



DB Engineering & Consulting GmbH
Umwelt, Geotechnik & Geodäsie
UGG Südwest
Gartenstraße 76-78
76135 Karlsruhe
www.db-engineering-consulting.de

Geotechnischer Bericht

Bauvorhaben: Strecke 3300 Kaiserslautern - Pirmasens Nord
Neubau Kreuzungsbahnhof Steinalben
km 19,090, Hp. Steinalben

Planungsphase: Vorplanung

Auftraggeber: DB Netz AG
Am Hauptbahnhof 4
66111 Saarbrücken

Auftragsnummer DB E&C: U-G001194 / 218438 / 610758

Projektleiter: Dipl.-Geol. M. Gehring
Bearbeiter: Dipl.-Geol. M. Gehring, Dipl.-Geol. A. Schaber

Dieser Geotechnische Bericht umfasst 52 Seiten und 10 Anlagen. Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nicht zulässig.

Karlsruhe, 27.07.2017

f. i. A. 
Dipl.-Geol. A. Zieger

i. A. 
Dipl.-Geol. M. Gehring

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Allgemeines	4
1.1	Unterlagen	4
1.2	Vorgang/Aufgabenstellung	7
1.3	Aufschlussarbeiten	7
2	Darstellung der Untersuchungsergebnisse	10
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	10
2.2	Geologischer Überblick	10
2.3	Baugrundverhältnisse	11
2.4	Hydrogeologische Verhältnisse	20
2.5	Erdbebenzone	21
2.6	Kampfmittel	21
3	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Bautechnische Empfehlungen	22
3.1	Allgemein	22
3.2	Neubau Mittelbahnsteig	22
3.3	Tragschichtbemessung Gleis 1 und Gleis 2	25
3.4	Neubau Signale	31
3.5	Erneuerung Durchlass km 18,748	32
3.6	Neubau Modulgebäude	34
3.7	Neubau Stützwand	35
3.8	Baugrubensicherung und Wasserhaltung	41
3.9	Abdichtung und Drainage Bauwerk	43
3.10	Einfluss der Baumaßnahmen auf angrenzende Bepflanzungen / Gleisanlagen	44
3.11	Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen in bodenmechanischer Hinsicht	44
3.12	Bautechnische Hinweise	45
4	Abfalltechnische Untersuchungen	46
4.1	Untersuchungsumfang	46
4.2	Untersuchungsergebnisse Gleisschotter	47
4.3	Untersuchungsergebnisse Boden	48
4.4	Untersuchungsergebnisse Asphalt	49
4.5	Verwertung / Beseitigung	50

5 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen**51****Anlagenverzeichnis**

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lage- und Aufschlussplan	1 Blatt
Anlage 3	Bohr- und Sondierprofile	
Anlage 3.1	Bohr- und Sondierprofile	8 Blatt
Anlage 3.2	Schurfskizzen: Böschungsschürfe	11 Blatt
Anlage 3.3	Aufschlussliste	1 Blatt
Anlage 3.4	Querprofil, Bohrprofile projiziert in Schnittebene	1 Blatt
Anlage 4	Bodenmechanische Laborversuche	
Anlage 4.1	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse Bodenmechanik	1 Blatt
Anlage 4.2	Versuchsergebnisse Bodenmechanik	38 Blatt
Anlage 5	Beton- und Stahlaggressivität Boden	
Anlage 5.1	Auswertung: Betonaggressivität Boden	1 Blatt
Anlage 5.2	Auswertung: Stahlaggressivität Boden	4 Blatt
Anlage 6	Setzungsberechnungen	2 Blatt
Anlage 7	Zusammenstellung Homogenbereiche nach VOB C	12 Blatt
Anlage 8	Abfalltechnische Untersuchungen	
Anlage 8.1	Prüfbericht: Abfalltechnische Untersuchungen	5 Blatt
Anlage 8.2	Auswertung: Abfalltechnische Untersuchungen	2 Blatt
Anlage 9	Versickerungsversuche	2 Blatt
Anlage 10	Fotodokumentation	9 Blatt

1 Allgemeines

1.1 Unterlagen

- /U 1/ Angebot ID 05895 der DB Engineering & Consulting GmbH vom 13.02.2017
- /U 2/ Leistungsvereinbarung 04-003-2017 auf Grundlage des Angebotes ID 05895 vom 13.02.2017
- /U 3/ Ivl-Lageplan 3300 BA, km 18,6+19...km 19,2+30, Maßstab 1:1000, DB Netz AG, Dezember 2014
- /U 4/ Bestandsvermessung: Strecke 3300 Kaiserslautern Hbf - Pirmasens Nord, Umbau HP Steinalben, Querprofil 1-27, km 18,6 - 19,3, DB Engineering & Consulting GmbH, Karlsruhe, Mai 2017
- /U 5/ Bauwerksbuch für Durchlässe, Strecken-Nr. 3300, Strecke: Kaiserslautern - Pirmasens Nord, Bauwerkskilometer: 18,748, Eigenbauwerk BK 3, Dezember 2015
- /U 6/ Förderantrag, Umbau des Bahnhofsvorplatzes Steinalben, Lageplan, Maßstab 1:250, Verbandsgemeinde Waldfischbach-Burgalben, IngenieurBüro Klages, Juli 2016
- /U 7/ E-Mail von Herrn Schwarz, DB Netz AG, Betreff: Krbf. Steinalben - Handskizze, mit übersandten Lageplänen zum geplanten Umbau des Hp. Steinalben, Februar 2017
- /U 8/ E-Mail von Herrn Schwarz, DB Netz AG, Betreff: Strecke 3300 km 19,1 Hp. Steinalben: Angaben Lasttonnen, mit Angaben zur Gleisbelastung und Instandhaltungsaufwand, Juli 2017
- /U 9/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. bqs GmbH, Duisburg, Mai 2017
- /U 10/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Terrasond GmbH, Büttelborn, Mai 2017
- /U 11/ Kampfmittelvorerkundung, Steinalben, Bahnhof, Auswertungsprotokoll, Luftbilddatenbank Dr. Carls GmbH, 21.04.2017
- /U 12/ Untersuchungsbericht zur Kampfmitteluntersuchung von Bohransatzpunkten BV Steinalben, Fa. Geolog Ch. Fuß/W. Hepp GbR, 18.05.2017
- /U 13/ Bodenmechanische Laborergebnisse der Fa. FeBoLab GmbH, Westheim, Juni 2017
- /U 14/ Chemische Laborergebnisse der DB Engineering & Consulting GmbH, Umweltlabor, Brandenburg-Kirchmöser, Juni 2017
- /U 15/ Ril 804 Eisenbahnbrücken (und sonstige Ingenieurbauwerke) planen, bauen und instand halten, Aktual. 01 vom 01.08.2015
- /U 16/ Ril 836 Erdbauwerke (und sonstige geotechnische Bauwerke) planen, bauen und instand halten, Aktual. 04 vom 01.12.2014

