horizontale Bettung von Pfahlgründungen	18
5.4 Sonstige Empfehlungen	19
6. ANLAGEN	
Anlage 1: Übersichtslageplan, 1 : 100.000 (2)	
Anlage 2: Lageplan mit Aufschlusspunkten, 1 : 1000 (2)	
Anlage 3.1: Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)	
Anlage 3.2: Bohrsondierungen (BS) (8)	
Anlage 3.3: Mittelschwere und schwere Rammsondierungen (DPM, DPH) (8)	



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

An der Strecke 4200 KA-Durlach - Pforzheim ist im Zuge der Erneuerung der Eisenbahnüberführung (EÜ) 275 in Kämpfelbach - Bilfingen eine Verschiebung und der damit verbundene Neubau von 8 Oberleitungsmaste zwischen km 16,927 bis km 17,088 geplant.

Am 18.06.2015 wurde bereits ein Baugrundgutachten und Umwelttechnisches Gutachten zur Erneuerung der EÜ 275 verschickt. Weiterhin wurde am 02.02.2016 bereits ein Baugrundgutachten mit Empfehlungen zu einer Tiefgründung der EÜ 275 vorgelegt.

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf die Gründung der Oberleitungsmaste.

1.2 Auftrag

Auf Basis des Angebots vom 11.09.2015 wurde die Dr. Spang GmbH von der DB Netz AG am 21.09.2015 damit beauftragt, neben dem Baugrundgutachten für eine Tiefgründung der EÜ außerdem eine Baugrunderkundung für die Oberleitungsmaste im o.g. Streckenbereich vorzulegen. Nach Prüfung durch den AG [U 10] wurden Änderungen durchgeführt, insbesondere wurde die Variante Flachgründung ergänzt.

1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

[U 1] DB-Strecke 4200, Erneuerung EÜ 275 Bilfingen, km 17,001, Baugrundgutachten und Umwelttechnisches Gutachten; Dr. Spang GmbH, Esslingen, 18.06.2015.

[U 2] Erneuerung EÜ 275 Bilfingen, km 17,001, DB-Strecke 4200, Ergänztes Baugrundgutachten für Tiefgründung und Umwelttechnisches Gutachten; Dr. Spang GmbH, Esslingen, 02.02.2016.



- [U 3] **Geologische Karte von Baden-Württemberg, 1:25.000 mit Erläuterungen**, Blatt 7018, Pforzheim - Nord, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., 1984.
- [U 4] **Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg**, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>, Stand 13.04.2016.
- [U 5] **Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Hochwassergefahrenkarte**, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>, Stand 13.04.2016.
- [U 6] **Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg**, Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg i. Br., 2005
- [U 7] **Geologie von Baden-Württemberg**, 5. Auflage, O.F. Geyer / M.P. Gwinner, Schweizerbart, Stuttgart 2011.
- [U 8] **Regelfahrleitung der DB, Fundamente für Aufsetz- und Flachmaste**, 3 Ebs 03.01.01, Deutsche Bundesbahn.
- [U 9] **Fundamente für Aufsetz-Winkelmasten, GVT 3518116, DB**, 3 Ebs 03.02.03.
- [U 10] **Email des Auftraggebers vom 12.05.2016, Betreff "z.H. Frau Saalbach: EÜ Bilfingen - Gutachten zu Oberleitungsmastgründung"**.

1.4 Untersuchungen

Im Zeitraum vom 21.03.2016 bis zum 23.03.2016 wurden im Untersuchungsgebiet durch Mitarbeiter der Dr. Spang GmbH **8 Kleinrammbohrungen (BS)**, Schappendurchmesser 80 - 40 mm) nach DIN EN ISO 22 475-1 Tabelle 2, Zeile 9 bis in eine Tiefe von maximal 7,0 m unter Geländeoberkante (GOK) und zusätzlich zur Erkundung der Lagerungsdichte / Konsistenz **6 Sondierung** mit der **mittelschweren Rammsonde (DPM)** nach DIN EN ISO 22 476-2 bis in eine Tiefe von 7 m u. GOK niedergebracht. Des Weiteren wurden **2 Sondierungen** mit der **schweren Rammsonde (DPH)** durchgeführt. Es wurden bei dem jeweiligen Kilometer jeweils links und rechts der Bahn Aufschlüsse abgeteuft.



Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 und nach DIN 18 196 gruppiert sowie nach DIN 18 300 klassifiziert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 3.2 dargestellt. Die Daten der mittelschweren und schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476-2 als Rammdiagramm in Anlage 3.3 enthalten.

Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig eingemessen. Die Lage der Aufschlusspunkte ist in Anlage 2.1 dargestellt. Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind den Darstellungen in Anlage 3 zu entnehmen. Als Bezugspunkt für die Höhenmessung diente die Gleisoberkante.

