

Überarb. Geotechnischer Bericht

Zertifiziert nach

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

Bauvorhaben: Elektrifizierung Personenzuggleis
 Südausfahrt BASF, Ludwigshafen

Teilobjekt : Strecke 3405
 km 0,502- km 2,346
 (Ludwigshafen Hbf - BASF Tor 7a)
 Gründung Oberleitungsmasten
 und Bemessung Planumsverbesserung

Auftraggeber: DB ProjektBau GmbH
 Schwarzwaldstr. 82
 76137 Karlsruhe

Auftragsnummer DBI: D-KA00179 / 976837 / 506139
Auftragsnummer DB: G.016261917
Bearbeiter: Dipl.-Geol. R. Belz
 überarb: Dipl.-Geol. M. Domdey

Dieses Gutachten umfasst 43 Seiten und 6 Anlagen. Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nicht zulässig.

Karlsruhe, 11.11.2014

i. A. 
Dipl.-Geol. S. Bauersfeld

i. A. 
Dipl.-Geol. M. Domdey

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Allgemeines	4
1.1	Unterlagen	4
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	6
2	Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	9
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	9
2.2	Geologische Situation	9
2.3	Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	9
2.4	Hydrologische Verhältnisse	14
2.5	Kampfmittel	14
2.6	Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Bodens	14
2.7	Baugrundmodell	15
2.8	Bodenrechenwerte	17
2.9	Rammfähigkeit des Untergrundes	18
2.10	Dynamische Plattendruckversuche	19
2.11	Erdbebenzone	19
3	Geotechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen für Oberleitungsmasten	21
3.1	Allgemeines	21
3.2	Tiefgründung	21
3.2.1	Gründung mittels Fertigrammpfählen	21
3.2.2	Gründung mittels Bohrpfählen	23
3.2.3	Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse	24
3.3	Flachgründung	25
3.4	Baugrubensicherung und Wasserhaltung	26
3.5	Einfluss der Baumaßnahmen auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen	27
4	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen Gleis	28
4.1	Aktuelle / zukünftige Gleisbelastung	28
4.2	Gebrauchstauglichkeit der Erdbauwerke und des Fahrwegunterbaues	28
4.2.1	Standsicherheit	28
4.2.2	Dynamische Stabilität	28
4.3	Notwendigkeit einer Planumsverbesserung nach Ril 836.4105 Anhang 01	29

4.4	Bemessung der Planumsverbesserung nach Ril 836.4101	30
4.4.1	Anforderungen an den Unterbau/Untergrund	30
4.4.2	Homogenbereiche	31
4.4.3	Alternativvorschlag Schutzschicht auf mit Bindemittel behandeltem Planum	35
4.4.4	Alternativvorschlag Schutzschicht mit Geokunststoff	35
4.5	Materialanforderungen an die Tragschicht	35
4.6	Abnahmekriterien	35
4.7	Gleisentwässerung	36
5	Sonstige Hinweise	38
5.1	Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen	38
5.2	Geotechnische Hinweise zur Bauausführung	38
6	Zusammenfassung / Schlussbemerkungen	40

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lage- und Aufschlussplan	2 Blatt
Anlage 3	Bohr- und Sondierprofile	1 Blatt
Anlage 4	Ergebnisse der bodenmechanischen Laborversuche	16 Blatt
Anlage 5	Chemische Untersuchungen	10 Blatt
Anlage 6	Fotodokumentation	4 Blatt

1 Allgemeines

1.1 **Unterlagen**

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

- /U 1/ Interne Beauftragung der DB International GmbH Karlsruhe (I.IP-DW (1)) vom 21.10.2014.
- /U 2/ Internes Angebot der DB International GmbH Geotechnik Karlsruhe (I.IP-GG (1)) an DB International GmbH Karlsruhe (I.IP-DW (1)) vom 16.09.2014.
- /U 3/ Geotechnischer Bericht „Elektr. Personenzuggleis Südausfahrt BASF, Ludwigshafen“ DB International GmbH, Baugrund vom 07.02.2012.
- /U 4/ Fachtechnischer Prüfbericht „BASF, Elektrifizierung Südanbindung, Zusammenfassung Nr. 39-2014 B(1) Be“, DB ProjektBau GmbH vom 11.07.2014.
- /U 5/ BAST „Elektrifizierung Personenzugstrecke“ Streckenanteil DB Netz AG, Aufgabenstellung für den Anteil DB Netz AG F1.
- /U 6/ BASF/DB-I:Programming/Maßnahmenbeschreibung Elektrifizierung des Personenzuggleises Südausfahrt BASF, 14.09.2011.
- /U 7/ DB Netz AG, S-Bahn Rhein-Neckar, 2. Baustufe, Elektrifizierung BASF Südanbindung, Vorplanung Anlage 2.3, Ermittlung Streckenbelastung (Lasttonnen) vom 04.06.2012
- /U 8/ Ril 820 Grundlagen des Oberbaues, Aktual. 05 vom 01.06.2013.
- /U 9/ Ril 821.2001 Oberbau inspizieren, Aktual. 15 vom 01.05.2013.
- /U 10/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Aktual. 03 vom 01.03.2014.
- /U 11/ Ril 997.0102 Oberleitungsanlagen; Oberleitungsanlagen planen, errichten und instand halten. 01.10.2013.
- /U 12/ Planungshilfe „Eisenbahnstrecken mit Schotteroberbau auf Weichschichten, Qualitative Beurteilung der dyn. Stabilität“, DB Netz AG vom 20.08.2013
- /U 13/ DBS 918 062 Technische Lieferbedingungen Korngemische für Trag- und Schutzschichten zur Herstellung von Eisenbahnwegen, Juli 2007.
- /U 14/ DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, 04/2005.
- /U 15/ EA Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst und Sohn, 2. Auflage, 2012
- /U 16/ Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik, Teil 1. Beuth Verlag, Berlin, 2014

- /U 17/ DIN 1054; Baugrund-Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Dezember 2010
- /U 18/ DIN EN 50119:2009 & A1:2013; Bahnanwendungen-Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb. Januar 2014
- /U 19/ Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB), Bundesministerium für Verkehr, Abt. Straßenbau; 4. Aufl. 2009.
- /U 20/ DIN EN 1998-1/NA:2011-01; Nationaler Anhang - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben; Januar 2011
- /U 21/ Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg 1 : 350 000, Innenministerium Baden-Württemberg, Landesvermessungsamt Baden-Württemberg 2005
- /U 22/ Geologische Übersichtskarte CC 7110 Mannheim, Maßstab 1:200 000 (ohne Erläuterungen), herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Geologischen Landesämtern der Bundesrepublik Deutschland, 1986.
- /U 23/ Bemessungswasserstand für Frankenthal, Ludwigshafen und Teile des Rhein-Pfalz Kreises, Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft, Bodenschutz, Neustadt an der Weinstraße 03/2009.

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Die DB International GmbH, Fachbereich Geotechnik, wurde in 2011/2012 mit der Erkundung und geotechnischen Bewertung des Baugrundes der eingleisigen, nicht elektrifizierten Strecke 3405 im Bereich zwischen Ludwigshafen Hbf (km 0,502) und BASF Tor 7a (km 2,346) beauftragt. Mit einem Geotechnischen Bericht /U 3/ wurden Vorschläge für die Gründung der Oberleitungsmasten sowie eine Bewertung des Tragschichtsystems (Streckengutachten) auf Grundlage der im Dezember 2011 und Januar 2012 durchgeführten Aufschlüsse erarbeitet und am 07.02.2012 ausgeliefert.

In 2014 wurde durch die DB ProjektBau GmbH ein Fachtechnischer Prüfbericht zum Gesamtprojekt Elektrifizierung Südanbindung BASF erstellt /U 4/. In diesem Prüfbericht werden einzelne Punkte im Geotechnischen Bericht aus 2012 /U 3/ beanstandet, sowie um eine Anpassung der Bemessung der Planumsverbesserung an die zwischenzeitlich geänderten Anforderungen der Ril 836 gebeten. Die DB International GmbH, Geotechnik, wurde damit beauftragt, das vorliegende Gutachten an die aktuellen Anforderungen der Ril 836 (Aktual. 03 vom 01.03.2014), sowie die im Prüfbericht benannten Punkte anzupassen. In diesem überarbeiteten Gutachten werden die Erkundungsergebnisse nochmals wie in /U 3/ dargestellt, jedoch neu bewertet.

1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen

Die Aufschlussarbeiten wurden durch die Firma WST, Heidelberg im Dezember 2011 und Januar 2012 ausgeführt. Um den Baugrund zu erkunden, wurden Kleinrammbohrungen (RKS) und Schwere Rammsondierungen (DPH) bis maximal rd. 6,2 m unter OK Schiene durchgeführt. In den Tunnelvoreinschnitten und im Tunnelbereich wurden zur Ermittlung der Schottermächtigkeit Schürfe (S 1 bis S 10) und 2 Schurfprofile, bestehend jeweils aus 3 Einzelschürfen (SP 1 und SP2), ausgeführt. Bei 11 Schürfen wurde auf dem Erdplanum mittels leichter Fallplatte jeweils ein E_{vd} -Wert ermittelt.

Alle Ansatzpunkte der Aufschlüsse wurden auf Streckenkilometer (km), Schienenoberkante (SO) und Lage zur Gleisachse (GA) eingemessen. Die Entnahme von gestörten Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtwechsel. Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Fachbereich Geotechnik eingesehen werden.

Die Lage der Aufschlüsse ist in der Anlage 2, Blatt 1 und 2, dargestellt. Eine tabellarische Auflistung der Aufschlüsse ist aus Tabelle 1 ersichtlich. Die Baugrundprofile sind bezogen auf die Schienenoberkante in der Anlage 3 aufgetragen. Dabei wurde SO = 0,0 m angenommen.

Tabelle 1: Lage der Aufschlusspunkte

Aufschluss-Nr. / Bezeichnung	Bahn-km	Lage zur Gleisachse	Ansatzpunkt-höhe [m u. SO]	RKS Endtiefe [m u. SO]	DPH Endtiefe [m u. SO]	S Endtiefe** [m u. SO]
S/RKS/DPH 1	0,552	GA	0,18	6,18	7,00	-
S/RKS 2	0,620	GA	0,18	2,68	-	-
S/RKS/DPH 3	0,680	GA	0,18	6,18	6,00	-
S/RKS 4	0,730	2 m br	0,18	2,68	-	-
S/RKS/DPH 5a,b,c	0,800	GA	0,18	1,5*...1,9*	1,5*...1,9*	-
RKS/DPH S 1	0,855	GA	0,18	2,68	2,50	-
RKS/DPH S 2	0,955	GA	0,18	6,18	6,18	-
S 3	1,055	GA	0,18	-	-	0,70
SP 1	1,176	GA	0,18	-	-	S1a: 0,59 S1b: 0,70 S1c: 0,76
S 4	1,275	GA	0,18	-	-	0,61
S 5	1,375	GA	0,18	-	-	0,63
S 6	1,475	GA	0,18	-	-	0,67
S 7	1,575	GA	0,18	-	-	0,70
S 8	1,675	GA	0,18	-	-	0,66
SP 2	1,769	GA	0,18	-	-	S2a: 0,59 S2b: 0,70 S2c: 0,76
S 9	1,835	GA	0,18	-	-	0,68
S 10	1,900	GA	0,18	-	-	0,68
S/RKS/DPH 6	2,000	GA	0,18	6,18	6,0	-
S/RKS 7	2,100	GA	0,18	2,68	-	-
S/RKS/DPH 8	2,200	GA	0,18	6,18	6,00	-
S/RKS/DPH 9	2,300	GA	0,18	6,18	6,00	-

S - Schurf, RKS - Kleinrammbohrung, DPH - schwere Rammsondierung, SO - Schienenoberkante, br - bahnrechts, bl - bahnlinks, GA - Gleisachse

* Abbruch wg. Sondierhindernis

** Angabe der Grenztiefe Schotter/Fundamentbeton im Bereich des BASF-Tunnels mit Voreinschnitten

Alle entnommenen, gestörten Bodenproben wurden durch unsere Geologen handspezifiziert. Zur genaueren Klassifizierung der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 und Boden-

klassen nach DIN 18300 und DIN 18301 sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen Untersuchungen unterzogen worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 8 Nass-/ Trockensiebungen zur Bestimmung der Körnungslinie nach DIN 18 123
- je 2 Bestimmungen Beton- und Stahlaggressivität (Boden) nach DIN 4030 und 50939

Die Ergebnisse der Laborversuche sind in den Anlagen 4 und 5 zusammengestellt.