- /U 17/ TM 4-2015-10212 I.NPS 3 zur Ril 819 „Gründungsarten und deren Verwendbarkeit für Komponenten der Leit- und Sicherungstechnik an Gleisstrecken“ DB Netz AG, März 2015
- /U 18/ TM 2013-256 I.NVT 4 zur Ril 836.4105: Vliesstoffe zur Planumsverbesserung zum Einsatz im Bestandsnetz (Einbau direkt unter dem Schotter), 30.11.2013
- /U 19/ EA-Baugrube; Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 5. Auflage, Berlin 2012
- /U 20/ EA-Pfähle; Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2. Auflage, Berlin 2012
- /U 21/ Grundbau-Taschenbuch Teil 2 „Geotechnische Verfahren“, Hrsg. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 7. Auflage, 2011
- /U 22/ Beckhaus, Thuro: Abrasivität in der Großbohrtechnik -Versuchstechnik und praktische Erfahrungen. -DGGT, Vorträge der 30. Baugrundtagung in Dortmund, 2010
- /U 23/ Beuth Verlag: VOB Ausgabe 2016, Berlin 2016
- /U 24/ DWA-A 138, Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, 04/2005
- /U 25/ ZTVE-StB 09; Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, BM für Verkehr, Abt. Straßenbau; 4. Aufl. 2009
- /U 26/ RStO Ausgabe 2012; Richtlinien zur Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Bonn, Dezember 2012
- /U 27/ Geologische Karte von Rheinland-Pfalz, Maßstab 1:25.000, Blatt 6611 Hermersberg, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, Mainz 2014
- /U 28/ Kartenviewer: Onlinedienst des Ministeriums für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten, Rheinland-Pfalz; URL: <http://www.geoportal-wasser.rlp.de/servlet/is/2025/> (Abruf: 26.06.17)
- /U 29/ Kartenviewer: Onlinedienst des Landesamtes für Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz; URL: http://mapclient.lgb-rlp.de/?app=lgb&view_id=6/ (Abruf: 09.06.17)
- /U 30/ Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen; Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA „TR Boden“) unter Vorsitz des Ministeriums für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Mainz, 05.11.2004
- /U 31/ Altschotterrichtlinie Ril 880.4010, gültig ab 01.02.2003, in Verbindung mit TM 2012-049 I.NVT 4, gültig ab 07.03.2013

- /U 32/ TM 2012-049 I.NVT 4 zu Ril 880.4010 und 820: Anpassung des Siebschnittes für die Altschotteranalytik von 22,4 auf 31,5 mm, vom 07.03.2013
- /U 33/ Merkblatt: Entsorgung von Gleisschotter; Analytik, Abfalleinstufung, Deponierung, Verwertung; Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht, Mai 2007
- /U 34/ Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) vom 27.04.2009 und Änderung der Deponieverordnung vom 4. März 2016, Bundesjustizministerium
- /U 35/ Bundesjustizministerium: Richtlinien für die umweltverträgliche Verwertung von Ausbaustoffen mit teer-/ pechtypischen Bestandteilen sowie die Verwertung von Ausbauasphalt im Straßenbau, RuVA-StB 01, Fassung 2005
- /U 36/ Verordnung über das Europ. Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnis-Verordnung - AVV)
- /U 37/ Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz-KrWG)
- /U 38/ Programm „GGU-Footing“, Berechnung von Fundamenten nach DIN 4017, DIN 4019, DIN 1054 und EC 7, Version 8.30, 26.01.2017, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Joh. Buß

Weiter kommen die einschlägigen DIN-Normen und Richtlinien für Erd- und Grundbau zur Anwendung.

1.2 Vorgang/Aufgabenstellung

Die DB Netz AG plant an der Strecke 3300, Kaiserslautern – Pirmasens Nord, km 19,090 den Umbau des Haltepunktes (Hp.) Steinalben zum Kreuzungsbahnhof.

Im Rahmen des Umbaus ist der Rückbau des bahnrechten Hausbahnsteigs sowie der Neubau eines Mittelbahnsteigs und eines zweiten Gleises, ggf. eine Trassierungsänderung des Gleis 1, der Neubau von Signalmasten, die Erneuerung des Durchlasses bei km 18,748 und der Neubau eines Modulgebäudes vorgesehen. Aufgrund der aktuell beengten Platzverhältnisse ist für den Ausbau des Haltepunktes zum Kreuzungsbahnhof im Zuge der neuen Trassierung und der geplanten Lage des zweiten Gleises ein Eingriff in die bahnlinke Böschung notwendig. Nach den aktuellen Planungsunterlagen ist der Bau einer Stützwand zur Aufweitung des Anschnittes im Bereich von ca. km 18,750 bis ca. km 18,900 vorgesehen.

Die DB Engineering & Consulting GmbH, Umwelt, Geotechnik und Geodäsie wurde im Rahmen der Vorplanung entsprechend dem Angebot /U 1/ mit der Erkundung und geotechnischen Bewertung des Baugrundes für den Umbau des Hp. Steinalben zum Kreuzungsbahnhof beauftragt /U 2/.

Es wird ein Geotechnischer Untersuchungsbericht nach EC7-2 inkl. der Festlegung der charakteristischen Werte und einer Gründungsempfehlung (dies entspricht einem Geotechnischen Bericht nach DIN 4020) erstellt.

Ein Geotechnischer Entwurfsbericht nach EC7-1 Abs. 2.8 (der u. a. genaue Angaben zur Überwachung und Messung enthält) kann erst in einer späteren Leistungsphase erstellt werden, wenn die Planung für das Bauwerk mit all seinen Bauzuständen, etc. fertiggestellt ist.

Mit dem vorliegenden Geotechnischen Bericht nach DIN 4020 werden die Ergebnisse der Baugrunduntersuchungen dargestellt, ein Baugrundmodell mit charakteristischen Bodenkennwerten entwickelt, Empfehlungen für die Gründung ausgesprochen und eine orientierende Einteilung der erkundeten Bodenschichten in Homogenbereiche nach DIN 18300, DIN 18301 und DIN 18304 durchgeführt. Weiterhin enthält dieser Bericht eine orientierende abfalltechnische Deklaration der ggf. anfallenden Aushubmassen Boden / Schotter / Asphalt.