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Das Untersuchungsgebiet liegt auf der Strecke 4200 von KA-Durlach - Pforzheim. Es sind an 4 Stellen, jeweils links und rechts der Bahn Oberleitungsmaste geplant (insgesamt 8 Oberleitungsmaste). Die EÜ überführt die Gleise über die Kirchgrundstraße. Das Bauwerk liegt ca. 75 m nördlich des Haltepunkts Bilfingen. Die Schienenoberkante liegt bei ca. 203,7 mNN. Es befinden sich jeweils nördlich und südlich von der EÜ je 4 Maste, welche einen Abstand von ca. 50 m aufweisen. Die EÜ ist von der Schienenoberkante bis zur Kirchgrundstraße im Mittel ca. 4,3 m hoch. Die Böschung des Bahndamms hat laut Planunterlagen eine Neigung 2:3 also ca. 33° [U 1].

Die Vegetation besteht überwiegend aus niedrigwüchsiger Ruderalvegetation. Beide Seiten der EÜ sind stellenweise sehr dicht bewachsen (u.a. Brombeergestrüpp, Büsche). Bautechnisch relevante Anzeichen (Böschungsinstabilität, Feuchteanzeiger) sind aus der vorhandenen Vegetation nicht abzuleiten.

Auf der östlichen Seite der EÜ befinden sich an der Kirchgrundstraße zwei Wohnhäuser in ca. 15 m Entfernung. Auf der westlichen Seite sind die Wohnhäuser ebenfalls ca. 15 m entfernt.



2.2 Baugrund

Gemäß der geologischen Karte [U 3] baut sich der Untergrund des Projektgebiets aus den Schichten der mittleren Trias (Muschelkalk) auf. Die EÜ befindet sich im Bereich des unteren Muschelkalks. Die Oberfläche besteht aus "jüngsten Anschwemmungen der Haupt- und Nebentäler" (a). Die fluviatilen Ablagerungen setzen sich aus den im Hangenden des Projektgebiets folgenden Schichten sowie den flussaufwärts anstehenden Gesteinen zusammen. Im Dammbereich wechseln sich schluffige, feinsandige, tonige, schwach kiesige, zum Teil steinige Auffüllungen mit kiesigen, sandigen, zum Teil schluffigen Auffüllungen (**Schicht 1**) ab. Unter den Auffüllungen folgt ein feinsandiger, toniger, kiesiger Schluff bzw. stark schluffiger, toniger, feinsandiger Kies (**Schicht 2**).

Nach den Erkundungsergebnissen aus den 8 Bohrsondierungen (**BS km 16,927 l.d.B./r.d.B., BS km 16,977 l.d.B./r.d.B., BS km 17,027 l.d.B./r.d.B. und BS km 17,088 l.d.B./r.d.B.**) und den 6 mittelschweren bzw. den 2 schweren Rammsondierungen (**DPM km 16,927 l.d.B./r.d.B., DPM km 16,977 l.d.B./r.d.B., DPH 17,027 r.d.B., DPM 17,027 l.d.B., DPH km 17,088 r.d.B. und DPM km 17,088 l.d.B.**) wurden folgende Schichten angetroffen.

Schicht 1 - Auffüllung - gemischtkörnig: Die Auffüllung wurden in allen Bohrsondierungen angetroffen und besteht hauptsächlich aus sandigem, schluffigen, teilweise tonigen, selten humosen Kies und vereinzelt aus einem tonigen, kiesigen, sandigen Schluff. Das Material ist stark kalkhaltig und weist eine braune bis graubraune Farbe auf. Der Kies ist kantig bis kantengerundet ausgebildet. Das Material wurde durchwegs erdfeucht angetroffen. Aufgrund der direkten Lage im Streckenbereich kann oberflächennah Gleisschotter angetroffen werden. In einer der Sondierungen (BS km 17,088 l.d.B.) wurde Schwarzdecke erkundet (Schicht 0).

Die Schlagzahlen der mittelschweren Rammsonde liegen zwischen $N_{10} = 1 - 9$ und entsprechen gemischtkörnigen Böden mit überwiegend lockeren - mittleren Lagerungsdichte bzw. einer weichen Konsistenz. Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde liegen zwischen $N_{10} = 1 - 3$ und entsprechen einem gemischtkörnigen Boden mit einer lockeren - mitteldichten Lagerung.

Schicht 2 - holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente: Die Schicht 2 wurde in allen Bohrsondierungen erkundet. Die Schicht 2 ist stark kalkhaltig und besteht aus einem braunen bis graubraunen, tonig bis schwach tonigen, feinsandigem, kiesigem Schluff bzw. einem sandigen, stark schluffigen Kies. Der schluffige bis stark schluffige Kies wurde lediglich bei km 17,088



erkundet. Die Schicht ist inhomogen ausgebildet, die Anteile an Ton und Kies variieren. Die Schicht weist eine weiche bis steife Konsistenz auf, die mit der Tiefe zunimmt. Es wurden durchweg erdfeuchte Verhältnisse angetroffen.