2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Der zu untersuchende Abschnitt der Strecke 3405 befindet sich nördlich des Hbf Ludwigshafen im Bereich der südlichen Grenze des BASF-Werksgeländes im Streckenabschnitt zwischen ca. km 0,502 bis km 2,346.

Die eingleisige, nicht elektrifizierte Strecke verläuft zum Teil in Tunnellage (km 1,174 bis km 1,690). Der restliche Streckenabschnitt verläuft mehr oder weniger in Geländegleichlage und Einschnitten. Die aktuelle V_{\max} beträgt 60 km/h.

2.2 Geologische Situation

Gemäß den Angaben der Geologischen Übersichtskarte /U 22/ befindet sich das Untersuchungsgebiet in unmittelbarer Nähe zum westlichen Rheinufer im Bereich fluvialer Lockergesteinsablagerungen der Rheintalau (Schluffe, Sande und Tone sowie darunter umgelagerte Sande und Kiese). Dies sind hauptsächlich Auesedimente in kiesiger, sandiger und teilweise lehmiger Form. Häufig vertreten sind Fein- bis Mittelsande mit schluffigen, tonigen Anteilen sowie - i.d.R. darüber lagernd - Schluffablagerungen mit wechselnden Ton- und Sandanteilen („Hochflutlehme“).

Durch den Bau der Bahnanlagen sind des Weiteren oberflächennah verschiedenartige Auffüllungen mit wechselnden Mächtigkeiten zu erwarten. Durch den Einbau von zumeist lokal vorkommenden Böden ist jedoch eine zweifelsfreie Unterscheidung zwischen aufgefülltem und gewachsenem Boden nicht immer möglich.

2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte

Gleisschotter

Die Mächtigkeit des Gleisschotters (bezogen auf Unterkante Holz-, bzw. Betonschwelle bei ca. 0,38 m u. SO) liegt anhand der Erkundungsergebnisse aus 2011 und 2012 im Untersuchungsabschnitt lokal bei ca. 0,20 m (S/RKS 8) und überwiegend zwischen ca. 0,30 m und 0,50 m. Die Mindestdicke des Schotters nach Ril 820.2010A05 von mind. 0,30 m unterhalb der Schwelle wird somit überwiegend eingehalten und nur lokal unterschritten. Die maximal zulässige Dicke (0,60 m) wird durchgehend eingehalten.

Der Verschmutzungsgrad und der Feinanteil < 31,5 mm wurden visuell bewertet. Der Gleisschotter ist bereits oberflächennah verunreinigt, wobei auch Abfall und Schrott eine

nennenswerte Rolle spielen. Der Untersuchungsbereich befindet sich auf freier Strecke. Chemische Untersuchungen des Gleisschotters sind nicht Bestandteil unserer Beauftragung.

Der Schotter ist oberflächennah nur gering mit fein- und grobkörnigem Material (Schluffe und Sande) aus den unterlagernden Böden und mit Schotterabrieb durchsetzt. Darunter steigt der Feinkornanteil an und beträgt im Bereich der Mischzone bereichsweise über 20%. Dieser Gesamtschotter entspricht somit aufgrund des erhöhten Feinanteils augenscheinlich nicht mehr den Anforderungen der DBS 918 061.

Eine Übersicht über die erkundeten Schotterverhältnisse ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Ergebnisse Schotterschürfe

Strecken km	Aufschluss	Gesamt-schotterhöhe ¹⁾ [m]	Schottermächtigkeit u. Schwelle ²⁾ [m]
0,552	S/RKS 1	0,60	0,40
0,620	S/RKS 2	0,49	0,29
0,680	S/RKS 3	0,54	0,34
0,730	S/RKS 4	0,69	0,49
0,800	S/RKS 5a	0,67	0,47 (darunter Packlage)
0,800	S/RKS 5b	0,67	0,47 (darunter Packlage)
0,800	S/RKS 5c	0,22	Packlage
0,855	S/RKS „S1“	0,47	0,27
0,955	S/RKS „S2“	0,47	0,27
1,055	S3	0,52	0,32
1,176	SP1b	0,52	0,32
1,275	S4	0,43	0,23
1,375	S5	0,45	0,25
1,475	S6	0,49	0,29
1,575	S7	0,52	0,32
1,675	S8	0,48	0,28
1,769	SP2b	0,47	0,27
1,835	S9	0,50	0,30
1,900	S10	0,50	0,30
2,000	S/RKS 6	0,70	0,50
2,100	S/RKS 7	0,63	0,43
2,200	S/RKS 8	0,40	0,20
2,300	S/RKS 9	0,54	0,34 ³⁾

¹⁾ Bezugspunkt: Schwellenoberkante; ²⁾ Bezugspunkt: Schwellenunterkante (Schwelle, d = 20 cm); ³⁾ mit Anteil an Steinen >100 mm

Die Reinigungsfähigkeit der Altschotter ist abhängig von der Kornzusammensetzung und Menge der Feinanteile, sowie vom Verschmutzungsgrad mit Fremdstoffen und dem Wassergehalt während der Reinigung. Hinsichtlich seiner mechanischen Reinigungsfähigkeit wurde der Schotter als **nur bedingt reinigungsfähig** beurteilt. Wir weisen darauf hin, dass der Schotter in nassem Zustand, aufgrund der schluffigen Anhaftungen im Bereich der Mischzone, nur erschwert abzureinigen sein kann. Abfalltechnische Untersuchungen und Prüfungen auf Korngrößenverteilung wurden nicht durchgeführt.

Auffüllungen

Unterhalb des Gleisschotters wurden bereichsweise Auffüllungen bis max. 1,7 m u. SO aus schwach schluffigem bis weitgestuftem Sand oder feinsandigem Schluff angetroffen. An km 0,800 wurde unterhalb der Schotter eine Packlage erkundet.

Anstehende Böden

Unterhalb des Gleisschotters bzw. der Auffüllungen wurden überwiegend sandige Böden mit variierendem Feinkornanteil der Bodengruppe SU, SU* und SW aufgeschlossen. Ab ca. km 2,000 stehen unterhalb der Auffüllungen feinsandige Schluffe der Bodengruppe UL in weichsteifer, z.T. halbfester Konsistenz an.

Den erkundeten Böden lassen sich die in den folgenden Tabellen enthaltenen Kennwerte (Laboruntersuchungen an ausgewählten, repräsentativen Einzelproben sowie regionale Erfahrungswerte) zuordnen:

Tabelle 3: Bodenkennwerte und Zuordnungen (Auffüllungen)

Parameter	Auffüllungen			
	nicht bindig			bindig
	[SU, SW, SI]	[X/G]	[SU*]	[UL, TL]
Bodengruppe nach DIN 18196				
Kornanteil $d \leq 0,063$ mm [%]	--	--	--	--
Kornanteil $d > 2,0$ mm [%]	--	--	--	--
Ungleichförmigkeitszahl U [-]	--	--	--	--
natürlicher Wassergehalt w_n [%]	--	--	--	--
Glühverlust [%]	--	--	--	--
Fließgrenze w_L [%]	--	--	--	--
Ausrollgrenze w_P [%]	--	--	--	--
Plastizitätszahl I_P [%]	--	--	--	--
Konsistenzzahl I_c [-]	--	--	--	--
Konsistenz	--	--	--	weich bis steif
Lagerungsdichte	mitteldicht	mitteldicht -dicht	mitteldicht	--
Durchlässigkeitswert k_f [m/s]	--	--	--	--
nach USBR/Bialas	--	--	--	--
Erfahrungswerte	$10^{-2} \dots 10^{-5}$	$10^{-2} \dots 10^{-5}$	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	$10^{-7} \dots 10^{-10}$
Durchlässigkeit nach DIN 18 130	stark durchlässig bis durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig	durchlässig bis schwach durchlässig	schwach bis sehr schwach durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300	3	5	4	4
Bodenklasse nach DIN 18 301	BN1	BS1, BS3	BN2	BB2
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 09	F1 [SW, SI], F2 [SU]	F1	F3	F3

* Einzelergebnisse, keine Mittelwerte.

Tabelle 4: Bodenkennwerte und Zuordnungen (anstehende Böden)

Parameter	Auelehme	fluviale Sande		
	(Hochflutlehme)	(Hochflutablagerungen)		
Bodengruppe nach DIN 18196	UL	SU	SU*	SW/SI, SE
Kornanteil d ≤ 0,063 mm [%]	-	12,4...20,5	32,4...47,8	1,6...4,3
Kornanteil d > 2,0 mm [%]	-	0,1...0,7	0,7...0,8	20,9...47,4
Ungleichförmigkeitszahl U [-]	-	-	-	2,9...12,7
natürlicher Wassergehalt w _n [%]	-	-	-	-
Glühverlust [%]	-	-	-	-
Fließgrenze w _L [%]	-	-	-	-
Plastizitätsgrenze w _P [%]	-	-	-	-
Plastizitätszahl I _P [%]	-	-	-	-
Konsistenzzahl I _c [-]	-	-	-	-
Konsistenz	weich bis steif (lokal halbfest)	-	-	-
Lagerungsdichte	-	mitteldicht	mitteldicht, lokal locker	mitteldicht bis dicht
Durchlässigkeitswert k _f [m/s]	-	-	-	-
nach Beyer	-	-	-	-
nach USBR/Bialas	-	2,5 * 10 ⁻⁵	-	1,9 * 10 ⁻⁴ ... 2,9 * 10 ⁻⁴
Erfahrungswerte	10 ⁻⁷ ...10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁴ ...10 ⁻⁶	10 ⁻⁵ ...10 ⁻⁷	10 ⁻² ...10 ⁻⁴
Durchlässigkeit nach IN 18 130	schwach bis sehr schwach durchlässig	schwach durchlässig bis durchlässig	schwach durchlässig bis durchlässig	stark durchlässig bis durchlässig
Bodenklasse nach DIN 18 300	4	3	4	3
Bodenklasse nach DIN 18 301	BB2, lokal BB3	BN1	BN2	BN1
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 09	F3	F2	F3	F1

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Die Aufschlussarbeiten im Streckenabschnitt wurden im Dezember 2011 und Januar 2012 durchgeführt. Direkt ausgepegelt bzw. eingemessen werden konnte dabei das obere - quartäre - Grundwasservorkommen verfahrensbedingt nur bei wenigen Bohrungen und zwar bei RKS 3 (3,80 m u. SO) und bei RKS „S2“ (4,40 m u. SO), da die Bohrlöcher von Kleinrammbohrungen insbesondere in sandigen Abfolgen im Grundwasserschwankungsbereich nur für sehr kurze Zeit standfest sind.

Als Grundwasserleiter fungieren die im gesamten Untersuchungsbereich angetroffenen fluviatilen Sande. Aufgrund der unmittelbaren Nähe zum Vorfluter Rhein ist mit einem durchgängig ausgebildeten Grundwasserleiter in den oberflächennah anstehenden Sanden zu rechnen.

Als Bemessungswasserstand ist gemäß /U 23/ für den Streckenabschnitt von ca. km 1,600 bis km 2,346 eine Höhenkote von rd. 91,0 m üNN anzusetzen. Für den Streckenabschnitt von 0,502 bis km ca. km 1,600 ist gemäß den Angaben in /U 23/ ein Bemessungswasserstand von rd. 90,5 m NN bis 91,0 m üNN anzusetzen.

Über geringdurchlässigen Schichten der darüber lagernden Hochflutlehme ist insbesondere in niederschlagsreichen Zeiten auch mit der Bildung von Stauwasser zu rechnen.