1.3 Aufschlussarbeiten

Um den Baugrund im Bereich des Hp. Steinalben für die geplanten Maßnahmen zu erkunden und um Proben zu entnehmen wurden 20 Kleinrammbohrungen (KRB) nach DIN EN ISO 22475-1 und 22 Böschungsschürfe (Bö-S) ausgeführt. Zudem wurden zwei Kernbohrungen (BK) zur durchgehenden Gewinnung gekernter Proben (Bohrlochdurchmesser 178 mm) im Rammkern- und Rotationskernbohrverfahren nach DIN EN ISO 22475-1 bis in Tiefen zwischen 10 m und 15 m unter Ansatzpunkt (u. AP) ausgeführt. Um indirekte Rückschlüsse über die

Lagerungsdichte der Bodenschichten ziehen zu können, wurden neben den Kleinrammbohrungen (KRB) und den Kernbohrungen (BK) 22 schwere Rammsondierungen (DPH) nach DIN EN ISO 22476-2 mit geplanten Zielteufen zwischen von 3 m und 15 m u. AP ausgeführt. Die Mehrheit der KRB und DPH wurde aufgrund eines zu hohen Ramm-/Sondierwiderstandes abgebrochen.

Zur Gewährleistung der Leitungsfreiheit wurden 18 Handschachtungen (S) bis in eine Tiefe von 1,2 m u. AP ausgeführt.

Zusätzlich wurden im Gleis 1 insgesamt 9 Schotterschürfe zur Aufnahme der Schottersituation und zur Gewinnung von Proben des Schotter-Feinanteiles (FA < 31,5 mm) bis zur Oberkante Tragschicht ausgeführt.

Zur Beurteilung der Versickerungsfähigkeit der anstehenden Böden im Bereich des neu geplanten Mittelbahnsteigs wurden 2 Versickerungsversuche (VS) ausgeführt.

Die Kleinrammbohrungen, die schweren Rammsondierungen, die Schotterschürfe sowie die Böschung- und Schotterschürfe wurden zwischen dem 15.05.17 und 24.05.17 unter unserer fachtechnischen Begleitung durch die Firma bqs GmbH, Duisburg /U 9/ ausgeführt.

Die Ramm- und Rotationskernbohrungen wurden im Zeitraum vom 18.05.17 bis 19.05.17 durch die Firma Terrasond GmbH, Büttelborn /U 10/ durchgeführt.

Alle Ansatzpunkte der durchgeführten Aufschlüsse wurden mittels Messrad, Maßband und Nivelliergerät auf den Streckenkilometer (km) und die Schienenoberkante (SO) der Strecke 3300 eingemessen. In der Anlage 3.3 findet sich eine Liste der im Hp. Steinalben durchgeführten Aufschlüsse.

Die Lage der Aufschlüsse ist im Lageplan in der Anlage 2 farblich sortiert dargestellt. In der Anlage 3.1 sind die Bohrprofile der ausgeführten Aufschlüsse entsprechend der geplanten Baumaßnahme (Rückbau Hausbahnsteig, Neubau Mittelbahnsteig, Erneuerung Gleis 1, Neubau Gleis 2, Neubau Signale, Erneuerung Durchlass km 18,748, Neubau Modulgebäude, Kernbohrungen). In der Anlage 3.2 sind die Ergebnisse der Böschungsschürfe als Schurfskizzen dargestellt. In Anlage 3.4 sind die Kernbohrungen BK 1 und BK 2 in Schnittebene des Querprofils 15 km 18,9+56 entsprechend der Bestandsvermessung /U 4/ projiziert.

Die Entnahme von gestörten Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtwechsel. Insgesamt wurden aus den abgeteufte Kleinrammbohrungen und den Rammkernbohrungen 80 gestörte Bodenproben entnommen.

Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden Schichtenverzeichnisse, können bei Bedarf im Archiv der DB Engineering & Consulting GmbH, Geotechnik eingesehen werden.

Alle entnommenen gestörten Bodenproben wurden handspezifiziert. Zur Ermittlung von Bodenkennwerten und zur genaueren Einteilung der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 bzw. DIN 14689 und Homogenbereichen nach VOB-C /U 23/ sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen Untersuchungen unterzogen worden. Im Einzelnen wurden folgende boden- und felsmechanischen Laborversuche ausgeführt:

- 8 x kombinierte Sieb-/Schlammanalyse nach DIN 18123
- 16 x Siebanalyse (Nasssiegung) nach DIN 18123
- 1 x Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18122
- 1 x Bestimmung des Wassergehaltes nach DIN 18121
- 2 x Punktlastversuch an Bohrkernprobe
- 3 x einaxialer Zylinderdruckversuch nach DIN 18136
- 2 x Dichte nach DIN 18125
- 1 x Direkter Scherversuch mit bis zu 3 Einzelversuchen (DIN 18137, Teil 1)
- 1 x Kompressionsversuch mit bis zu 5 Laststufen nach DIN 18135

Alle boden- und felsmechanischen Laborversuche wurden durch die Firma FeBoLab GmbH, Westheim /U 13/ im Juni 2017 durchgeführt. Die Ergebnisse der boden- und felsmechanischen Laborversuche sind in Anlage 4 zusammengestellt.

Zur abfalltechnischen Deklaration des anfallenden Altschotters wurden im Gleis 1 Schotter-schürfe zur Gewinnung von Feinanteil < 31,5 mm ausgeführt und eine Schottermischprobe (MP 1 Schotter) erstellt. Zur orientierenden abfalltechnischen Einstufung der anfallenden Aus-hubmassen Boden wurde aus den ausgeführten Aufschlüssen tiefenzoniert Bodenmaterial ent-nommen und zwei Mischproben MP 2 (Auffüllungen) und MP 3 (Anstehendes) erstellt. Zudem wurde aus dem Asphaltbelag des Hausbahnsteigs eine Mischprobe MP 4 (Asphalt) entnom-men. Zur Ermittlung der Beton- und Stahlaggressivität des Bodens wurde zudem eine Misch-probe (MP 5) aus dem Bohrgut der BK 1 und BK 2 erstellt und untersucht. Im Einzelnen wurden folgende chemischen Analysen ausgeführt:

- 3 x LAGA 2004 Boden (Feststoff + Eluat) Tab. II.1.2-2/-3/-4/-5
- 1 x Herbizidpaket Rheinland-Pfalz (Eluat); Atrazin, Dimefuron, Diuron, Flazasulfuron, Flumioxazin, Simanzin, Glyphosat, AMPA
- 1 x Asphalt nach RuVA
- 1 x Beton- und Stahlaggressivität im Boden nach DIN 4030 und DIN 50929

Die Zusammenstellung und Auswertung der Ergebnisse der orientierenden abfalltechnischen Untersuchungen für Schotter, Boden und Asphalt findet sich in Anlage 8, die Ergebnisse der Untersuchung auf Beton- und Stahlaggressivität des Bodens finden sich in Anlage 5.

2 Darstellung der Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Steinalben ist eine Ortsgemeinde im Landkreis Südwestpfalz in Rheinland-Pfalz und gehört zur Verbandsgemeinde Waldfishbach-Burgalben. Der Hp. Steinalben befindet sich an km 19,090 an der eingleisigen, nicht elektrifizierten Strecke 3300 Kaiserslautern – Pirmasens Nord am nördlichen Ortsausgang von Steinalben. Im Tal verläuft der Bach Moosalbe. Der Hp. Steinalben befindet sich nach /U 28/ außerhalb festgesetzter Wasserschutzgebiete und innerhalb des Naturparks Pfälzerwald.