Die Schlagzahlen der mittelschweren Rammsonde liegen zwischen $N_{10} = 1 - 30$, vereinzelt treten Schlagzahlen von ca. 40 auf, im Durchschnitt wurden Schlagzahlen von ca. 10 erreicht. Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde liegen zwischen $N_{10} = 2 - 8$ und entsprechen ebenso einer weichen bis steifen Konsistenz bzw. einer lockeren bis mitteldichten Lagerung. Der Anstieg der Schlagzahlen vor Erreichen der Endteufe deutet auf Rammhindernisse in Form von Grobkies und Steinen hin. Aufgrund von Gefügestörungen beim Rammvorgang und den daraus resultierenden geringeren Konsistenzen bzw. Lagerungsdichten, ist für die Schicht 2 die Sondenansprache maßgebend.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Schichtmächtigkeit [m]	Schicht-UK [m u. SO] ¹⁾	Bodenbeschreibung	
				Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
0	Schwarzdecke	0,05	0,35	schwarz	-
1	Auffüllung gemischtkörnig	0,2 - 1,5	0,5 - 2,6	Schluff, kiesig, sandig, tonig; Kies, schluffig, sandig, tonig / braun, graubraun	weich / locker - mitteldicht
2	holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente	4,0 - > 6,8	3,9 - > 8 ¹⁾	Schluff, kiesig, sandig, tonig; Kies, schluffig, sandig, tonig / braun, grau, beige	weich - steif / locker - mitteldicht

1) Schicht-UK nicht aufgeschlossen

Tabelle 2.2-1: Baugrundaufbau

Der erkundete Schichtaufbau entspricht grundsätzlich den stratigraphischen Angaben aus der geologischen Karte [U 2].



2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Die EÜ und die daneben befindlichen Oberleitungsmaste liegen ca. 230 m westlich des Kämpfelbachs. Dieser ist im Bereich von Biflingen jedoch auf einer Strecke von ca. 350 m zwischen Kapellenstraße und Goethestraße verdolt.

Es ist davon auszugehen, dass der Grundwasserspiegel mit dem Wasserspiegel des Kämpfelbachs korrespondiert. Der Kämpfelbach liegt auf einer Höhe von ca. 188 mNN. Mit Überflutungen aus dem Kämpfelbach im Hochwasserfall ist deshalb nicht zu rechnen. Laut [U 5] liegt das Gebiet in keinem Überschwemmungsgebiet.

Grundwasser wurde laut [U 2] erst im Unteren Muschelkalk angetroffen, der freie Wasserspiegel stieg dann rasch auf ein Niveau oberhalb der OK der Schicht 3 an. Es ist daher von leicht gespannten Grundwasserverhältnissen im Unteren Muschelkalk auszugehen. Bei der Erkundung für das ergänzte Baugrundgutachten [U 2] wurde in der Kernbohrung BK 1 am 29.01.2016 Grundwasser bei 7,95 m u. GOK angetroffen. In der BK 2 am 01.02.2016 bei 8,54 m u. GOK, in der BK 3 bei 8,53 m u. GOK. Es ist von einem zum Kämpfelbach hin abfallenden Grundwasserspiegel bei einem Niveau von 191 mNN auszugehen.

Die tieferliegenden Schichten des Unteren Muschelkalks (Jena-Formation) bilden einen bis ca. 50 m mächtigen überwiegend schichtig gegliederter Kluft- und/oder Karstgrundwasserleiter, Basis des Grundwasserleiters ist die untere Begrenzung der jeweils wasserleitenden Schicht. Die tiefsten Schichten des Unteren Muschelkalks stellen einen regionalen Grundwasserleiter dar, dessen Basis die Oberkante des als Grundwassergeringleiters einzuordnende Rötton-Formation des Oberen Buntsandstein ist. Die Rötton-Formation trennt die regionalen Grundwasserstockwerke von Muschelkalk und Buntsandstein [U 7].

Der **Bemessungswasserstand** wird auf GOK festgelegt (Dammoberkante), da sich in den bindigen Auffüllungen (Schicht 1) und den holozäne Abschwemmmassen und Auensedimenten (Schicht 2) Niederschlagswasser aufstauen kann und somit bis zur GOK mit Stau- und Schichtwässern zu rechnen ist. Soweit durch rückstaufreie Drainagemaßnahmen der Aufstau bzw. die Entwicklung von Wasserdruck an den jeweiligen Bauwerken/Bauteilen wirkungsvoll verhindert wird, kann der Bemessungswasserstand auf die jeweilige Rohroberkante der Drainage abgesenkt werden.



Der **Bauwasserstand** wird, aufgrund des angetroffenen Grundwasserstands auf ca. 15 m u. SO (193,0 mNN) festgelegt, es ist aber auch darüber durchweg mit auftretenden Stau- und Schichtwässern zu rechnen.