2.5 Kampfmittel

In dem untersuchten Streckenabschnitt im unmittelbaren Nahbereich zur BASF, Ludwigshafen besteht dringender Kampfmittelverdacht. Alle Bohransatzpunkte wurden daher in 2011/2012 auf Kampfmittel freigemessen. Es waren hierbei keine Indikatoren für das Vorhandensein von Kampfmitteln nachweisbar. Für das weitere Bauvorhaben kann das Vorhandensein von Kampfmitteln jedoch nicht ausgeschlossen werden.

2.6 Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Bodens

Zur Beurteilung der Betonaggressivität und Stahlkorrosivität des Bodens wurden repräsentative Bodenproben für die überwiegend anstehenden mehr oder weniger bindig ausgebildeten Sande entnommen und auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe nach DIN 4030 und DIN 50939 untersucht.

Tabelle 5: Beurteilung Beton- und Stahlaggressivität (Boden)

Probe	Strecken-km; Entnahmetiefe	nach DIN 4030	nach DIN 50929 T3			
		Beurteilung entspr. DIN 4030	Bodenklasse	Einschätzung	Korrosionswahr- scheinlichkeit bzgl. Mulden- und Lochkorrosion	Korrosions- wahrscheinlich keit bzgl. Flächenkorrosi on
RKS 2	km 0,620; 1,6 -2,0 m	nicht betonangreifend	-	-	-	-
RKS 6	km 2,000; 3,8-4,8 m	nicht betonangreifend	-	-	-	-
RKS 3	km 0,680; 5,0-6,0 m	-	la	prakt. nicht aggressiv	sehr gering	sehr gering
RKS 9	km 2,300; 1,8 - 2,9 m	-	lb	schwach aggressiv	gering	sehr gering

ET: Entnahmetiefe; -: nicht untersucht

Entsprechend der Grenzwerte nach DIN 4030 Teil 1 können die vorherrschenden Sande als nicht betonangreifend eingestuft werden.

Die Korrosionswahrscheinlichkeiten bei freier Korrosion von unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen kann (mit Bezug auf umgebende Böden) sowohl hinsichtlich Mulden- und Lochkorrosion als auch hinsichtlich der Flächenkorrosion (DIN 50929 Teil 3) als überwiegend sehr gering bis gering bewertet werden. Der Boden kann nach DIN 50939 T3 als praktisch nicht aggressiv bis schwach aggressiv eingeschätzt werden.

Die Analyseprotokolle der chemischen Untersuchungen liegen in der Anlage 5 bei.

2.7 Baugrundmodell

Im Ergebnis der Baugrunderkundungen und der Laboruntersuchungen 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.

Das für den untersuchten Bereich zusammengestellte Baugrundmodell ist der Tabelle 6 und Tabelle 7 zu entnehmen. Der Schichtenverlauf, bzw. die Zuordnung zu den abgegrenzten Schichteinheiten, ist im geologischen Schnitt der Anlage 3 dargestellt.

Tabelle 6: Baugrundmodell (Auffüllungen)

Gruppe		Schicht		Beschreibung	Lagerungs- dichte	Konsistenz	Bodengruppe (DIN 18196)	Bodenklasse (DIN 18300)
Auffüllung	grobkörnig	1	1.1.1.	Auffüllung (allgemein)			[A]	3-5
			1.2.1.	Auffüllung, Sand, schw. kiesig, tw. schw. schluffig/tonig	lo	[SW/SI-SU]	3	
			1.2.2.		md		3	
			1.2.3.		d		3	
			1.3.1.	Auffüllung, Sand, schluffig/tonig, schw. kiesig bis kiesig	lo	[SU*]	4	
			1.3.2.		md		4	
			1.3.3.		d		4	
	fein-körnig		1.4.1.	Schluff / (Ton), kiesig	Auffüllung, leichtplastische tonige Schluffe	we	[UL/TL]	4
			1.4.2.			st		4
			1.4.3.			hf		4

lo lockere Lagerung we weiche Konsistenz
md mitteldichte Lagerung st steife Konsistenz
d dichte Lagerung hf halbfeste Konsistenz

Tabelle 7: Baugrundmodell (anstehende Böden)

Gruppe		Schicht		Beschreibung	Lagerungs- dichte	Konsistenz	Bodengruppe (DIN 18196)	Bodenklasse (DIN 18300)	
Hochflutablagerungen	fein-körnig		2.1.1.	Schluff	leichtplastische Schluffe (Tone)	we	UL/TL	4	
			2.1.2.			st		4	
			2.1.3.			hf		4	
	grobkörnig	2	2.2.1.	Sand	(enggestufte) Fein- u. Mittelsande, tlw. schw. schluffig/tonig	lo	SE-SU	3	
						2.2.2.		md	3
						2.2.3.		d	3
			2.3.1.	schluffig/tonige bis stark schluffig/tonige Fein- bis Mittelsande, lokal sehr schw. kiesig, (lokal mit Schlufflagen)	lo	SU*	4		
			2.3.2.		md		4		
			2.3.3.		d		4		
			2.4.1.	weit- bzw. intermittierend gestufte, kiesige Sande	lo	SW/SI	3		
			2.4.2.		md		3		
			2.4.3.		d		3		

lo lockere Lagerung we weiche Konsistenz
md mitteldichte Lagerung st steife Konsistenz
d dichte Lagerung hf halbfeste Konsistenz

2.8 Bodenrechenwerte

Den anstehenden Böden können für die erdstatischen Berechnungen und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten folgende Bodenrechenwerte entsprechend Tabelle 8 und Tabelle 9 zugeordnet werden.

Tabelle 8: Bodenrechenwerte (Auffüllungen)

Gruppe	Schicht	Lagerungs- dichte	Konsistenz	Bodengrup- pe (DIN 18196)	Rechenwerte							
					γ_k	γ'_k	φ'_k	c'_k	c'_u	$E_s^{1)}$ ($\sigma=100$ MN/m ²)		
					t/m ³	t/m ³	°	kN/m ²	kN/m ²	MN/m ²		
Auffüllung	grobkörnig	1	1.1.1.		[SW/SI - SU]	16,5	9,0	32,0	1,0	--	8,0	
			1.2.1.	lo		16,5	9,0	30,0	0,0	--	5,0	
			1.2.2.	md		17,5	10,0	32,5	0,0	--	20,0	
			1.2.3.	d	18,5	11,0	35,0	0,0	--	35,0		
			1.3.1.	lo	[SU*]	17,0	9,0	29,0	1,0	--	8,0	
			1.3.2.	md		18,0	10,0	30,0	1,0	--	12,0	
	1.3.3.	d	19,0	11,0		31,0	1,0	--	25,0			
	fein- körnig			1.4.1.	we	[UL]	17,5	9	25	3,0	10,0	7,0
				1.4.2.	st		18,5	10	27,5	5,0	50,0	10,0
				1.4.3.	hf		19,5	11	30,0	8,0	100,0	15,0

Tabelle 9: Bodenrechenwerte (anstehende Böden)

Gruppe	Schicht	Lagerungs- dichte	Konsistenz	Bodengruppe (DIN 18196)	Rechenwerte						
					γ_k	γ'_k	φ'_k	c'_k	c'_u	$E_s^{1)}$ ($\sigma=100$ MN/m ²)	
					t/m ³	t/m ³	°	kN/m ²	kN/m ²	MN/m ²	
Hochflutlagerungen	fein- körnig		2.1.1.	we	UL/TL	19,0	9,0	22,5	3,0	25,0	8,0
			2.1.2.	st		20,0	10,0	25,0	8,0	100,0	12,0
			2.1.3.	hf		21,0	11,0	30,0	12,0	200,0	15,0
	grobkörnig	2	2.2.1.	lo	SE, SU	16,0	8,5	30,0	0,0	--	15,0
			2.2.2.	md		17,0	9,5	32,5	0,0	--	25,0
			2.2.3.	d		18,0	10,5	35,0	0,0	--	45,0
			2.3.1.	lo	SU*	16,5	9,0	30	1,0	--	10,0
			2.3.1.	md		18,0	10,5	32,5	1,0	--	15,0
			2.3.3.	d		19,5	12	35	1,0	--	30,0
			2.4.1.	lo	SW/SI	16,5	9	30,0	0,0	--	25,0
			2.4.2.	md		18	10,5	32,5	0,0	--	45,0
			2.4.3.	d		19,5	12	35,0	0,0	--	75,0

lo lockere Lagerung	we weiche Konsistenz
md mitteldichte Lagerung	st steife Konsistenz
d dichte Lagerung	hf halbfeste Konsistenz

2.9 Rammfähigkeit des Untergrundes

Die Rammfähigkeit der erkundeten Böden ist in der nachfolgenden Tabelle 10 zusammengefasst. Eine Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Rammfähigkeit (z.B. nach DIN-Norm) gibt es nicht. Die nachfolgende Einschätzung der Tabelle 10 basiert auf der Grundlage der erkundeten Bodenarten, Lagerungsdichten bzw. Konsistenzen und den Erfahrungen.

Tabelle 10: Rammfähigkeit der Untergrundschichten

Schicht	Bodenart	Rammfähigkeit
1.1.1	Auffüllung, allgemein	leicht bis schwer
1.2.1/1.3.1	Auffüllung (Sand, Kies, Fremdbestandteile), locker	leicht bis mittelschwer
1.2.2/1.3.2	Auffüllung (Sand, Kies, Fremdbestandteile), mitteldicht	mittelschwer bis schwer
1.2.3/1.3.3	Auffüllung (Sand, Kies, Fremdbestandteile), dicht	schwer
1.4.1	Auffüllung (Schluff/Ton/Kies Fremdbestandteile), weich	leicht bis mittelschwer
1.4.2/1.4.3	Auffüllung (Schluff/Ton/Kies Fremdbestandteile), steif, halbfest	mittelschwer bis schwer
2.1.1	leichtplastische Schluffe/(Tone), weich	leicht (bis mittelschwer)
2.1.2/2.1.3	leichtplastische Schluffe/(Tone), steif bis halbfest	mittelschwer bis schwer
2.2.1/2.3.1/2.4.1	Sande, tonig-schluffig, tlw. schwach schluffig/ tonig, locker	leicht bis mittelschwer
2.2.2/2.3.2/2.4.2	Sande, tonig-schluffig, tlw schwach schluffig/ tonig, mitteldicht	mittelschwer bis schwer
2.2.3/2.3.3	Sande, tonig-schluffig, tlw schwach schluffig/ tonig, dicht	schwer
2.4.3	weit- bzw. intermittierend gestufte kiesige Sande, dicht	schwer bis sehr schwer

In aufgefüllten Böden ist generell mit Steinen, Blöcken, o.ä. zu rechnen, die die Rammfähigkeit des Untergrundes wesentlich verschlechtern können. Sofern die locker gelagerten, rolligen Auffüllungen (Schicht 1.2.1/1.3.1) keine größeren Bestandteile enthalten, sind diese Schichten als leicht bis mittelschwer rammfähig einzuschätzen. Die mitteldicht gelagerten Auffüllungen (Schicht 1.2.2/1.3.2) sind, sofern keine größeren Bestandteile enthalten sind, als mittelschwer bis schwer rammfähig einzuschätzen. Die dicht gelagerten Auffüllungen (Schicht 1.2.3/1.3.3) sind als schwer rammfähig einzuschätzen. Die bindigen Auffüllungen (Schicht 1.4.1/1.4.2 und 1.4.3) gelten je nach Konsistenz als leicht bis mittelschwer (bzw. als mittelschwer bis schwer rammfähig).

Die unter den Auffüllungen anstehenden quartären Hochflutsedimente (Schichten 2.1.1 bis 2.4.2) sind in Abhängigkeit von Lagerungsdichte und Konsistenz als leicht bis schwer rammfähig einzuschätzen.

Als schwer bis sehr schwer rammfähig ist die Schicht 2.4.3 (dicht gelagerte, weit bis intermittierend gestufte, kiesige Sande) einzustufen.