In der Nähe des Haltpunktes befindet sich bei km 18,748 ein Rohrdurchlass ($\varnothing=0,5\text{m}$) und bei km 19,212 die Eisenbahnüberführung (EÜ) über die Straße „Auf der Hohl“. Im derzeit einzigen Gleis 1 sind Betonschwellen verlegt. Der Haltepunkt befindet sich überwiegend in bahnlinker Anschnittslage und nur im Abschnitt von ca. km bis 19,200 bis zur EÜ bei km 19,212 in Damm-lage. Ausgehend von /U 4/ liegt das Untersuchungsgebiet auf einer Höhe von ca. 273 m NN (DB REF) und entsprechend Ril 836 /U 16/ in der Frosteinwirkungszone I.

Eine Fotodokumentation der aktuellen Vorortverhältnisse ist der Anlage 10 zu entnehmen.

2.2 Geologischer Überblick

Im Untersuchungsbereich stehen gemäß dem Onlinedienst des Landesamtes für Geologie und Bergbau, Rheinland-Pfalz /U 29/ die Einheiten des Buntsandsteins der Pfalz an. Nach der Geologischen Karte /U 27/ bilden die Einheiten des Mittleren Buntsandsteins (Obere Karlstal-Schichten und Karlstal-Felszone) das Anstehende im Bereich des Hp. Steinalben. Bei den Oberen Karlstal-Schichten handelt es sich laut /U 27/ um rote, häufig gelblich bis weißgrau gebleichte, locker gebundene, parallel- oder schräggeschichtete Fein- bis Mittelsandsteine. Diese können eingeschaltete Grobsandlagen und vereinzelt geringmächtige plattige, verkieselte Lagen aufweisen. Bei der Karlstal-Felszone handelt es sich nach /U 27/ um einen bräunlich-grauen bis mattorangenen, oft gelblich gebleichten quarzitären, gut sortierten Mittelsandstein. Dieser weist vereinzelt eingeschaltete Gerölle, eine ebene Schrägschichtung sowie eingeschaltete, locker gebundene Bereiche mit Fe-MN-Vererzungen auf. Zudem weist der Mittel-Sandstein eine starke Wabenverwitterung auf und hat an der Basis oft Quellaustritte. Die Schichten zeigen laut /U 27/ überwiegend ein Einfallen von $0,5^\circ$ bis 3° nach Südwest und Klufflächen die überwiegend vertikal verlaufen. Nach /U 27/ zeigt die im Bereich von Steinalben eingetragene „Kluffrose 22“ die $35-50^\circ$ -Richtung als dominierende Kluffschar. In vielen Klüften zeichnet sich die Bruchtektonik der näheren Umgebung ab, was in einer vielfältigen Ausrichtung der Kluffmaxima resultiert.

Nach /U 27/ wird zudem darauf hingewiesen, dass der Fels im Bereich von Talflanken von weit geöffneten Spalten durchzogen sein kann. Im Bereich von Hangablagerungen ist mit dem Vorhandensein von Felsblöcken in m³-Größe zu rechnen.

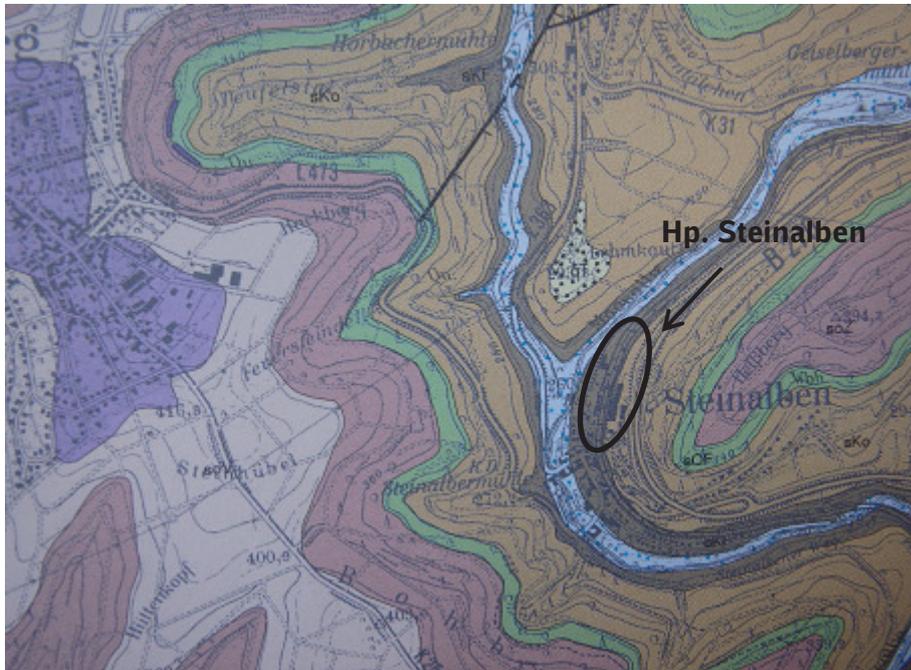


Abbildung 1: Ausschnitt aus der Geologischen Karte nach /U 27/; soZ: Zwischenschichten (Mittel- bis Grobsandstein, braunrot); sOF: Obere Felszone (Mittel- bis Grobsandstein, dunkel- bis hellrot); sKo: Obere Karlstal-Schichten (Fein- bis Mittelsandstein, rot, häufige gelblich bis Weißgrau); sKf: Karlstal-Felszone (Mittelsandstein, bräunlichgrau bis mattorange, oft gelblich gebleicht)

Im Zuge unserer Erkundungen wurden oberflächennah anthropogene Auffüllungen über Hangablagerungen und dem Verwitterungshorizont des Sandsteins angetroffen. Durch den anthropogenen Einbau von zumeist lokal vorkommenden Böden ist eine zweifelsfreie Unterscheidung zwischen aufgefülltem und gewachsenem Boden nicht immer möglich.

2.3 Baugrundverhältnisse

Gleisschotter

In den in Gleisachse ausgeführten Schürfen wurde Gleisschotter mit einer Mächtigkeit von ca. 0,42 m bis ca. 0,60 m erkundet.

Der Schotter ist oberflächennah durchgehend mit einem geschätzten Feinanteil (< 31,5 mm) von ca. 0-5 % durchsetzt, in der Mischzone wurde der Feinanteil auf ca. 5-10 % geschätzt. Lediglich beim Schotterschurf bei ca. km 18,700 weist der Schotter über die gesamte Schurftiefe einen Feinanteil von ca. 20 % auf. Augenscheinlich wird der Schotter als mechanisch reinigungsfähig eingeschätzt.