Hinsichtlich der **Durchlässigkeit** sind die im Baufeld angetroffenen Schichten nach DIN 18°130 aufgrund von Erfahrungs- und Literaturwerten wie folgt einzustufen:

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeit k_f [m/s]	Durchlässigkeit nach DIN 18 130
1	Auffüllung gemischtkörnig	$1 \times 10^{-2} - 1 \times 10^{-8}$	stark durchlässig bis schwach durchlässig
2	holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-8}$	durchlässig bis schwach durchlässig

Tabelle 2.3-1: Durchlässigkeiten

Eine Wasseranalyse auf **Betonaggressivität** des Grundwassers nach DIN 4030 und **Stahlaggressivität** nach DIN 50 929 konnte aufgrund der fehlenden Möglichkeit Wasser aus dem Bohrloch zu entnehmen nicht durchgeführt werden. Nach [U 6] ist Grundwasser, das kalkhaltiges Locker- und Festgestein durchflossen hat, im Allgemeinen als **nicht betonangreifend** und **nicht stahlangreifend** einzustufen. Des Weiteren sind Schicht- und Oberflächenwässer im Allgemeinen als nicht betonangreifend und nicht stahlangreifend einzustufen.

2.4 Geotechnische Besonderheiten

Das Untersuchungsgebiet liegt nicht direkt in einer Naturschutzzone, jedoch befinden sich um Bifingen mehrere Wasserschutz und Naturschutzgebiete sowie mehrere Biotope [U 4].

Nach DIN EN 1998-1 / NA:2011-01 liegt das Baufeld in der **Erdbebenzone 0**.

Das Projektgebiet befindet sich in der **Frosteinwirkungszone I** nach der Ril 836.4101A04.

Die **Rammpbarkeit der Schichten** im Untersuchungsbereich kann aufgrund der Schlagzahlen der schweren und mittleren Rammsonde wie folgt angesetzt werden:



Schichten	Bezeichnung
1 Auffüllung, gemischtkörnig	leicht bis schwer rammbär, mit Rammhindernissen ist zu rechnen ¹⁾
2 holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente	mittelschwer bis schwer rammbär mit Rammhindernissen ist zu rechnen, Restfelsbänke in Schicht ¹⁾

1) Rammarbeiten sind nur mit Zusatzmaßnahmen (z.B. Lockerungsbohrungen oder Austauschbohrungen) möglich

Tabelle 2.4-1: Rammbbarkeit der Bodenschichten

Bei mittelschwer und schwer rammbaren Böden und Böden die Rammhindernisse enthalten können (Schicht 1 und Schicht 2) ist bei Rammarbeiten davon auszugehen, dass die Arbeiten ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen (z.B. Lockerungs- bzw. Austauschbohrungen) möglich sind. Dies ist im Zuge der weiteren Planung und bei der Ausschreibung zu beachten.

3. BODENKENNWERTE

3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke

Nach den Erkundungsergebnissen sowie den Archivunterlagen lassen sich die im Projektgebiet zu erwartenden Böden wie folgt geotechnisch klassifizieren.

Schicht-Nr.	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frostempfindlichkeit ²⁾	Verdichtbarkeit ³⁾
		DIN 18 196 ¹⁾	DIN 18 300 ¹⁾	DIN 18301		
1	Auffüllung gemischtkörnig	A [UL, TL, GU, GU*]	1, 3 - 5 (2) ⁴⁾ (6) ⁵⁾	BN 1 - BN 2 BB2 - BB3 (BS1, BS3) ⁶⁾	F2 - F3	V2 - V3
2	holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente	TL, UL, GU*	3 - 5 (2) ⁴⁾ (6) ⁵⁾	BN1 - BN2 BS1 - BS4	F1 - F3	V1 - V2

1) gemäß DIN 18 3xx:2012-09

2) Nach ZTV E-StB 09, Tab. 1 (F1 nicht frostempfindlich, F3 sehr frostempfindlich).

3) V1 = verdichtbar, V2 = eingeschränkt verdichtbar V3 = schwer verdichtbar.

4) Der angegebene Boden kann bei Wassersättigung infolge Störung der Lagerung in Bodenklasse 2 nach DIN 18 300-2012 übergehen.

5) Bodenklasse 6 und 7 bei entsprechendem Steinanteil und Schutt

6) Bezeichnung nach DIN 4023

Tabelle 3.1-1: Bodenklassifizierung



Die Angaben der Boden- und Felsklassen der Tabelle 3.1-1 nach der zurückgezogenen DIN 18 3xx (Ausgabe 2012) erfolgt informativ. Nach aktuell gültiger DIN 18 3xx (Ausgabe 2015) ist Boden und Fels in Homogenbereiche einzuteilen. Bei der Festlegung der Homogenbereiche sind einsetzbare Bauverfahren und Baugeräte zu berücksichtigen. Eine vorläufige Einteilung in Homogenbereiche wird in Kap. 3.4 Homogenbereiche vorgenommen.