2.10 Dynamische Plattendruckversuche

Auf dem Niveau OK-Tragschicht (UK-Schotter), wurde in 2011/2012 an insgesamt 11 Stellen mit dem leichten Fallgewichtsgerät nach TP BF - StB, Teil B 8.3 die Tragfähigkeit bzw. der vorhandene dynamische Verformungsmodul gemessen. Aufgrund schlechter Bodenverhältnisse konnten an den weiteren Aufschlüssen keine Messungen durchgeführt werden.

Folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Messungen zusammen:

Tabelle 11: Ergebnisse der Plattendruckversuche mit dem leichten Fallgewichtsgerät

Strecken-kilometer [km]	Aufschluss	Lage	Messpunkt [m u. SO]	Bodenart	E_{vd} [MN/m ²]
0,552	S/RKS 1	GA	0,96	[SU]	26,75
0,620	S/RKS 2	GA	0,85	SU*	59,52
0,680	S/RKS 3	GA	0,90	SW	28,70
0,730	S/RKS 4	GA	1,18	SW,SI	52,08
0,800	S/RKS 5c	GA	0,58	Steine, Kiese	---
0,855	RKS „S1“	GA	0,83	[SU]	45,00
0,955	RKS „S2“	GA	0,90	SW	46,78
2,000	S/RKS 6	GA	0,78	Steine, Kiese	38,33
2,100	S/RKS 7	GA	0,99	SE	28,13
2,200	S/RKS 8	GA	0,76	UL	20,70
2,300	S/RKS 9	GA	0,73	Steine, Kiese	---

S: Schurf; RKS: Rammkernsondierung; GA: Gleisachse

Die Anforderungen an den Mindestverformungsmodul von $E_{vd} = 30 \text{ MN/m}^2$ (siehe Tabelle 5) auf Niveau OK Tragschicht (UK-Schotter) sind an den Messpunkten S/RKS 2, S/RKS 4, RKS „S1“, RKS „S2“ und S/RKS 6 erfüllt.

2.11 Erdbebenzone

Nach der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 /U 17/ bzw. der Karte der Erdbebenzonen und geologischen Untergrundklassen für Baden-Württemberg M 1:350.000 (Ausgabe 2005) /U 20/ befindet sich der Untersuchungsbereich innerhalb der Erdbebenzone 1 und der Untergrundklasse S.

Dies bedeutet gemäß Tabelle NA.3 der DIN EN 1998-1/NA:2011-01, dass mit einer Wahrscheinlichkeit des Auftretens bzw. Überschreitens von 10% innerhalb von 50 Jahren mit Erdbeben der Intensität $6,5 \leq I \leq 7,0$ zu rechnen ist und ein Bemessungswert der Bodenbeschleunigung von $0,4 \text{ m/s}^2$ berücksichtigt werden muss.

3 Geotechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen für Oberleitungsmasten

3.1 Allgemeines

Da die Art der Gründung und der Fundamente neben den Baugrundverhältnissen auch von den örtlichen Platzverhältnissen sowie von den auf die Fundamente aufbauenden Mastsystemen abhängig ist, kommen folgende Gründungen zur Ausführung in Betracht:

- Rammfahlgründungen (Tiefgründung)
- Bohrfahlgründungen (Tiefgründung)
- Stufen- oder Blockfundamente als Ortbetongründungen (Flachgründung)

In den nachfolgenden Kapiteln 3.2 und 3.3 werden die in Frage kommenden Gründungsvarianten eingehender dargestellt.

3.2 Tiefgründung

3.2.1 Gründung mittels Fertigrampfpfählen

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 sowie an bereichsweise vorhandenen Nachbarbebauungen zu vermeiden. Durch die Rammarbeiten ist mit Verdichtungssetzungen zu rechnen. Beim Rütteln oder Einvibrieren der Rammpfähle sind zusätzlich Geräte zur Hindernisbergung bzw. Beseitigung vorzuhalten.

Um die auftretende Vibrationseinwirkung in den Baugrund sowie die Lärmbelästigung zu reduzieren, ist die Möglichkeit des Vorbohrens gegeben. Diese Bohrung sollte dann möglichst mindestens 1,0 m über dem Pfahlfuß enden, um eine ausreichende Tragfähigkeit des Pfahlfußes zu ermöglichen. Möglich ist auch das Verfüllen der gebohrten Löcher mit Sand, der beim Einrammen der Pfähle verdichtet wird.

Die Einbindung der Rammträger muss nach EA-Pfähle /U 15/ mindestens 2,50 m in tragfähige Lockergesteinsschichten erfolgen.

Gemäß /U 15/ gelten rollige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5$ MN/m² und bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undrnierten Boden $c_{u,k} \geq 100$ kN/m² als ausreichend tragfähig und somit relevant für den Ansatz eines Pfahlspitzendruckes. Diese Forderung wird im Bereich des untersuchten Abschnittes von den anstehenden Sanden mit mindestens mitteldichter Lagerung (Schichten 2.2.2/2.3.2/2.4.2 und 2.2.3/2.3.3/2.4.3) sowie von den anstehenden Schluffen mit mindestens steifer Konsistenz (Schichten 2.1.2 und 2.1.3) erfüllt.

In der nachfolgenden Tabelle 12 werden die zur Vorbemessung erforderlichen Pfahlkennwerte für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton in Anlehnung an die EA-Pfähle /U 15/ angegeben. Die Anpassungsfaktoren für die unterschiedlichen Pfahltypen für Mantelreibung und Spitzendruck sind noch nicht berücksichtigt.

Tabelle 12: Pfahlspitzendruck und Mantelreibung für Fertigrampfpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton nach /U 15/

Schicht		Bodengruppe (DIN 18196)	Lagerungsdichte	Konsistenz	Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²] bei einer Pfahlkopfsetzung s/D von		Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²] bei einer Setzung von s/D	
					s_{sg}^*	$s_g = 0,1 \cdot D$	0,035	0,100
Auffüllung, Sand, schw. kiesig, tw. schw. schluffig/tonig	1.2.1.	[SW/SI-SU]	lo		0,01	0,01	--	--
	1.2.2.		md		0,03	0,04	--	--
	1.2.3.		d		0,04	0,06	--	--
Auffüllung, Sand, schluffig/tonig, schw. kiesig bis kiesig	1.3.1.	[SU*]	lo		0,01	0,01	--	--
	1.3.2.		md		0,03	0,035	--	--
	1.3.3.		d		0,050	0,060	--	--
Auffüllung, leichtplastische, tonige Schluffe	1.4.1.	[UL/TL]		we	0,005	0,005	--	--
	1.4.2.			st	0,01	0,01	--	--
	1.4.3.			hf	0,02	0,02	--	--
leichtplastische Schluffe/(Tone)	2.1.1.	UL/TL		we	0,01	0,01	--	--
	2.1.2.			st	0,025	0,025	--	--
	2.1.3.			hf	0,035	0,040	--	--
(enggestufte) Fein- u. Mittelsande, tlw. schw. schluffig/tonig	2.2.1.	SE, SU	lo		0,01	0,01	--	--
	2.2.2.		md		0,03	0,04	2,2	4,0
	2.2.3.		d		0,065	0,095	4,0	5
schluffig/tonige bis stark schluffig/tonige Fein- bis Mittelsande	2.3.1.	SU*	lo		0,01	0,01	--	--
	2.3.2.		md		0,03	0,04	0,7	1,1
	2.3.3.		d		0,065	0,095	0,95	1,5
weit- bzw. intermittierend gestufte, kiesige Sande	2.4.1.	SW/SI	lo		0,01	0,01	--	--
	2.4.2.		md		0,03	0,04	2,2	4,2
	2.4.3.		d		0,065	0,095	4,0	7,6

*) s_{sg} = Setzung bei der die Mobilisierung der Bruchmantelreibung beginnt

Die Mächtigkeit der tragfähigen Böden (Lockergesteine) unterhalb der Pfahlfußfläche darf nicht weniger als 5 Pfahlfußdurchmesser mindestens aber 1,5 m betragen.

Tabelle 13: Anpassungsfaktoren für Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung von Fertigrammpfählen nach Tab. 5.5 der EA Pfähle 2012

Pfahltyp		η_b	η_s
Stahlbeton und Spannbeton		1,00	1,00
Stahlträgerprofil ($h \leq 0,50$ m und $h / b_F \leq 1,5$)	$S = 0,035 \times D_{eq}$	$0,61 - 0,30 \times h / b_F$	0,60
	$S = 0,10 \times D_{eq}$	$0,78 - 0,30 \times h / b_F$	
doppeltes Stahlträgerprofil		0,25	0,60
offenes Stahlrohr und Hohlkasten ($0,30$ m $\leq D_b \leq 1,60$ m)		$0,95 \times e^{-1,2 \times D_b}$	$1,1 \times e^{-0,63 \times D_b}$
geschlossenes Stahlrohr ($D_b \leq 0,80$ m)		0,80	0,60
h= Höhe des Stahlträgerprofils, b_F = Flanschbreite des Stahlträgerprofils, D_b = Pfahlfußdurchmesser, D_{eq} = äquivalenter Pfählersatzdurchmesser			

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle unter Beachtung der Hinweise und Anforderungen der EA-Pfähle 2012 /U 15/.

3.2.2 Gründung mittels Bohrpfählen

Der Vorteil dieser Gründungsvariante besteht hauptsächlich darin, dass die auftretende Lärmemission in Abhängigkeit von den gewählten Geräten meist geringer als bei Rammpfahlgründungen ist. Zusätzlich können Steine und Blöcke durchörtert werden. Durch die geringere dynamische Einwirkung auf den Untergrund sind zwar Verdichtungssetzungen nicht auszuschließen, sie werden im Allgemeinen deutlich minimiert. Sie kann außerdem in Bereichen ausgeführt werden, in denen ein Rammen der Gründungselemente sehr schwer bzw. nicht möglich ist.

Als Nachteil dieser Gründungsvariante sind im Wesentlichen, neben dem Anfall von (sehr geringen Mengen) möglicherweise schadstoffbelasteten Aushubmaterials, logistische Zwänge (Zuführung Bohrergerät, geringer Arbeitsraum) zu benennen.

Die Einbindung der Bohrpfähle muss nach EA-Pfähle /U 15/ mindestens 2,5 m in tragfähige Lockergesteinsschichten erfolgen. Gemäß /U 15/ gelten rollige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5$ MN/m² und bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undrännierten Bodens $c_{u,k} \geq 100$ kN/m² als ausreichend tragfähig und somit relevant für den Ansatz eines Pfahlspitzendrucks.

Diese Forderung wird im Bereich des untersuchten Abschnittes von den anstehenden Sanden mit mindestens mitteldichter Lagerung (Schichten 2.2.2/2.3.2/2.4.2 und 2.2.3/2.3.3/2.4.3) sowie von den anstehenden Schluffen mit mindestens steifer Konsistenz (Schichten 2.1.2 und 2.1.3) erfüllt.

In der nachfolgenden Tabelle 14 werden die zur Vorbemessung erforderlichen Bohrpfahlkennwerte in Anlehnung an die EA-Pfähle 2012 /U 15/ angegeben.