Mutterboden

Mutterboden wurde oberflächlich überwiegend im Bereich der Böschungen erkundet.

Auffüllungen

In den durchgeführten Aufschlüssen wurden unterschiedlich mächtige Auffüllungen angetroffen. Bei den Auffüllungen handelt es sich um grob- und gemischtkörnige Böden der Bodengruppen [GE, GI, ST, GU, GT, ST*, GU*] in lockerer bis mitteldichter Lagerung sowie untergeordnet um bindige Böden der Bodengruppe [TL] in steifer bis halbfester Konsistenz. Im Rahmen der BK 2 wurde zudem eine ca. 0,6 m mächtige Steinlage erkundet. In den Auffüllungen können mineralische und untergeordnet nicht mineralische Fremdbestandteile vorhanden sein. Die Kieskomponenten innerhalb der Auffüllungen bilden überwiegend kantengerundete bis gerundete Sandsteine und Quarzite.

Anstehendes

Unterhalb der o. g. Auffüllungen wurde das Anstehende in Form von Hangablagerungen der Bodengruppen SI, SE, SW, ST, GI, GW, GU, SU* und ST* in lockerer bis mitteldichter Lagerung erkundet. Innerhalb der Hangablagerungen können unregelmäßig verteilte Steine und Blöcke enthalten sein. Unterhalb der Hangablagerungen bzw. teilweise direkt unterhalb der Auffüllungen wurde der Verwitterungshorizont des anstehenden Sandsteins mit unterschiedlichen Verwitterungsstufen (v5: zersetzt; v4: vollständig verwittert; v3: stark verwittert; v2 mäßig verwittert; v1: schwach verwittert; Verwitterungsstufen nach DIN EN ISO 14689) erkundet. Untergeordnet wurde zudem zersetzter (v5) Tonstein erkundet. Der zersetzte (v5) Sandstein und Tonstein zeigt aufgrund der Verwitterungsstufe Bodencharakter (Bodengruppen ST, SU, ST*, TL). Der zersetzte Sandstein weist entsprechend der Schlagzahlen der ausgeführten DPH überwiegend eine mitteldichte bis sehr dichte und nur untergeordnet eine lockere Lagerung auf. Dem zersetzten Tonstein ist eine steife Konsistenz zuzuordnen. Aufgrund des hohen Rammwiderstandes des angetroffenen Verwitterungshorizontes des Sandsteins musste die überwiegende Anzahl der Kleinrammbohrungen und schweren Rammsondierungen vor Erreichen der geplanten Endteufen abgebrochen werden. Der angetroffene Sandstein der Verwitterungsstufe v3-v1 ist be-
stark zerklüftet. Im Rahmen der ausgeführten Böschungsschürfe (siehe Anlage 3.2) wurde ein Schichteinfallen von 0° bis 15° nach Südwest aufgenommen.

2.3.1 Baugrundmodell

Aus den Ergebnissen der Baugrunderkundungen und bodenmechanischen Versuchen lässt sich für den Untersuchungsbereich des Hp. Steinalben ein allgemeines Baugrundmodell entwickeln, welches für die Bewertung der Baugrundverhältnisse herangezogen werden kann. Die angetroffenen Böden können als Schichten mit jeweils annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften zusammengefasst werden.

Ein Vorschlag für die Einteilung der Schichten des Baugrundmodells in Homogenbereiche nach DIN 18300, DIN 18301 und DIN 18304 erfolgt in Anlage 7.

Auf Basis dieser Angaben können bei Bedarf, sowie Kenntnis über die geplanten Arbeitsverfahren und eingesetzten Geräte, im Zuge der fortschreitenden Planung die hier nur orientierend festgelegten Homogenbereiche im Sinne der aktuellen VOB-Normen /U 23/ genauer abgeleitet werden.

2.3.3 Bodenkennwerte

Für den gesamten Abschnitt lassen sich den erkundeten Böden die in den folgenden Tabellen aufgeführten Kennwerte (Laboruntersuchungen an ausgewählten, repräsentativen Einzelproben /U 13/ sowie Kennwerte aufgrund regionaler Erfahrungswerte) zuordnen. Für das Schichtpaket 0 werden keine Werte angegeben.

Tabelle 2: Bodenkennwerte und Zuordnungen, Auffüllungen

Geologische Bezeichnung	Auffüllungen		
	grob- bis gemischtkörnig, Feinanteil < 15%	gemischtkörnig, Feinanteil >15%	bindig
Schichtnr. BG-Modell	1.1	1.2	1.3
Bodengruppe nach DIN 18196	[GI, GE, ST, GU, GT]	[ST*, GU*]	[TL]
Massenanteil Ton+Schluff / Sand / Kies nach DIN 18123 [%] ¹⁾	0... 2 ... 14 ...15/ 5... 14 ... 84 ...90/ 10... 2 ... 84 ...95	15... 21 ... 26 ...40/ 5... 51 ... 75 ...80/ 5... 4 ... 23 ...80	40... 41 ...60/ 40... 58 ...60/ 0... 1 ...20
Massenanteil Steine/Blöcke/ gr. Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1 [%] ¹⁾	0...20/ 0...10/ 0...5	0...10/ 0...5/ 0...5	0...10/ 0...5/ 0...1
Mineralogische Zus. Steine/Blöcke	Sandstein, Quarz	Quarz, Sandstein	k. A.
natürl. Wassergehalt w_n [%] ¹⁾	2...15	5...20	10... 12 ...28
Plastizitätszahl I_p [%] ¹⁾	--	--	7... 13,3 ...16
Konsistenzzahl I_c [-] ¹⁾ (Gesamtprobe)	--	--	0,75... 0,98 ...1,25
Konsistenz	--	--	steif-halbfest
Lagerungsdichte I_D [%] ¹⁾	15...65 locker - mitteldicht	15...65 locker - mitteldicht	--
Feuchtdichte [t/m ³] ¹⁾	1,6...2,1	1,6...2,1	1,8...2,1
Kohäsion nach DIN 18137 [kN/m ²] c'_k	--	--	5...10
Undrained Scherfestigkeit [kN/m ²] c'_u	--	--	20...150
Glühverlust V_{gl} [%] nach	0...3	0...3	0...5

Geologische Bezeichnung	Auffüllungen		
	grob- bis gemischtkörnig, Feinanteil < 15%	gemischtkörnig, Feinanteil > 15%	bindig
DIN 18128			
Abrasivität ¹⁾	schwach abrasiv bis stark abrasiv	schwach abrasiv bis abrasiv	nicht bis kaum abrasiv
Durchlässigkeitswert n. Beyer k_f [m/s]	$4,3 \cdot 10^{-4} \dots 4,6 \cdot 10^{-5}$	$2,9 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$
Durchlässigkeitswert n. Bialas k_f [m/s]	$6,3 \cdot 10^{-5} \dots 2,3 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$9,0 \cdot 10^{-8}$
Erfahrungswerte Durchlässigkeit k_f [m/s]	$10^{-3} \dots 10^{-6}$	$10^{-5} \dots 10^{-8}$	$10^{-7} \dots 10^{-9}$
Durchlässigkeit n. DIN 18130	stark durchlässig bis durchlässig	durchlässig bis schwach durchlässig	schwach bis sehr schwach durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB 09	F1 [GI, GE] F2 [ST, GU, GT]	F3	F3