3.2 Bodenkennwerte

Auf der Basis der Untersuchungen und von umfangreichen Erfahrungen mit den im Projektgebiet anstehenden Böden lassen sich die in Tabelle 3.2-1 zusammengestellten charakteristischen Bodenkennwerte angeben.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden	Wichte unter Auftrieb	Rei- bungs- winkel	Kohä- sion	Undrai- nierte Kohäsion	Steife- modul
		γ_k [kN/m ³]	γ_k' [kN/m ³]	φ_k' [°]	c_k' [kN/m ²]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	$E_{s,k}$ ¹⁾ [MN/m ²]
1	Auffüllung gemischtkörnig	19	9	25	2	15	5
2	holozäne Abschwemm- massen und Auensedimente	20	10	27,5 (25)	10 (5)	30 (20)	8 - 15 (4 - 8)

1) Ermittlung des Steifemoduls $E_{s,k}$ für den Laststeigerungsbereich 0 bis 300 kN/m²

2) Klammerwerte gelten für weiche bzw. weiche-steife Böden

Tabelle 3.2-1: Charakteristische Bodenkennwerte

Die Werte gelten für mindestens mitteldicht gelagerte bzw. mindestens steife bis halfeste Böden, sofern nicht anders angegeben. Lokale Abweichungen sind möglich.

3.3 Felsmechanische Kennwerte

Für das im Baufeld anstehende Festgestein lassen sich die folgenden charakteristischen Kennwerte angeben.



Schicht-Nr.	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Reibungs- Winkel ¹⁾ φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Einax. Druckfestig- keit Gestein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-Modul Gebirge E_k [MN/m ²]
3	Mst, Kst	26,5	35	≥ 0	40 - 90 ²⁾	1.000 - 10.000

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

2) je nach Lithologie und sedimentärer Schichtung, Einzelwerte ggf. höher.

Tabelle 3.3-1: Charakteristische felsmechanische Kennwerte.

Die Werte gelten für angewittertes bis frisches Gebirge, sofern nicht anders angegeben.

3.4 Homogenbereiche

3.4.1 Allgemeines

Boden und Fels ist gemäß den Normen der VOB/C (Ausgabe 2015) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen. Ein Homogenbereich ist dabei ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für die in den einzelnen Gewerken einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist. Die Homogenbereiche sind somit ggf. gewerkespezifisch festzulegen und hängen von den einsetzbaren Baugeräten ab. Da die geplanten Bauverfahren zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht festgelegt waren, erfolgt eine vorläufige Einteilung auf Basis der empfohlenen Verfahren gemäß Kap. 5, die im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten ist. Umweltrelevante Inhaltsstoffe sind bei der Einteilung der Homogenbereiche nicht berücksichtigt, da auftragsgemäß keine Untersuchungen durchgeführt wurden und derzeit keine Erkenntnisse vorliegen.

Die Homogenbereiche und die angegebenen Eigenschaften beschreiben den Zustand des Bodens und Fels vor dem Lösen. Bei den aufgeführten Eigenschaften und Kennwerten handelt es sich nicht um charakteristische Kennwerte für Berechnungen, sondern um mögliche Spannbreiten, die zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit von Boden und Fels verwendet werden können.

Die Einteilung der Homogenbereiche ist zur Ausschreibung unter Berücksichtigung der geplanten Bauverfahren vom Planer und geotechnischen Gutachter zu überprüfen und ggf. anzupassen.



3.4.2 DIN 18 301 Bohrarbeiten

Für die Herstellung der Oberleitungsmaste werden Rammarbeiten erforderlich, welche ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen, z.B. Lockerungs- oder Austauschbohrungen möglich sind. Für diese Arbeiten können die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Bohrarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß Tabelle 3.4.2-1 verwendet werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Bohrungen für Lockerungs- oder Austauschbohrungen durch Großbohrgeräte ausgeführt werden.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Bohr-A
Schicht Nr.	1, 2
ortsübliche Bezeichnung	Auffüllung, Schwemm- und Auensedimente
umweltrelevante Einstufung	nicht untersucht, organoleptisch unauffällig
Bodenart, Korngrößenverteilung	G, s, u, t - U, t, s, g, x
Massenanteil Steine [%]	0 - 30
Blöcke [%]	0 - 20
große Blöcke [%]	0 - 10
Kohäsion c' [kN/m ²]	0 - 20
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	0 - 50
Wassergehalt w_n [%]	10 - 30
Plastizität $I_p^{1)}$	nicht plastisch - mittel plastisch
Konsistenz $I_c^{1)}$	weich - halbfest
bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1)}$	locker - dicht
Abrasivität LCPC ²⁾	nicht abrasiv bis stark abrasiv ³⁾
Bodengruppe	TL, TM, UL, UM, SU, SU*, GU, GU*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

2) Begriffe gemäß Käsling, H. & Thuro, K.: Bestimmung der Gesteinsabrasivität - Versuchstechniken und Anwendung; in: DGGT, 31. Baugrundtagung, 2010

3) Werte nur geschätzt, auftragsgemäß keine Laborversuche nach LCPC ausgeführt

Tabelle 3.4.2-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Bohrarbeiten im Boden.