Tabelle 14: Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung für Bohrpfähle in Anlehnung an /U 15/

Schicht	Bodengruppe (DIN 18196)	Lagerungs-dichte	Konsistenz	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²] bei einer Setzung s/D_s von			Bruchwert der Pfahlmantel- reibung $q_{s1,k}$ [MN/m ²]
				0,02	0,03	0,10	
Auffüllung, Sand, schw. kiesig, tw. schw. schluff- fig/tonig	[SW/SI- SU]	1.2.1.	lo	--	--	--	0,01
		1.2.2.	md	--	--	--	0,055
		1.2.3.	d	--	--	--	0,08
Auffüllung, Sand, schluffig/tonig, schw. kiesig bis kiesig	[SU*]	1.3.1.	lo	--	--	--	--
		1.3.2.	md	--	--	--	0,050
		1.3.3.	d	--	--	--	0,65
Auffüllung, leicht- plastische, tonige Schluffe	[UL/TL]	1.4.1.	we	--	--	--	0,005
		1.4.2.	st	--	--	--	0,02
		1.4.3.	hf	--	--	--	0,04
leichtplastische Schluffe/(Tone)	UL/TL	2.1.1.	we	--	--	--	0,01
		2.1.2.	st	--	--	--	0,03
		2.1.3.	hf	--	--	--	0,050
(enggestufte) Fein- u. Mittelsande, tw. schw. schluff- fig/tonig	SE, SU	2.2.1.	lo	--	--	--	0,015
		2.2.2.	md	0,55	0,70	1,60	0,06
		2.2.3.	d	0,8	1,05	2,3	0,13
schluffig/tonige bis stark schluff- fig/tonige Fein- bis Mittelsande	SU*	2.3.1.	lo	--	--	--	0,010
		2.3.2.	md	0,55	0,70	1,60	0,055
		2.3.3.	d	1,05	1,35	3,00	0,105
weit- bzw. intermit- tierend gestufte, kiesige Sande	SW/SI	2.4.1.	lo	--	--	--	0,015
		2.4.2.	md	0,55	0,70	1,60	0,06
		2.4.3.	d	1,4	1,8	4,0	0,13

Die angegebenen Werte gelten für Bohrpfähle ($D=0,30$ m bis 3,00 m). Für die Anwendung der Werte der Tabelle 14 wird vorausgesetzt, dass die Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb der Pfahlfußfläche nicht weniger als drei Pfahldurchmesser, mindestens aber 1,50 m betragen darf. Sofern dies nicht gewährleistet ist, empfehlen wir, sicherheitshalber keinen Spitzendruck anzusetzen. Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle unter Beachtung der Hinweise und Forderungen der EA-Pfähle.

3.2.3 Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse

Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse dürfen nur für Pfähle mit einem Pfahlschaftdurchmesser $D_s \geq 0,30$ m bzw. einer Kantenlänge $a_s \geq 0,30$ m angesetzt werden. Der charakteristische

Querwiderstand darf dabei durch charakteristische Werte des horizontalen Bettungsmoduls beschrieben werden.

Sofern der Bettungsmodul nur der Ermittlung der Schnittgrößen und nicht der Ermittlung der Verformung der Pfahlgründung dient, darf er nach folgender Gleichung abgeschätzt werden:

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

Die Anwendung dieser Formel gilt für Pfahldurchmesser $D_s \leq 1,0$ m und einem Höchstwert der Horizontalverschiebung von 2 cm bzw. $0,03 \cdot D_s$, wobei der kleinere Wert maßgebend ist. Bei größeren Verformungen sind die Bettungsmoduln abzumindern.

Die statischen Steifemoduln für die jeweiligen Böden können der Tabelle 9 des vorliegenden Berichts entnommen werden.

Beim Vorhandensein von bindigen Böden ist mit einem Bettungsausfall bis zu einer Tiefe von ca. $1,0 \cdot$ Pfahldurchmesser zu rechnen. Dementsprechend ist für diesen Bereich keine Bettung anzusetzen. Die Empfehlungen, Hinweise und Forderungen der EA-Pfähle /U 15/ sind zu beachten.

3.3 Flachgründung

Die Bemessung von Flachgründungen erfordert den Nachweis, dass sowohl der Grenzzustand der Tragfähigkeit, als auch der Zustand der Gebrauchstauglichkeit mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden können. Bei einfachen Baugrundverhältnissen erfolgt dies durch die Ermittlung des „Bemessungswertes des Sohldruckwiderstandes“.

Der Untersuchungsbereich befindet sich entsprechend Ril 836 /U 4/ im Frosteinwirkungsgebiet der Klasse I, entsprechend ist eine frostfreie Gründungstiefe von 0,8 m u. GOK (Geländeoberkante) erforderlich.

In Teilbereichen ist der Untergrund durch das oberflächennahe Auftreten von gering tragfähigen Schichten gekennzeichnet. Tragfähige Böden (mindestens mitteldicht gelagerter Sand) treten ab ca. km 2,200 erst in Tiefen ab ca. 4,0 m u. GOK auf, so dass eine Flachgründung nur durch die Ausführung von baugrundverbessernden Maßnahmen (z.B. Bodenaustausch) möglich ist. Außerdem ist die Ermittlung des Bemessungswertes des Sohldruckwiderstandes in diesem Bereich nur durch die Durchführung von Grundbruch- und Setzungsberechnungen möglich. Aufgrund fehlender Angaben (Position der Fundamente, Gründungstiefe, zu erwartende Lasten) können zu diesem Zeitpunkt keine genaue Angaben zur Bemessung der Fundamente in diesen Abschnitten gemacht werden.

In Teilbereichen steht der tragfähige Boden (mindestens mitteldicht gelagerter Sand) bereits in geringer Tiefe unter SO an, so dass eine Flachgründung hier unproblematisch ist.

Aufgrund fehlender Angaben zur Position der Fundamente, der Gründungstiefe sowie der zu erwarteten Lasten wurden im Rahmen dieses Geotechnischen Berichtes keine Setzungsrechnungen durchgeführt. Wir empfehlen für mögliche Maststandorte in Bereichen mit tragfähigen Böden (mind. mitteldichte Lagerung) eine Gründung unterhalb der frostfreien Gründungstiefe (0,8 m u. GOK). Hierbei empfehlen wir zudem ein Nachverdichten der im Bereich der Gründungssohle anstehenden Sande sowie den Einbau einer Sauberkeitsschicht von > 0,1 m Beton der Güte B15 (bzw. C10/12) auszubringen.

Konkrete Aussagen zur Gründung der Oberleitungsmasten können zum aktuellen Zeitpunkt aufgrund fehlender Daten nicht gemacht werden. Diese können ggf. nachgereicht werden.

3.4 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Für die Oberleitungsmasten sind bei einer Tiefgründung keine besonderen Maßnahmen zur Baugrubensicherung und Wasserhaltung erforderlich.

Bei Flachgründungen kann, je nach Lage der Gründungssohle zum Gleis, eine Baugrubensicherung erforderlich sein. Für die Herstellung der Mastfundamente können, außerhalb des Druckbereiches des Gleises, nicht verbaute Baugruben bis 1,25 m Tiefe ohne besondere Sicherung mit senkrechten Wänden hergestellt werden, wenn die Geländeoberfläche nicht stärker als 1:2 bei bindigen bzw. 1:10 bei nichtbindigen Böden geneigt ist. Die vorhandene Geländeneigung ist daraufhin zu prüfen. Bei Baugruben im Druckbereich der Gleise sind die Auflagen der Ril 836 Modul 4305 „temporäre Gleissicherung“ zu beachten.

Unbelastete Böschungen bis 5,0 m Höhe über dem Grundwasser können nach DIN 4124 unter 45° hergestellt werden. Bei belasteten oder höheren Böschungen sowie Böschungen unter Grundwasser ist die Standsicherheit nachzuweisen. Ohne rechnerischen Nachweis der Standsicherheit darf der maximale Böschungswinkel von 45° bzw. 60° für die erkundeten Böden nicht überschritten werden. Im Bereich der Hochflutablagerungen sind die Böschungswinkel flacher auszubilden.

Für Verbauarbeiten können die Kennwerte der Tabelle 8 und Tabelle 9 entnommen werden. Für den Verbau und die Ausbildung der Baugrube sind die Hinweise der DIN 4124 sowie des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau zu beachten.

Bei einer Lage der Gründungstiefe unterhalb des Grundwassers sind auch Wasserhaltungsmaßnahmen erforderlich. Art und Umfang der Wasserhaltungsmaßnahmen sind von der Gründungstiefe sowie vom gewählten Baugrubenverbau abhängig.

3.5 Einfluss der Baumaßnahmen auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen

Bei den Ramm- bzw. Bohrarbeiten sollte eine visuelle und messtechnische Überwachung der Gleise vorgesehen werden. Die Einbringsysteme der Pfähle sind so zu wählen, dass möglichst geringe Erschütterungen und Lärmbelastigungen erzeugt werden. Während der Ramm- bzw. Bohrarbeiten können Unterhaltungsarbeiten im Betriebsgleis nicht völlig ausgeschlossen werden. Als bahnseitige Schutzmaßnahme empfehlen wir, während der Bauausführung eine Langsamfahrstelle einzurichten. Bei angrenzender Bebauung sollte zur Abwehr unberechtigter Schadensersatzansprüche im Vorfeld ein Beweissicherungsverfahren durchgeführt werden.

Es ist darauf zu achten, dass die Mindestabstände zu den Versorgungsleitungen im Untergrund eingehalten werden, ggf. müssen Kanäle und Leitungen gesichert und verlegt werden.

Es wird empfohlen die Abmessungen der Fundamente der Bestandsbauwerke (Brücke B44) im Vorfeld zu erheben und die Maststandorte so festzulegen, dass diese nicht zusätzlich belastet werden.

4 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen Gleis

4.1 Aktuelle / zukünftige Gleisbelastung

Für die Bemessung des Tragschichtsystems im Abschnitt km 0,502 - km 2,346 der Strecke 3405 gehen wir nach Ril 836.4101A01 von dem Kriterium „**Verbesserung**“ und von einer **Einstufung $v \leq 80$ km/h** (aktuelle $V_{\max} = 60$ km/h) mit einem **Oberbau aus Schotter** aus. Gemäß /U 3/ ist eine Steigerung der Leistungstonnen von ca. 7.700 Lt/d auf ca. 15.800 Lt/d geplant. Eine Erhöhung der V_{\max} ist aktuell nicht geplant. Es liegt kein erhöhter Instandhaltungsaufwand vor. Der untersuchte Streckenabschnitt liegt nach Modul 836.4101 A04 im Frosteinwirkungsgebiet der Klasse I.

4.2 Gebrauchstauglichkeit der Erdbauwerke und des Fahrwegunterbaues

Nach Modul 836.7001 Absatz 2 (1) gilt, dass wenn ein Erdbauwerk in Gebrauch ist und dabei schadfrei geblieben, sowie nach Modul 836.8001 instand gehalten wird und dabei die künftigen Beanspruchungen nicht höher als die bisherigen sind, darf davon ausgegangen werden, dass es für die weitere Nutzung ausreichend standsicher und ausreichend gebrauchstauglich ist.

4.2.1 Standsicherheit

Eine Überprüfung der Standsicherheit der bestehenden Erd- und Stützbauwerke ist bei Beibehaltung der aktuell gefahrenen Geschwindigkeit und der Radsatzlasten ($\leq 22,5$ t) nach Modul 836.7001 nicht nötig.

4.2.2 Dynamische Stabilität

Grundsätzlich gilt nach Ril 836.3001 Absatz 3 (4), dass für sonstige Strecken mit Schotteroberbau auf die Vorlage prüffähiger Nachweise zur dynamischen Stabilität des Unterbaus/Untergrundes bei sichergestellter Inspektion mit Bewertung des Fahrwegverhaltens und ggf. Veranlassung von Abhilfemaßnahmen verzichtet werden darf. Die dynamische Stabilität ist in diesen Fällen gutachterlich zu bewerten. Zur gutachterlichen Bewertung heißt es in Absatz 5 (2) des gleichen Moduls Folgendes zum Nachweis und zu den Untersuchungen zur dynamischen Stabilität des Unterbaus/Untergrundes:

Bei Strecken mit Schotteroberbau und Geschwindigkeiten bis 200 km/h sind Untersuchungen zur Schwingstabilität des Unterbaus/Untergrundes nur durchzuführen, wenn:

- *von den konstruktiven Festlegungen des Moduls 836.4102 zur Gestaltung des Unterbaus abgewichen werden soll*

und/oder

- *unterhalb des Unterbaus schwingungsempfindliche Böden verbleiben sollen, bei denen auf Grund von Erfahrungen schädliche Schwingungseinflüsse auf die Gebrauchstauglichkeit des Gleises nicht ausgeschlossen werden können.*

Als schwingungsempfindliche Böden gelten nach derzeitigem Stand der Technik:

- *verlagerungsempfindliche Sande mit einer Ungleichförmigkeitszahl $U < 2,0$ und einer Lagerungsdichte $I_D < 0,5$*
- *bindige Böden mit einer Konsistenzzahl $I_C < 0,6$, bzw. mit $c_{u,k} \leq 40 \text{ kN/m}^2$ im ungest. Zustand*
- *organische Böden der Gruppen HN, HZ und F nach DIN 18196 mit hohem Wassergehalten*
- *organogene Böden der Gruppen OU, OT in breiiger oder weicher Konsistenz*
- *fallweise auch OH und OK nach DIN 18196*

In Absatz 5 (4) heißt es zum Verzicht auf Untersuchungen, dass bei Maßnahmen, die sich ohne Belastungserhöhung auf die Anpassung des Schutzschichtsystems und des Tragbereiches an die Regelungen der Moduls 836.4101 beziehen, Untersuchungen zum Schwingungsverhalten des Untergrundes ggf. trotzdem entfallen dürfen, wenn sich aus den Betriebserfahrungen ableiten lässt, dass Gleislagestörungen nicht auf Schwingungsvorgänge zurückzuführen sind.