¹⁾ Nach Erfahrungs- oder Literaturwerten; **Fett:** Ergebnisse aus Laborversuchen; nicht fett: Spannweite nach Erfahrungswerten; k.A. keine Angabe, -- nicht relevant

Tabelle 3: Bodenkennwerte und Zuordnungen, Anstehendes (Locker- und Halbfestgestein)

Geologische Bezeichnung	Hangablagerungen	Einheiten Buntsandsteins der Pfalz	
Schichtnr. BG-Modell	2.1	3.1	3.3
Bodengruppe n. DIN 18196 und DIN EN ISO 14689-1	SU, SI, SE, SW, ST, GI, GW, GU, SU, ST*	ST, ST*/ Sst	TL / Tst
Massenanteil Ton+ Schluff / Sand / Kies nach DIN 18123 [%] ¹⁾	0... 5 ... 24 ...35/ 10... 63 ... 91 ...100/ 0... 2 ... 16 ...90	5... 6 ... 19 ...30 65... 74 ... 93 ...100/ 0... 0 ... 15 ...25	40... 41 ...60/ 40... 59 ...60/ 0... 0 ...10
Massenanteil Steine/Blöcke/ gr. Blöcke nach DIN EN ISO 14688-1 [%] ¹⁾	0...20/ 0...10/ 0...5	0...20/ 0...10/ 0...1	0...10/ 0...5/ 0...1
Mineralogische Zus. Steine/Blöcke	Sandstein, Quarz	Sandstein, Quarz	k. A.
natürl. Wassergehalt w_n [%] ¹⁾	3...20	5...20	5... 14,5 ... 14,7 ...28
Konsistenz	--	--	steif-halbfest
Lagerungsdichte I_D [%] ¹⁾	15...65 locker - mitteldicht	15...100 locker - sehr dicht	--
Feuchtdichte [t/m ³] ¹⁾	1,6...2,1	1,8...2,3	1,9... 2,1 ... 2,2 ...2,4
Kohäsion n. DIN 18137 [kN/m ²]	--	--	5...20 (32)
Undränierete Scherfestigkeit [kN/m ²]	--	--	20...300
Glühverlust V_{gl} [%] n. DIN 18128	0...3	0...3	0...5
Abrasivität n. /U 22/ ¹⁾	abrasiv bis stark abrasiv	abrasiv bis stark abrasiv	kaum bis schwach ab-

Geologische Bezeichnung	Hangablagerungen	Einheiten Buntsandsteins der Pfalz	
			rasiv
Durchlässigkeitswert n. Beyer k_f [m/s]	$1,6 \cdot 10^{-4} \dots 2,2 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \times 10^{-4} \dots 4,5 \cdot 10^{-7}$	--
Durchlässigkeitswert n. Bialas k_f [m/s]	$4,6 \cdot 10^{-5} \dots 4,3 \cdot 10^{-6}$	$5,6 \cdot 10^{-5} \dots 7,3 \cdot 10^{-6}$	$5,0 \cdot 10^{-8}$
Erfahrungswerte Durchlässigkeit k_f [m/s]	$10^{-3} \dots 10^{-8}$	$10^{-3} \dots 10^{-8}$	$10^{-6} \dots 10^{-8}$
Durchlässigkeit n. DIN 18130	stark durchlässig bis schwach durchlässig	stark durchlässig bis schwach durchlässig	schwach durchlässig
Frostempfindlichkeit ZTVE-StB 09	F1, F2, F3	F2, F3	F3
Verwitterungsstufe n. DIN EN ISO 14689-1	--	v5 - v3 (zersetzt bis stark verwittert)	v5 (zersetzt)
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689-1	--	stark veränderlich (Grad 4-5) bis veränderlich (Grad 2-3)	stark veränderlich (Grad 4-5)

¹⁾ Nach Erfahrungs- oder Literaturwerten; **Fett:** Ergebnisse aus Laborversuchen; nicht fett: Spannweite nach Erfahrungswerten; k.A. keine Angabe, -- nicht relevant

Tabelle 4: Bodenkennwerte und Zuordnungen, Anstehendes (Festgestein)

Geologische Bezeichnung	Einheiten Buntsandsteins der Pfalz (Karlstal-Felszone)	
Schichtnr. BG-Modell	3.2	
Benennung Fels nach DIN EN ISO 14689-1	Sandstein (Sst)	
Feuchtdichte [t/m ³] ¹⁾	1,9... 2,1 ... 2,3 ...2,6	
Verwitterungsstufe n. DIN EN ISO 14689-1	v3 - v1 (stark bis schwach verwittert)	
Veränderlichkeit nach DIN EN ISO 14689-1	stark veränderlich (Grad 4-5) bis veränderlich (Grad 2-3)	
Einaxiale Druckfestigkeit q_u [MN/m ²] ¹⁾	5... 10,5 ... 73,1 [#] ...100; (gering bis hoch)	
Trennflächenrichtung n. DIN EN ISO 14689-1	Schichtflächen (ss): Einfallrichtung 280 – 310 (untergeordnet: 115, 227 – 248); Einfallwinkel 0 – 15° ; Kluftflächen (K): Hauptkluftrichtungen: Einfallrichtung 25 – 50 und 215 – 320 Einfallwinkel 35 – 90° (Kluftabstand: 0,2...0,6 m)	
Trennflächenabstand n. DIN EN ISO 14689-1	sehr dünn bis mittel (20 mm bis 600 mm)	
Gesteinskörperform n. DIN EN ISO 14689-1	tafelförmig	
Abrasivität n. /U 22/	abrasiv bis stark abrasiv	

¹⁾ Nach Erfahrungs- oder Literaturwerten; **Fett:** Ergebnisse aus Laborversuchen; nicht fett: Spannweite nach Erfahrungswerten; k.A. keine Angabe; -- nicht relevant; [#] teilweise aus Punktlastversuchen (siehe Anlage 4) mit Umrechnungsfaktoren $c = 20$ und $c = 15$ für Sandstein (grobe Schätzung)

2.3.4 Einschätzung Ramm- und Rüttelfähigkeit der Baugrundsichten

Eine Einschätzung der Böden hinsichtlich ihrer Einbringbarkeit von Bauteilen (z.B. nach DIN-Norm) existiert nicht. Nach DIN 18304 ist Boden zur Beurteilung für das Einbringen von Bauelementen mittels rammender oder rüttelnder Arbeitsweise in gerätespezifische Homogenbereiche einzuteilen.