3.4.3 DIN 18 304 Ramm/Rüttelarbeiten

Für Ramm- und Rüttelarbeiten zur Herstellung der Oberleitungsmaste können die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Ramm/Rüttelarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche gemäß der Tabelle 3.4.2-1 verwendet werden. Der Homogenbereich gilt für ein Rammgerät mit starrer Führung und schwerem Rammbär oder Vibrator. Für ein Anbaugerät an den Hydraulikarm eines Baggers (z.B. bei gleisgebundenen Arbeiten an ein 2-Wege-Gerät) sind z.T. nur um mehrere Meter geringere Rammtiefen möglich.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Ramm-A
Schicht Nr.	1, 2
ortsübliche Bezeichnung	Auffüllung, Schwemm- und Auensedimente
Bodenart, Korngrößenverteilung	G, s, u, t - U, t, s, g, x
Massenanteil	
Steine [%]	0 - 30
Blöcke [%]	0 - 20
große Blöcke [%]	0 - 10
Wassergehalt w_n [%]	10 - 30
Plastizität $I_p^{1)}$	nicht plastisch - mittelplastisch
Konsistenz $I_c^{1)}$	weich - halbfest
bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1)}$	locker - dicht
Bodengruppe	TL, TM, UL, UM, SU, SU*, GU, GU*

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

Tabelle 3.4.3-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 304 für Ramm- und Rüttelarbeiten.

4. FOLGERUNGEN

4.1 Gründung Oberleitungsmaste

Oberleitungsmaste werden mit Ortbetonfundamenten oder Rammrohren mit statischem Nachweis gegründet. Gründungen mittels Blockfundamenten (Ortbeton) können verwendet werden, sofern die Nachweise der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Materialermüdung unter Berücksichtigung aller Einwirkungen einschließlich von Druck und Sog aus Zugverkehr geführt werden.



Die gemischtkörnigen Auffüllungen (Schicht 1) sowie die holozänen Abschwemmmassen und Auensedimente (Schicht 2) sind rammpbar und können zur Abtragung von Lasten bei Rammgründungen herangezogen werden.

Die nachfolgende Tabelle führt für alle Maststandorte die anstehenden Böden mit den entsprechenden Tiefen (in m u. SO) am jeweiligen Standort auf.

BS, DPM / DPH	Bahn-km	Schicht 1 [m u. SO] Auffüllung, gemischtkörnig ¹⁾	Schicht 2 [m u. SO] Auensedimente	rammpbar bis [m u. SO]	erkundet bis [m u. SO]
BS, DPM	16,927 r.d.B.	1,0 - 1,7	1,7 - > 8,0 ²⁾	8,0	8,0
BS, DPM	16,927 l.d.B.	0,8 - 1,2	1,2 - > 7,8 ²⁾	7,8	7,8
BS, DPM	16,977 r.d.B.	1,0 - 1,5	1,5 - > 8,0 ²⁾	8,0	8,0
BS, DPM	16,977 l.d.B.	0,7 - 0,9	0,9 - > 7,7 ²⁾	7,7	7,7
BS, DPH	17,027 r.d.B.	-0,3 - 2,0	2,0 - > 6,7 ²⁾	6,7	6,7
BS, DPM	17,027 l.d.B.	0,8 - 1,2	1,2 - > 7,8 ²⁾	7,8	7,8
BS, DPH	17,088 r.d.B.	-0,3 - 0,1	0,1 - > 3,9 ²⁾	5,3	3,9 ³⁾
BS, DPM	17,088 l.d.B.	-0,3 - 1,2	1,2 - 6,7 ²⁾	6,7	6,7

1) Oberhalb ggf. Schwarzdecke

2) Schicht-UK nicht erkundet

3) Sondierung musste aufgrund von Rammhindernissen abgebrochen werden

4) Oberhalb ggf. Gleisschotter

Tabelle 4.1-1: In den Sondierungen angetroffene Bodenschichten bei den Signalstandorten

Das Gründungsniveau für eine Flachgründung von Oberleitungsmasten ist in frostsichere Tiefen auszuführen und die angetroffenen Baugrundsichten müssen eine ausreichende Tragfähigkeit besitzen.

Die frostsichere Gründung muss unter Berücksichtigung des Frosteinwirkungsgebietes bei mindestens 0,8 m unter GOK liegen. Damit kommt die Gründungssohle in den beiden Aufschlüssen BS km 17,027 r.d.B. und BS km 17,088 l.d.B. in der Schicht 1 (Auffüllungen, gemischtkörnig) zu liegen. Die frostsichere Gründungstiefe der anderen Aufschlüsse kommt jeweils in der Schicht 2 (Auensedimente) zu liegen.