Es wurden mit den ausgeführten Aufschlüssen im Untersuchungsabschnitt keine schwingungsempfindlichen Böden erkundet.

4.3 Notwendigkeit einer Planumsverbesserung nach Ril 836.4105 Anhang 01

Für Strecken ohne absehbare wesentliche Veränderung der Beanspruchung kann zur Ermittlung der Erfordernis einer Planumsverbesserung (Plv) das Entscheidungsdiagramm nach Ril 836.4105 Anhang 01 verwendet werden. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die sichere Nutzungsdauer der Strecke begrenzt ist. Der Regelfall einer notwendigen Plv ist der Einbau einer Schutzschicht.

Die aktuellen Anforderungskriterien zur Anwendung des Entscheidungsdiagrammes sind:

- *Höchstgeschwindigkeit $\leq 160 \text{ km/h}$ (V_{\max} nach VzG).*
- *Gleisbelastung $< 30.000 \text{ Leistungstonnen/Tag}$.*
- *Radsatzlast $\leq 225 \text{ kN}$ (22,5 t) und keine Erhöhung der Streckenklasse.*
- *maximale Geschwindigkeitsanhebungen: $\Delta v = \text{keine Einschränkung}$ (für $v \leq 80 \text{ km/h}$); $\Delta v \leq 20 \text{ km/h}$ (für $80 \text{ km/h} < v \leq 120 \text{ km/h}$); $\Delta v = 0 \text{ km/h}$ (für $120 < v \leq 160 \text{ km/h}$), wobei v die zukünftige Streckengeschwindigkeit ist.*
- *Steigerung der Gleisbelastung um max. 10.000 Lt/d gegenüber Ist-Zustand und derzeitige Belastung (Geschwindigkeit und Gleisbelastung) seit mindestens 5 Jahren (bzw. die letzten 5 Jahre vor Streckenstilllegung) größenordnungsmäßig vorhanden.*
- *bisher keine Einschränkung der Standsicherheit der Erdbauwerke (keine Bauwerke mit Standsicherheitsrisiken nach Ril 836.8001).*
- *Standardoberbau gemäß Bauarten des Oberbaus.*

Wir gehen davon aus, dass im vorliegenden Fall (siehe Kapitel 4.1) das Entscheidungsdiagramm aufgrund der vorliegenden Rahmenbedingungen angewendet werden kann. Aufgrund der Belastung und der Geschwindigkeit wird der untersuchte Streckenabschnitt in die Kategorie Bc eingestuft.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Rahmenbedingungen und unter der Voraussetzung, dass keine Planumsabsenkung erforderlich ist, wird bei Anwendung des Entscheidungsdiagrammes die Abfrage 3 verneint. Somit tritt der Fall 5 „Plv ist nicht notwendig“ in Kraft.

Im Falle einer notwendigen Absenkung des Planums kommen wir bei Anwendung des Entscheidungsdiagrammes zu der in Tabelle 15 dargestellten Entscheidung.

Tabelle 15: Entscheidung über die Notwendigkeit einer Plv

Streckenabschnitt [km - km]	Zielabfrage	Entscheidung
0,552 - 0,955	lokal 7B bzw. 7C verneint	Fall 2: Plv soll spätestens im Zusammenhang mit dem nächsten Gleisumbau eingebaut werden
2,000 - 2,300	8 verneint	Fall 2: Plv soll spätestens im Zusammenhang mit dem nächsten Gleisumbau eingebaut werden

4.4 Bemessung der Planumsverbesserung nach Ril 836.4101

Im Ergebnis des Kapitels 4.3 kann das Entscheidungsdiagramm nach Ril 836.4105 Anhang 01 angewendet werden. Im Fall einer erforderlichen Planumsabsenkung ist eine Bemessung der benötigten Plv nach Ril 836 Modul 4101 Anhang 01 bis 05 notwendig.

4.4.1 Anforderungen an den Unterbau/Untergrund

Die Anforderungen an den Unterbau/ Untergrund nach Anhang 01 und Anhang 02 des Moduls 836.4101 sind für die im untersuchten Streckenabschnitt vorliegenden Randbedingungen (siehe Kap. 4.1) in der folgenden Tabelle 16 zusammengefasst.

Können die Anforderungen an die Verdichtung und das Verformungsmodul auf der Oberfläche Tragschicht (OFTS) = Unterkante Schotter nachgewiesen werden, so ist die Plv nur auf Frostsicherheit zu bemessen. Sollten die Anforderungen auf der OFTS, bzw. bei Einbau einer Schutzschicht auf Frostsicherheit auf der Oberfläche Untergrund (OFU), nicht nachgewiesen werden können, so muss die Bemessung der Mindestdicke der Plv über die Vorgaben zur Verbesserung der Tragfähigkeit in Anhang 05 des Moduls 836.4101 erfolgen.

Tabelle 16: Regelanforderungen an den Unterbau/Untergrund gemäß Ril 836.4101

Verbesserung, Schotteroberbau V_{max} ≤ 80 km/h, Gleisbelastung ≤ 30.000 Lt/d Frosteinwirkungsgebiet I	Anforderung an die Verdichtung innerhalb des Tragbereiches (nach Anhang 01 Tab. 1)			
	abzusichernder Tragbereich	1,50 m u. SO (Anhaltswert)		
	Mindestanforderung Konsistenz I _c	≥ 0,6 (weich)		
	Mindestanforderung Lagerungsdichte D	> 0,2 (locker)		
	Anforderung an das Verformungsmodul²⁾ (nach Anhang 01 Tab. 2)	E_{v2}	E_{vd}	
	auf Oberfläche Tragschicht (OFTS)	≥ 40	≥ 30	
	auf Oberfläche Untergrund (OFU)	≥ 20	≥ 25/ ≥ 20 ¹⁾	
	Anforderung an die Frostsicherheit (nach Anhang 02 Tab.3)			
	Frostempfindlichkeitsklasse der Böden im Tiefenbereich OFTS, bzw. OFU	F1	F2	F3
	Mindestdicke frostsicherer Aufbau (unter UK Schwelle) [cm]	-	≥ 30	≥ 40
Mindestdicke Schutzschicht auf Frostsicherheit (unter OFTS) [cm]	≥ 20	≥ 20	≥ 20	

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

²⁾... Die geforderten Werte sind bei gleisgebundenen Umbau, bzw. bei Verwendung von Geotextil entsprechend den Moduln Ril 836.4105A02 Bild 1, bzw. Ril 836.4101A02 Pkt. 12 anzupassen.

4.4.2 Homogenbereiche

Im Folgenden wird eine abschnittsweise Bemessung der Planumsverbesserung durchgeführt, wobei die Einteilung der Abschnitte in Homogenbereiche anhand der maßgebenden Bodenschichten im Tragbereich und der hydrologischen Begebenheiten erfolgt.

Ausgehend von einem idealisierten Regelquerschnitt:

- ca. 0,20 m Schiene
- ca. 0,20 m Schwelle (Betonschwelle)
- ca. 0,30 m Schotter (Dicke der Bettung nach Ril 820.2010 Anlage 05)

liegt die Oberfläche Tragschicht (OFTS) = Unterkante (UK) Schotter bei Herstellung eines Regelquerschnittes bei Verwendung von Betonschwellen bei ca. 0,70 m unter SO. Somit sind im vorliegenden Fall als Bodengruppen im Tragbereich die Schichten in einer Tiefe zwischen ca. 0,70 m und ca. 1,50 m unter SO anzusehen.

Homogenbereich I (ca. km 0,502 bis ca. km 0,650 und ca. km 2,150 bis ca. km 2,346)

Ausgangssituation:

abzusichernder Tragbereich [m u. SO]	0,70 - 1,50
Bodengruppen im Tragbereich	schwach schluffige und schluffige Sande, feinsandige Schluffe [SU], [UL], UL, SU*
davon maßgebende Bodenarten	[SU], [UL], UL, SU*
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F2 [SU], F3 SU*, [UL], UL
Frosteinwirkungsgebiet nach Anhang 04 der Ril. 836.4101	I
Hydrologischer Fall nach Anhang 05 der Ril. 836.4101	2
Anforderung an die Verdichtung nach Anhang 01 der Ril. 836.4101	eingehalten
Anforderung an das Verformungsmodul nach Anhang 01 der Ril. 836.4101	nicht durchgehend eingehalten

Einschätzung Untergrund:

Die maßgebenden Bodenarten im Tragbereich sind die schwach schluffigen bis schluffigen Sande und feinsandigen Tone. Die Standarddicke des Schotters von 0,30 m unter Unterkante Schwelle wird überwiegend eingehalten.

In Bezug auf die im Tragbereich vorhandenen Böden werden die Anforderungen an die Verdichtung ($D \geq 0,20$, $I_c \geq 0,60$) eingehalten. Die Anforderungen an das Verformungsmodul ($E_{vd} \geq 30 \text{ MN/m}^2$) werden im Bereich der OFTS geringfügig unterschritten (siehe Kap. 2.10). Die Böden im Bereich Mindestdicke Schutzschicht auf Frostsicherheit haben eine Frostempfindlichkeit von F2 bzw. F3. Die unterlagernden Böden sind wasserempfindlich und verlieren bei Wasserzutritt ihre Tragfähigkeit.

Zur langfristigen Gewährleistung eines geringen Instandhaltungsaufwandes ist eine Bemessung der Schutzschicht auf Tragfähigkeit und auf Frostsicherheit notwendig.

Bemessung:

Schutzschicht auf Tragfähigkeit	
im Plattendruckversuch ermittelter Verformungsmodul E_{vd} auf der OFTS	20,70 MN/m ²
Minstdicke Schutzschicht für Gewährleistung Tragfähigkeit nach Anhang 05 des Moduls 836.4101	0,20 m

Schutzschicht auf Frostsicherheit	
Einstufung nach Tabelle 3 im Anhang 02 des Moduls 836.4101	3.1.1
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F3
Minstdicke Schutzschicht für frostsicheren Aufbau nach Anhang 02 des Moduls 836.4101	0,20 m

Folgerungen:

Aus geotechnischer Sicht sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- vollständiger Ausbau des Schotters/ Bodens bis ca. 0,9 m unter SO.
- Einbau eines dränierenden Vlieses unter der PSS.
- Einbau einer **0,20 m dicken Schutzschicht KG 1**.
- Anschluss der OFTS an funktionierende Entwässerungsanlagen.
- Verdichtung der OFTS. Prüfung von Tragfähigkeit und Dichte gemäß Tabelle 16.
- Einbau des neuen bzw. aufbereiteten Schotters.