Die dazu benötigten Indikatoren werden, sofern im Rahmen dieser Erkundungsphase bereits Angaben möglich sind, in den Tabellen im Kapitel 2.3 dieses Berichtes beschrieben und den jeweiligen Schichten des Baugrundmodells in Kapitel 2.3.1 zugeordnet. In Anlage 7 findet sich eine orientierende Einteilung der Baugrundsichtung in Homogenbereiche nach DIN 18304 für rammende und rüttelnde Arbeitsweise.

Die nachfolgende orientierende Einschätzung der Einbringbarkeit in Tabelle 5 basiert auf der Grundlage der ausgeführten DPH (Spitzenquerschnitt 15 cm², Spitzen-durchmesser 43,7 mm, Masse des Rammhärens 50 kg, Fallhöhe 0,5 m), den erkundeten Bodenarten, Lagerungsdichten bzw. Konsistenzen und Erfahrungen.

Die vorgeschlagene Einschätzung ist im Zuge der Entwurfsplanung durch den Planer bzw. einen geotechnischen Sachverständigen (ggf. untermauert durch weitere geotechnische Erkundungen) an die vorgesehenen Arbeitsverfahren und Geräte anzupassen.

Tabelle 5: Orientierende Einschätzung der Einbringbarkeit von Bauelementen in rammender, rüttelnder Arbeitsweise

Einbringbarkeit	Schicht-Nr. Baugrundmodell	
	Rammen	Rütteln
leicht bis mittelschwer	1.1a, 1.2a, 2.1a, 1.3a, 1.1b, 1.2b, 2.1b	1.1a, 1.2a, 2.1a, 1.3a, 1.1b, 1.2b, 2.1b
schwer bis sehr schwer	3.1, 3.3	3.1, 3.3
nicht rammbaar	3.2	3.2

In den Auffüllungen und in der Schicht 2.1 kann das Vorhandensein von Rammhindernissen nicht ausgeschlossen werden. Der Verwitterungshorizont des Sandsteins bzw. Tonsteins (Schichtpakt 3) wird zudem als schwer bis nicht rammbaar eingestuft. Dementsprechend kann die Baugrundsichtung nicht grundsätzlich als rammfähig eingeschätzt werden, weshalb wir bei Ramm-/Rüttelarbeiten ein Vorbohren empfehlen. Es ist ein fachgerechtes Rammen mit entsprechend geeigneter (schwerer) Technik, ausreichend bemessener Bauteile und Erfahrung erforderlich. Generell sollten beim Einbringen folgende Grundsätze beachtet werden:

- Zur Verringerung der dynamischen Anregungen sollten möglichst erschütterungsarme Verfahren angewendet werden.
- Die Bauteile sollten nach Möglichkeit in einem Zug bis zur Endtiefe eingebracht werden. Sofern ein Nachrammen vorgesehen ist, muss die Verweilzeit bis zum Rammen auf Endtiefe minimiert werden, um den „Festwachseffekt“ zu vermeiden.
- Es ist ein Rammgerät von ausreichender Größe zu verwenden. Beim Einsatz eines zu kleinen Gerätes besteht die Gefahr, dass kaum Rammfortschritt erzielt wird und die Rammenergie zum großen Teil in Schwingungsenergie umgesetzt wird.
- Während des Einbringens sind benachbarte Gleisanlagen und Bebauungen ständig zu beobachten.

Sofern das Einbringen von Bauelementen mittels rammender oder rüttelnder Arbeitsweise vorgesehen ist, empfehlen wir, zur Auswahl der Technologie und Geräte eine Fachfirma einzuschalten und Probeeinbringungen vorzusehen. Die von uns vorgenommenen orientierende Einschätzungen und stehen nicht den Erfahrungen von Baufirmen bei der Durchführung von Arbeiten mit ähnlichen Baugrundverhältnissen entgegen.

Grundsätzlich sind bei der Ausführung von Ramm- und Rüttelarbeiten die Regelungen der DIN 18304 zu beachten.

2.3.5 Bodenrechenwerte

Den erkundeten Böden können für erdstatische Berechnungen die in der folgenden Tabelle angegebenen charakteristischen Kenngrößen und Bodenrechenwerte zugeordnet werden. Das Schichtpaket 0 wird nachfolgend nicht weiter betrachtet.

Tabelle 6: Rechenwerte

Schicht-Nr. BG-Modell	DIN 18196/ DIN 4023	LD/ Konsistenz/VS	cal γ_k [kN/m ³]	cal γ'_k [kN/m ³]	ϕ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	c'_{u_2} [kN/m ²]	$E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
1. Auffüllungen								
1.1a	[GE, GI, ST, GU, GT]	lo	17,0	9,5	30,0	--	--	15
1.1b		md	19,0	11,5	32,5	--	--	30
1.2a	[ST*, GU*]	lo	16,5	9,0	30,0	--	--	10
1.2b		md	18,0	10,5	32,5	--	--	20
1.3a	[TL]	st-hf	20,0	10,0	25,0	5-10	20-150	8
2. Anstehendes: Lockergestein								
2.1a	SU, SI, SE, SW, ST,	lo	16,5	9,0	30,0	--	--	15

Schicht-Nr. BG-Modell	DIN 18196/ DIN 4023	LD/ Konsistenz/VS	cal γ_k [kN/m ³]	cal γ'_k [kN/m ³]	ϕ'_k [°]	c'_k [kN/m ²]	c'_u [kN/m ²]	$E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
2.1b	GI, GW, GU, SU, ST*	md	18,0	10,5	32,5	--	--	35
3. Anstehendes: Halbfest- und Festgestein								
3.1	ST, ST* (Sst)	v5-v3 (lo-sd)	20,0	12,0	32,5	--	--	40-80
3.2	Sst	v3-v1	21,0	12,0	35,0	10-100	--	80-200
3.3	TL (Tst)	v5 (st-hf)	20,0	10,0	30 (31,1 [#])	5...20 (32 [#])	20-300	5-20 (15 [#])

LD = Lagerungsdichte; VS: Verwitterungsstufe; lo = locker; md = mitteldicht; sd = sehr dicht; st = steif; hf: halbfest

[#]Laborwert entsprechend /U 13/

¹⁾ **Hinweis:** Der Steifemodul $E_{s,k}$ ist spannungsabhängig und nimmt mit der Höhe der Überdeckung zu. Die Angaben für den Steifemodul $E_{s,100}$ gelten bei einer Spannung $\sigma = 100$ kN/m² bei Lockersedimenten, die Ermittlung des spannungsabhängigen Steifemoduls $E_{s,k}$ ergibt sich nach der Gleichung:

$$E_S = E_{S,100kN/m^2} \left(\frac{\sigma}{100kN/m^2} \right)^w, \text{ wobei } w \text{ ein Parameter ist und } \sigma \text{ die betrachtete Spannung.}$$