5. EMPFEHLUNGEN

5.1 Flachgründung

Die Gründungssohle für eine frostsichere Gründung ist bei mind. 0,8 m u. GOK zu wählen. Die nach den Erkundungsbohrungen in der geplanten Gründungssohle angetroffenen Böden, insbesondere der Schicht 2 (holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente) sind aufgrund der z.T. weichen Konsistenz für das geplante Bauvorhaben nicht ausreichend tragfähig und zeigen ungünstige Setzungseigenschaften. Um eine Flachgründung zu realisieren sind Zusatzmaßnahmen zur Baugrundverbesserung zwingend erforderlich.

Der nachfolgenden Tabelle sind die Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Streifenfundamente für die Schicht 2 mit einer Auflage von 0,5 m rolligem, gut verdichtbarem Material unter der Fundamentsohle zu entnehmen. Die Bemessungswerte entsprechen einer maximalen Setzung von 2 cm.

Wegen der bei den Masten zu erwartenden hohen Horizontallasten aus Erddruck und Verkehrslasten wurde bei der Ermittlung des aufnehmbaren Sohldrucks in der nachfolgenden Tabelle von einem Verhältnis von $H/V < 0,5$ ausgegangen.

kleinste Einbindetiefe des Funda- ments [m]	Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands [kN/m ²] b bzw. b'			
	0,5 m	1,0 m	2,0 m	3,0 m
1,0	135	160	170	155
1,5	190	210	185	155
2,0	250	270	190	155

ACHTUNG – Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11

Tabelle 1: Bemessungswert des Sohlwiderstands für quadratische Einzelfundamente auf einem **Bodenaustausch von 0,5 m**, auf der Schicht 2 (holozäne Abschwemmmassen und Auensedimente), $H/V < 0,5$ und Setzungsbegrenzung auf maximal 2 cm.



Die angegebenen aufnehmbaren Sohldrücke gelten für mittigen Lastangriff der Vertikallast und ein Verhältnis $H/V < 0,5$ in den angegebenen Schichten mit Bodenaustausch in der angegebenen Stärke unter der Fundamentaufstandsfläche. Die Tabellenwerte aus DIN 1054 können nicht angewendet werden, da diese maximal bis zu einem Verhältnis $H/V < 0,2$ anzuwenden sind. Im Weiteren verweisen wir auf die entsprechenden Vorgaben nach EC 7-1, A 6.10.1, A 6.10.2 und A 6.10.3.

Zum Nachweis des Abtrags der auftretenden Horizontallasten kann der Sohlreibungswinkel bei Ortbetonfundamenten als $\delta_s = \varphi'_k$ angesetzt werden.

Unterhalb der Gründungssohle ist ein Bodenaustausch bzw. eine Ausgleichsschicht von mindestens 0,5 m mit geeignetem Material (gut verdichtbares, rolliges, steinfreies Material, Bodenklasse nach DIN 18 196: GW, SW, GI, SI) erforderlich. Um den Lastabtrag zu gewährleisten ist der Bodenaustausch bzw. die Ausgleichsschicht mit einem seitlichen Überstand herzustellen, der mindestens in der Mächtigkeit des Bodenaustausch auszuführen ist.

Das Material ist nach ZTVE-StB 09, Ziffer 4.3.2, auf $D_{pr} = 100\%$ zu verdichten. Der Einbau hat lagenweise erfolgen. Die Lagen sind in einer Mächtigkeit von maximal 0,3 m einzubauen und statisch zu verdichten. Ab 0,3 m über Erdplanum darf auch dynamisch verdichtet werden. Die Verdichtung muss durch Überwachungsversuche durch uns gewährleistet werden. Ein erforderlicher Bodenaustausch ist filterfest an den bindigen Boden anzuschließen, bei einer Gesteinskörnung 0/45 ist dies in baupraktisch ausreichendem Umfang gegeben. Alternativ kann die Tieferführung der Fundamente auch durch ein Verfüllen mit Magerbeton in gleicher Mächtigkeit und entsprechendem Überstand erfolgen. Ein hohlraumfreier Einbau ist hierbei zu gewährleisten.

Das Erdplanum für den Bodenaustausch ist mit einem geeigneten Quergefälle ($\geq 3\%$) idealerweise in einem Dachprofil herzustellen, um eine funktionierende Planumsdrainage zu gewährleisten. Der Aushub ist, um Auflockerungen des Planums möglichst gering zu halten mit gerader Schneide herzustellen. Das Erdplanum darf nicht befahren werden und es darf nur rückschreitend gearbeitet werden. Ein Vernässen der bindigen Bodenschichten durch Niederschlagswasser ist zu vermeiden, aufgeweichte und aufgelockerte Bereiche sind abzutragen.