Homogenbereich II (ca. km 0,650 - ca. km 0,825 und ca. km 0,900 - ca. km 1,170 und ca. km 1,770 - ca. km 2,050)

Ausgangssituation:

abzusichernder Tragbereich [m u. SO]	0,70 - 1,50
Bodengruppen im Tragbereich	weitgestufte/intermittierend gestufte Sande, Steine, Kiese [SW], [SI], SW, SW/SI, [X,G]
davon maßgebende Bodenarten	[SW], [SI], SW, SW/SI; [X,G]
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F1
Frosteinwirkungsgebiet nach Anhang 04 der Ril. 836.4101	I
Hydrologischer Fall nach Anhang 05 der Ril. 836.4101	1/2
Anforderung an die Verdichtung nach Anhang 01 der Ril. 836.4101	eingehalten
Anforderung an das Verformungsmodul nach Anhang 01 der Ril. 836.4101	eingehalten

Einschätzung Untergrund:

Die maßgebenden Bodenarten im Tragbereich sind die weit- bzw. intermittierend gestuften Sande. Die Standarddicke des Schotters von 0,30 m unter Unterkante Schwelle wird überwiegend eingehalten.

In Bezug auf die im Tragbereich vorhandenen Böden werden die Anforderungen an die Verdichtung ($D \geq 0,20$, $I_c \geq 0,60$) eingehalten. Die Anforderungen an das Verformungsmodul ($E_{vd} > 30 \text{ MN/m}^2$) werden im Bereich der OFTS ebenfalls eingehalten (siehe Kap. 2.10).

Die erkundeten Lockergesteinsböden im Bereich des Planums haben eine Frostempfindlichkeit von F1. Die Böden sind durchlässig bis stark durchlässig.

In diesem Homogenbereich ist keine Planumsverbesserung notwendig.

Homogenbereich III (ca. km 0,825 bis ca. km 0,900 und ca. km 2,050 - ca. km 2,150)

Ausgangssituation:

abzusichernder Tragbereich [m u. SO]	0,70 - 1,50
Bodengruppen im Tragbereich	schwach schluffige Sande, enggestufte Sande [SU], SU, SE
davon maßgebende Bodenarten	[SU], SU, SE
Frostempfindlichkeit nach ZTVE-StB 09	F1 SE, F2 [SU], SU
Frosteinwirkungsgebiet nach Anhang 04 der Ril. 836.4101	I
Hydrologischer Fall nach Anhang 05 der Ril. 836.4101	1/2
Anforderung an die Verdichtung nach Anhang 01 der Ril. 836.4101	eingehalten
Anforderung an das Verformungsmodul nach Anhang 01 der Ril. 836.4101	nicht durchgehend eingehalten

Einschätzung Untergrund:

Die maßgebenden Bodenarten im Tragbereich sind die schwach schluffigen Sande. Die Standarddicke des Schotters von 0,30 m unter Unterkante Schwelle wird überwiegend eingehalten.

In Bezug auf die im Tragbereich vorhandenen Böden werden die Anforderungen an die Verdichtung ($D \geq 0,20$, $I_c \geq 0,60$) eingehalten. Die Anforderungen an das Verformungsmodul ($E_{vd} > 30 \text{ MN/m}^2$) werden im Bereich der OFTS nicht durchgehend eingehalten (siehe Kap. 2.10).

Die erkundeten Lockergesteinsböden im Bereich des Planums haben eine Frostempfindlichkeit von F1 (SE) bzw. F2 (SU, [SU]). Die Böden sind durchlässig bis stark durchlässig. Da die Filterstabilität gegenüber dem Schotter und abschnittsweise das Frostkriterium nicht eingehalten werden, wird im Homogenbereich III zur langfristigen Gewährleistung eines geringen Instandhaltungsaufwandes der Einbau einer **0,20 m dicken Schutzschicht aus KG 2 Material** empfohlen.

4.4.3 Alternativvorschlag Schutzschicht auf mit Bindemittel behandeltem Planum

Eine Verringerung der erforderlichen Schutzschichtdicke durch die Durchführung einer Bodenbehandlung mit Bindemitteln zur Bodenverbesserung des Planums ist im Untersuchungsgebiet aufgrund der Bemessung der Plv auf Frostsicherheit nicht möglich.

4.4.4 Alternativvorschlag Schutzschicht mit Geokunststoff

Eine Verringerung der erforderlichen Schutzschichtdicke durch den Einsatz von Geogittern / Geoverbundstoffen ist aufgrund der Bemessung der Plv auf Frostsicherheit in keinem Homogenbereich möglich.

Der Einsatz von Geovlies unterhalb der Schotter als alleiniger Ersatz für eine Plv nach TM2013-256 ist aufgrund der vorliegenden Gleisbelastung und Geschwindigkeit als eingeschränkte Anwendung zulässig. Aufgrund der geotechnischen und hydrologischen Randbedingungen liegt der Einsatz von Geovlies im Homogenbereich I bei den bindigen und feinkornreichen Böden der Bodengruppe UL und SU* aber an der Anwendungsgrenze. Der alleinige Einsatz von Geovlies wird daher aus geotechnischer Sicht im Homogenbereich I nicht empfohlen.

4.5 Materialanforderungen an die Tragschicht

Die erforderlichen Materialeigenschaften der Tragschicht (Schutzschicht) hängen im Wesentlichen davon ab, ob der Untergrund versickerungsfähig ist oder als Wasserstauer wirkt. Bindige Böden führen zur Stauwasserbildung, weichen vielfach bei Wasserzutritt auf und verändern damit ihre Tragfähigkeitseigenschaften. Im vorliegenden Fall sind im Untergrund bereichsweise (Homogenbereich I und IV) schwach bis sehr schwach durchlässige bindige oder feinkornreiche Böden vorhanden. Aus diesem Grund wird hier der Einbau einer Schutzschicht aus KG 1-Material (Korngemisch 1 nach den Güteanforderungen der DBS 918 062 /U 13/) empfohlen. Im Homogenbereich III wurden durchlässige Sande im Tragbereich erkundet. In diesem Bereich wird daher der Einbau einer Schutzschicht aus KG 2-Material (Korngemisch 1 nach den Güteanforderungen der DBS 918 062 /U 13/) empfohlen.

Hinsichtlich der vom Größtkorn abhängigen Mindesteinbaudicken der einzelnen Lagen sind die Hinweise der Ril 836.4101 A03 zu beachten.

4.6 Abnahmekriterien

Die für die Bauausführung erforderlichen Abnahmekriterien der OFTS ergeben sich aus den Regelanforderungen nach Ril 836.4101A01 Seite 2 bzw. 836.4101A02 Seite 9 (siehe Kapitel 4.4.1).

4.7 Gleisentwässerung

In Vorbereitung der Planung einer Versickerungsanlage gemäß DWA-A 138 /U 14/ kann im Sinne einer Ersteinschätzung von folgenden, standortbezogenen Boden- und Grundwasserverhältnissen ausgegangen werden.

- Beschaffenheit des Untergrundes: Der Untergrund besteht überwiegend aus Sanden mit wechselndem Feinkornanteil (SU, SU*, SE, SW, SI) und untergeordnet bereichsweise aus teils feinsandigen, tonigen Schluffen (UL/TL).
- Durchlässigkeit: SU, SE, SW, SI → $k_f = < 10^{-4} \dots 1,0 * 10^{-7} \text{ m/s}$
SU* → $k_f = < 10^{-5} \dots 1,0 * 10^{-8} \text{ m/s}$
UL/TL → $k_f = < 10^{-6} \text{ m/s}$
- Grundwasserflurabstand: Der Grundwasserflurabstand beträgt in Abhängigkeit des saisonal schwankenden Grundwasserstands und der Morphologie ca. 3,5 bis 4,5m.
- Grundwasserfließrichtung: wechselnd in Abhängigkeit des Rheinwasserstandes
- Hangneigung: Die Strecke verläuft überwiegend in Geländegleich- und leichter Einschnittslage sowie von km 1,174 bis km 1,690 in Tunnellage („BASF-Tunnel“)

Nach DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ /U 14/ sind Böden für Versickerungsanlagen geeignet, deren Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte im Bereich von $k_f = 10^{-3} \text{ m/s}$ bis $k_f = 10^{-6} \text{ m/s}$ liegen. Außerdem sollte die Mächtigkeit des Sickerraumes (Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt kein Grundwasser enthält), bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand grundsätzlich mindestens 1 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

Die im Untersuchungsgebiet aufgeschlossenen mehr oder weniger feinkornreichen Sande sind nur bereichsweise als versickerungsfähig einzustufen. Die anstehenden SU* und UL-Böden sind nach DIN 18130 dagegen überwiegend als schwach bis teils sehr schwach durchlässig einzustufen und gelten daher als nicht versickerungsfähig.

Zusammenfassend ist der Untergrund als nur bereichsweise (Homogenbereich II ca. km 0,680 bis km 0,955) versickerungsfähig einzustufen.

Im nahezu gesamten erkundeten Streckenabschnitt sind Entwässerungsanlagen vorhanden. Die Bahngräben sind teils verwachsen und nur eingeschränkt funktionstüchtig. Wir empfehlen,

die vorhandenen Entwässerungsanlagen zu säubern und ggf. Instand zu setzen, um auch zukünftig eine ausreichende Entwässerung des Bahnkörpers zu gewährleisten.

Die Hinweise und Forderungen der Modulgruppe Ril 836.46xx, welche für Entwässerungsanlagen gilt, die zur Entwässerung des Bahnkörpers dienen, sind zu beachten.

5 Sonstige Hinweise

5.1 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen

Als Aushubmassen können je nach Aushubtiefe alle erkundeten aufgefüllten und anstehenden Bodenschichten anfallen.

Die erkundeten weitgestuften Sande (SW) sind gemäß Ril 836, Modul 836.4106, Bild 2 ohne bodenverbessernde Maßnahmen nach ZTVE-StB 09 als Hinterfüllmaterial geeignet.

Die erkundeten gemischtkörnigen und feinkörnigen Böden sind gemäß Ril 836, Modul 836.4106, Bild 2 ohne bodenverbessernde Maßnahmen nach ZTVE-StB 09 durchgehend nicht als Hinterfüllmaterial geeignet. Sie können jedoch vorbehaltlich einer abfalltechnischen Deklaration in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o.ä. eingesetzt werden. Fremdbestandteile wie Wurzeln, Bauschutt, Schlacke o.ä. sind vor einer Wiederverwendung der Böden auszusondern.

Diese Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die bautechnische Wiederverwendbarkeit von Aushubböden. Vor einer Wiederverwendung sind die Ergebnisse einer abfalltechnischen Untersuchung unbedingt zu berücksichtigen.

5.2 Geotechnische Hinweise zur Bauausführung

- Die Bettung ist bei konventionellem Umbau rückschreitend auszubauen. Der Horizont OFTS (ehemals Planum) bzw. der OFU (ehemals Erdplanum) ist nicht zu befahren.
- Eventuell vorhandene Schottersäcke sind bis max. 0,50 m unter OFTS auszuheben und durch ein Schutzschicht-Material gemäß den Anforderungen nach Modul 836.4101 Anhang 03 zu ersetzen. Tiefer reichende Schottersäcke können im Boden verbleiben.
- Die Eignung der als Schutzschichten vorgesehenen Materialien ist im Vorfeld der Baumaßnahme entsprechend Kapitel 4.5 (Ungleichförmigkeit, Filterstabilität, Frostsicherheit, Wasserdurchlässigkeit u. ä.) zu überprüfen.
- Die Bemessung des Tragschichtsystems wurde anhand der vorliegenden Aufschlüsse durchgeführt. Nach dem Freilegen der OFTS bzw. der OFU sind die Verhältnisse vor Ort mit den Erkundungsergebnissen zu vergleichen und die Bemessung ggf. zu präzisieren.
- Für alle Erdarbeiten sind die Qualitätsanforderungen an Tragfähigkeit und Verdichtung der OFTS nachzuweisen. Die Verdichtungsarbeiten sind so auszuführen, dass im Hinblick auf ein gleichmäßiges Tragverhalten eine möglichst hohe Homogenität erzielt wird. Die für die Bauausführung erforderlichen Abnahmekriterien der Oberfläche Untergrund sowie der Oberfläche Tragschicht ergeben sich aus den

Regelanforderungen an die Verdichtung und das Verformungsmodul nach Anhang 01 der Ril 836.4101.

- Um einen ordnungsgemäßen Einbau der Schutzschicht zu gewährleisten, wird eine geotechnische Fremdüberwachung durch ein sachkundiges Ingenieurbüro empfohlen. Die DB International GmbH, Geotechnik ist gerne bereit, beim weiteren Vorgehen beratend zur Seite zu stehen und fachliche Entscheidungshilfe zu leisten.
- Bei Einbau von Geokunststoffen ist ein direktes Befahren der Kunststoffe unzulässig; die erforderliche Mindestüberdeckung für das Befahren beträgt 0,2 m. Beim Einbau und Verlegen der Kunststoffe sind die Anforderungen und Vorgaben der Ril 836.4101 Abschnitt 4 und Ril 836.4103 Abschnitt 3 /U 10/ zu beachten. Die Geokunststoffe sind in Längsrichtung des Gleises mit möglichst voller Verlegebreite auf dem sauber abgeglichenen Erdplanum mit einem Quergefälle von 5% zu verlegen. Beim gleislosen Einbau der Schutzschicht sind die Geokunststoffbahnen gegen Windangriff zu sichern. Die Stöße von Vliesstoffen sind mindestens 30 cm zu überlappen, für Stöße von Verbundstoffen und Geogittern wird eine Überlappung von wenigstens 50 cm für erforderlich gehalten. Kraftschlüssige Verbindungen (Nähte, Schweißungen) sind in der Regel nicht erforderlich. Bei der Verlegung sind eventuelle spezielle Verlegehinweise des Herstellers oder Lieferers zu beachten. Auf eine faltenfreie und straff auf dem Erdplanum aufliegende Verlegung ist zu achten. Die Einbaubreite der Geokunststoffe ist so zu wählen, dass mindestens der Bettungsquerschnitt sowie beiderseits ein sich anschließender Streifen von 0,5 m Breite abgedeckt wird. Hinsichtlich der Sicherstellung der Drainagefunktion soll er bis zur Streckenentwässerung bzw. bis zur Böschung geführt werden.

6 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Im vorliegenden überarbeiteten Geotechnischen Bericht sind die Baugrundverhältnisse für eine geplante Planumsverbesserung im Streckenabschnitt km 0,502 - km 2,346 (BASF, elektrische Südanbindung) der Strecke 3405 dargestellt. Außerdem werden die Baugrundverhältnisse für den geplanten Bau von Oberleitungsmasten bewertet. Gegenstand der Untersuchungen ist die Ermittlung von Bodenkennwerten und Berechnungsannahmen für die Gründung der Masten und die Ermittlung der Eigenschaften der anstehenden Böden zur Beurteilung des Baugrundes hinsichtlich der Tragfähigkeit des Untergrundes für Gleisanlagen und der Bemessung eines Tragschichtsystems nach Ril 836.

Die Baugrundverhältnisse werden anhand der Erkundungsergebnisse eines bestehenden Geotechnischen Berichtes der DB International Fachbereich Geotechnik aus dem Jahre 2012 bewertet. Umweltanalytische Untersuchungen des Schotters/Bodens waren nicht Bestandteil unserer Beauftragung. Lediglich die geotechnische Bewertung nach Ril 836 wurde angepasst.

Der Baugrund besteht unter den vorhandenen, anthropogenen Auffüllungen entsprechend der geologischen Karte /U 22/ aus fluviatilen Lockergesteinsablagerungen der Rheintalau. Hierbei handelt es sich überwiegend um Sande mit variierendem Feinkornanteil und feinsandige Schluffe. Eine detaillierte Beschreibung der angetroffenen Böden enthält Kapitel 2.3. Die Beschreibung der Bodenverhältnisse wurde durch bodenmechanische Laborversuche untermauert.

In Kapitel 2.7 wird aus den erkundeten Bodenschichten ein Baugrundmodell gebildet; die zugehörigen Boden- und Berechnungskennwerte werden in Kapitel 2.8 angegeben. In Kapitel 2.9 werden Aussagen zur Rammfähigkeit des Untergrundes gemacht.

Angaben zur Gründung der Oberleitungsmasten enthält Abschnitt 3. Bei den erkundeten Baugrundverhältnissen sowie unter Berücksichtigung der im vorliegenden Bericht aufgeführten Punkte ist in Teilbereichen eine Tiefgründung der geplanten Oberleitungsmasten sinnvoll, in anderen Teilbereichen eine Flachgründung auf den mindestens mitteldicht gelagerten Sanden möglich. Für die Gründungen mittels Fertigrampfpfählen bzw. Bohrpfählen sind die entsprechenden Spitzendruck- und Mantelreibungswerte im Abschnitt 3.2 dieses Berichtes enthalten. In Abschnitt 3.3 werden Angaben zu einer möglichen Flachgründung der Mastfundamente gemacht.

Schotter

Die Mächtigkeit des Gleisschotters (bezogen auf Unterkante Holz-, bzw. Betonschwelle bei ca. 0,38 m u. SO) liegt im Untersuchungsabschnitt lokal bei ca. 0,20 m (S/RKS 8) und überwie-

gend zwischen ca. 0,30 m und 0,50 m. Die Mindestdicke des Schotters nach Ril 820.2010 Anlage 05 von mind. 0,30 m unterhalb der Schwelle wird somit überwiegend eingehalten oder bereichsweise knapp unterschritten. Die maximal zulässige Dicke (0,60 m) wird durchgehend eingehalten.

Der Verschmutzungsgrad und der Feinanteil < 31,5 mm wurden visuell bewertet. Eine Verschmutzung mit Schadstoffen (Teeranhaftungen, Tropfverluste, etc.) wurde augenscheinlich nicht festgestellt. Der Untersuchungsbereich befindet sich auf freier Strecke. Chemische Untersuchungen des Gleisschotters sind nicht Bestandteil unserer Beauftragung.

Der Schotter ist oberflächennah nur gering mit fein- und grobkörnigem Material (Schluffe, Kiese und Sande) aus den unterlagernden Böden und mit Schotterabrieb durchsetzt. Darunter steigt der Feinkornanteil an und beträgt im Bereich der Mischzone bereichsweise über 20%. Dieser Gesamtschotter entspricht somit aufgrund des erhöhten Feinanteils augenscheinlich nicht mehr den Anforderungen der DBS 918 061.

Hinsichtlich seiner mechanischen Reinigungsfähigkeit wurde der Schotter als nur bedingt reinigungsfähig beurteilt.

Böden im Tragbereich

Die maßgebenden Bodenarten im Tragbereich sind feinsandige Schluffe (UL) und Feinsande mit variierendem Feinkornanteil (SW, SU, SU*).

Gebrauchstauglichkeit

Es ist keine Erhöhung der Gleisbelastung (Radsatzlasten) geplant. Es wurden mit den ausgeführten Aufschlüssen im Untersuchungsabschnitt keine schwingungsempfindlichen Böden erkundet, die eine Bewertung der dynamischen Stabilität erforderlich machen würden.

Bemessung Tragschicht

Wir gehen davon aus, dass im vorliegenden Fall das Entscheidungsdiagramm nach Ril 836.4105 Anhang 01 angewendet werden kann. Aufgrund der Belastung und der Geschwindigkeit wird der untersuchte Streckenabschnitt in die Kategorie Bc eingestuft. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Rahmenbedingungen und unter der Voraussetzung, dass keine Planumsabsenkung erforderlich ist, wird bei Anwendung des Entscheidungsdiagrammes die Abfrage 3 verneint. Somit tritt der Fall 5 „Plv ist nicht notwendig“ in Kraft.

Im Falle einer notwendigen Absenkung des Planums kommen wir bei Anwendung des Entscheidungsdiagrammes zu der in Tabelle 17 dargestellten Entscheidung.

Tabelle 17: Entscheidung über die Notwendigkeit einer Plv

Streckenabschnitt [km – km]	Zielabfrage	Entscheidung
0,552 - 0,955	lokal 7B bzw. 7C verneint	Fall 2: Plv soll spätestens im Zusammenhang mit dem nächsten Gleisumbau eingebaut werden
2,000 - 2,300	8 verneint	Fall 2: Plv soll spätestens im Zusammenhang mit dem nächsten Gleisumbau eingebaut werden

Die Mindest-Dicke des Schotters nach Ril 820.2010 Anlage 06 von mind. 0,30 m unterhalb der Schwelle wird überwiegend eingehalten. Die maximal zulässige Dicke (0,60 m) wird ebenfalls eingehalten.

In Bezug auf die im Tragbereich vorhandenen Böden werden die Anforderungen an die Verdichtung ($D \geq 0,20$, $I_c \geq 0,60$) von den erkundeten Böden durchgehend eingehalten. Die Anforderungen an das Verformungsmodul ($E_{vd} > 30 \text{ MN/m}^2$) werden im Bereich der OFTS nicht durchgehend eingehalten (siehe Kap. 2.10). Die in den Homogenbereichen I und III erkundeten feinkornreichen und bindigen Lockergesteinsböden im Bereich des Planums haben eine Frostempfindlichkeit von F3. Sie sind zudem wasserempfindlich und verlieren bei Wasserzutritt ihre Tragfähigkeit. Sie sind nicht filterstabil gegenüber dem Schotter.

Zur langfristigen Gewährleistung eines geringen Instandhaltungsaufwandes ist abschnittsweise der Einbau einer Schutzschicht auf Tragfähigkeit, bzw. auf Frostsicherheit notwendig.

Tabelle 18: Empfohlene Maßnahmen zur Plv

Streckenabschnitt [km – km]	Empfohlene Maßnahmen zur Plv
Homogenbereich I ca. 0,502 - ca. 0,650 und ca. 2,150 - ca. 2,346	vollständiger Ausbau des Schotters/ Bodens 0,90 m unter SO. Einbau einer 0,20 m dicken Schutzschicht KG 1 Anschluss der OFTS an die bestehenden Entwässerungsanlagen. Die vorhandenen Entwässerungsanlagen sind zu säubern und ggf. Instand zu setzen.
Homogenbereich II ca. 0,650 - ca. 0,825 und ca. 0,900 - ca. 1,170 und ca. 1,770 - ca. 2,050	keine Plv notwendig
Homogenbereich III ca. 0,825 bis ca. 0,900 und ca. 2,050 - ca. ,150	vollständiger Ausbau des Schotters/ Bodens bis 0,90 m unter SO. Einbau einer 0,20 m dicken Schutzschicht KG 2.

Alternativen

Eine Verringerung der erforderlichen Schutzschichtdicke durch die Durchführung einer Bodenbehandlung mit Bindemitteln zur Bodenverbesserung des Planums oder den Einsatz von Geogittern ist im Untersuchungsgebiet aufgrund der Bemessung der Plv auf Frostsicherheit nicht möglich.

Der Einsatz von Geovlies unterhalb der Schotter als alleiniger Ersatz für eine Plv nach TM2013-256 ist aufgrund der vorliegenden Gleisbelastung und Geschwindigkeit als eingeschränkte Anwendung zulässig. Aufgrund der geotechnischen und hydrologischen Randbedingungen liegt der Einsatz von Geovlies im Homogenbereich I bei den bindigen und feinkornreichen Böden der Bodengruppe UL und SU* aber an der Anwendungsgrenze. Der alleinige Einsatz von Geovlies wird daher aus geotechnischer Sicht im Homogenbereich I nicht empfohlen.

Entwässerung

Wir empfehlen im Zuge der Gleiserneuerung die vorhandenen Entwässerungsanlagen zu säubern und ggf. Instand zu setzen, Die einzubauende Schutzschicht im Homogenbereich I ist aus einem KG 1-Material herzustellen und die neue OFTS an die Entwässerungsanlagen anzuschließen. Die anstehenden Böden in den Homogenbereichen II und III sind als versickerungsfähig einzustufen.

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 das Tragschichtsystem haben können. Unsere beauftragten Leistungen für dieses Objekt sind hiermit abgeschlossen.

aufgestellt durch:



i. A. Dipl.-Geol. M. Domdey