5.2 Rammpfahlgründung

Die in der Tabelle 5.2-1 angegebenen Werte gelten für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton. Die charakteristischen Pfahlkennwerte sind der EA Pfähle entnommen.

Bodenschicht	Charakteristische Pfahlmantelreibung bei $s_{sg} = 0,1 D_{eq}$ $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Charakteristischer Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [kN/m ²]	
		für die bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_{eq} [/]	
		0,035	0,10 (s_g)
1	0,02	350	550
2	0,02	450	700

Tabelle 5.2-1: Charakteristische Pfahlkennwerte für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton

Für gerammte Stahlprofile sind die Werte der Tabelle 5.2-1 mit den Anpassungsfaktoren der Tabelle 5.5 der EA Pfähle abzumindern. Die Mantelreibung ist mit $\eta_s = 0,8$ zu multiplizieren.

Anhand der durchgeführten Erkundungen, ist für einzelne Zwischenlagen nicht auszuschließen, dass Rammhindernisse auftreten. Es wird auf das Kapitel 2.4 mit den Ausführungen zur Rammbarkeit der Schichten verwiesen.

5.3 Horizontale Bettung von Pfahlgründungen

Die charakteristische horizontale Pfahlbettung $k_{s,k}$ kann nach EC 7, Abschnitt 7.7.3, über den charakteristischen Steifemodul $E_{s,k}$ und den Pfahlschaftdurchmesser D_s zu $k_{s,k} = E_{s,k} / D_s$ ermittelt werden. Für $D_s > 1,0$ m ist $D_s = 1,0$ m anzusetzen. Für $E_{s,k}$ können die in Tabelle 3.2-1 angegebenen Werte angesetzt werden.

Bei der Ermittlung des Bettungsmoduls ist für jede Tiefenlage zu prüfen, ob der ermittelte örtliche Pressungswert an keiner Stelle die Erdwiderstandsspannung $e_{ph,k}$ überschreitet. Außerdem ist nachzuweisen, dass der seitliche Bodenwiderstand nicht größer angesetzt worden ist, als es der Bemessungswert des Erdwiderstandes für den entsprechenden Teil der Einbindetiefe zulässt.



Bzgl. des Nachweises der horizontalen Pfahlbettung sind die Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA Pfähle) zu beachten.

Aufgrund der Einleitung von Horizontallasten in der Gründung ist zu prüfen, ob es negative Einwirkungen auf die Böschungsstabilität gibt.

5.4 Sonstige Empfehlungen

Für Pfahlgründungen sind fachtechnische Abnahmen der Pfahlaufstandsebenen durch den geotechnischen Sachverständigen durchzuführen. Hinsichtlich der Herstellung der Pfähle sind die Vorgaben der DIN EN 1536 zu beachten. Die Tiefenlage der ausreichend tragfähigen Schichten ist bei den Arbeiten durch den Sachverständigen für Geotechnik und der ausführenden Baufirma zu überprüfen. Es sind die in Kap. 5.2 genannten Anforderungen zu beachten.

Darüber hinaus ist eine Kontrolle der Baudurchführung gemäß EC 7, Teil 1, Abs. 4.4 vorzunehmen. Die Eignung der vorgesehenen Erdbaustoffe muss vor Beginn der Bauausführung nachgewiesen werden. Während der Bauausführung müssen die Erdarbeiten überwacht und Verdichtungskontrollen in Form einer Eigenüberwachung und durch Kontrollprüfungen vorgenommen werden.

Eine Baugrunderkundung ist naturgemäß eine stichprobenartige Bestandsaufnahme, die zwischen den Aufschlüssen Ergebnisse interpoliert. Abweichungen in gewissem Umfang sind somit nicht gänzlich auszuschließen. Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Abänderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern.

Zur Beantwortung weiterer Fragen stehen wir Ihnen gerne jederzeit zur Verfügung.

(gezeichnet)

Dipl.-Ing. Christian Spang
(Geschäftsführer)

i.A.

Stefanie Saalbach M.Sc.
(Projektgeologin)



DR. SPANG

Projekt: 36.4303

Seite 20

22.06.2016

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Herr Hilligardt, Mönchstraße 29, 70191 Stuttgart, 4 x, davon 1 x vorab per Mail <kay.hilligardt@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Herr Thomas Osti, 1 x per Mail <thomas.osti@deutschebahn.com>
 - Dr. Spang GmbH, Esslingen, 1 x



DR. SPANG

Projekt: 36.4303

Seite 20

22.06.2016

- Verteiler:**
- DB Netz AG, Herr Hilligardt, Mönchstraße 29, 70191 Stuttgart, 4 x, davon 1 x vorab per Mail <kay.hilligardt@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Herr Thomas Osti, 1 x per Mail <thomas.osti@deutschebahn.com>
 - DB Netz AG, Herr Bühl, 1 x per Mail <Timo.Buehl@deutschebahn.com>
 - Dr. Spang GmbH, Esslingen, 1 x