Der Parameter w ist in Abhängigkeit der Bodenart zu wählen:

Organische Böden $w=0,85-1,0$; Tone $w=0,85-1,0$; Schluffe $w=0,80-0,95$; Sand/Kies $w=0,55-0,70$

2.3.6 Beton- und Stahlaggressivität

Für Planungszwecke wurde zur Bewertung der Beton- und Stahlaggressivität der Böden eine Mischprobe Boden MP 5 unter Verwendung des Bodenmaterials aus den durchgeführten Kernbohrungen BK 1 und BK 2 über die gesamte Tiefe hergestellt und im Labor der DB E&C GmbH auf beton- und stahlangreifende Inhaltsstoffe untersucht. Die Auswertung der Beton- und Stahlaggressivität der Böden ist im Detail in der Anlage 5 dargestellt, der Prüfbericht ist ebenfalls der Anlage 5 zu entnehmen.

Betonaggressivität

Die untersuchte Bodenprobe MP 5 ist nach DIN 4030 als nicht betonangreifend einzustufen. Die gemessenen Konzentrationen und Werte der untersuchten Parameter (Säuregrad nach Baumann-Gully, Sulfat-, Sulfid- und Chloridkonzentrationen) liegen unterhalb der Zuordnungskriterien der Expositionsklasse XA1.

Stahlaggressivität

Die Untersuchung der Bodenmischprobe MP 5 hinsichtlich der Korrosionswahrscheinlichkeit unlegierter und niedriglegierter Eisenwerkstoffe ergab die in der folgenden Tabelle dargestellten Ergebnisse.

Tabelle 7: Stahlaggressivität des Bodens nach DIN 50929

Bezeichnung Mischprobe	Bodenaggressivität	Mulden- und Lochkorrosion	Flächenkorrosion
MP 5	la praktisch nicht aggressiv	sehr gering	sehr gering

2.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Der Hp. Steinalben liegt nach Angaben des Geoportals Rheinland-Pfalz /U 28/ außerhalb festgesetzter Wasserschutzgebiete und außerhalb von Überschwemmungsgebieten. Gemäß /U 29/ bildet der „Südwestdeutsche Buntsandstein“ den hydrogeologischen Teilraum im Bereich des Hp. Steinalben. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt befindet sich der Hp. Steinalben in Anschnittslage. Westlich des Hp. Steinalben befindet sich das Tal der Moosalbe. Ausgehend von den Vermessungsunterlagen liegt der Böschungsfuß im Tal im Bereich des Hp. Steinalben auf einer Höhe von ca. 261,5 m NN (DB REF). Im Bereich des Böschungsfußes bei ca. km 18,695 und ca. km 18,725 befinden sich zudem zwei Quellen, welche in die Moosalbe entwässern.

Grundwasser wurde im Zuge unserer Baugrunderkundungen bis zum Erreichen einer max. Endteufe bei 263,4 m NN (DB REF), entspricht 10 m u. AP der BK 2, nicht erkundet. Einmalig wurde im Rahmen der KRB 19,100 in einer Tiefe von ca. 0,5 m u. AP Schichtwasser angetroffen.

Für die Baumaßnahmen, mit Ausnahme des Durchlasses bei km 18,748, wird ein Bemessungswasserstand von 263,4 m NN (DB REF) empfohlen, welcher sich an der Endteufe der ausgeführten BK 2 orientiert. Generell ist davon auszugehen, dass sich auf den gemischtkörnigen und bindigen Böden insbesondere in niederschlagsreichen Perioden Schichtwasser bilden kann.

Durchlass km 18,748

Bei km 18,748 befindet sich ein Rohrdurchlass, welcher bahnlinks im Böschungsbereich als Kaskade ausgebildet ist. Der bahnlinke Einlauf des Durchlasses ist verschüttet, der bahnrechte Auslauf ist trocken. Der Durchlass dient zur Ableitung von anfallendem Hangwasser. Im Rahmen der Ortstermine wurde bahnlinks Hangwasser im Einlaufbereich festgestellt, welches am bahnrechten Auslauf aufgrund der Verschüttung nicht angetroffen wurde. Es ist davon auszugehen, dass ein Großteil des anfallenden Hangwassers im Bereich des Einlaufs versickert. Für den Durchlass empfehlen wir einen bauzeitlichen Bemessungswasserstand von 272,5 m NN (DB REF). Dieser orientiert sich an der Höhenlage der bahnlinken Grabensohle (Entwässerungsgraben entsprechend Querprofil 7 km 18,7+55, /U 4/) im Bereich des Einlaufes des Durchlasses.

2.5 Erdbebenzone

Nach der DIN EN 1998-1/NA:2011-01 liegt das Untersuchungsbereich nicht in einer Erdbebenzone.

2.6 Kampfmittel

Das Untersuchungsgebiet liegt gemäß der Kampfmittelvorerkundung /U 11/ in einer Kampfmittelverdachtsfläche. Aus diesem Grund wurden alle Ansatzpunkte mittels oberflächennaher Detektion auf das Vorhandensein eventueller oberflächennaher Hindernisse freigemessen. Die Fa. Geolog GbR hat die Untersuchungspunkte der Kleinrammbohrungen/Rammsondierungen und Kernbohrungen punktuell freigemessen /U 12/.

Für die Baumaßnahme sind aufgrund der Kampfmittelsituation gemäß /U 11/ flächenhafte Vorortüberprüfungen zu empfehlen.

3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Bautechnische Empfehlungen

3.1 Allgemein

Der Hp. Steinalben befindet sich nach Ril 836 /U 16/ in der Frosteinwirkungszone I. Wir gehen bei den folgenden Bemessungen von einer frostsicheren Gründungstiefe der Fundamente von mindestens 0,8 m unter Geländeoberkante (u. GOK) aus (Teilfrostsicherung). Eine volle Frostsicherheit (maximal zu erwartende Frosteindringtiefe) ist bei 1,2 m u. GOK in der Frosteinwirkungszone I gegeben.

Vor Beginn der Arbeiten muss der Oberboden abgeschoben werden. Entsprechend § 4 des BBodSchG (Bundesbodenschutzgesetz) ist bei Planung und Ausführung von Baumaßnahmen auf einen sparsamen und schonenden Umgang mit Boden zu achten. Dies gilt insbesondere für die Sicherung des Oberbodens sowie die Wiederverwertbarkeit des Aushubmaterials. In diesem Zusammenhang können von den zuständigen Behörden diesbezüglich Auflagen erteilt werden.

Für die Tragschichtbemessung der Gleise 1 und 2 und die Gründung des Modulgebäudes gehen wir von der Geotechnischen Kategorie 1 (GK 1) aus, für die weiteren Baumaßnahmen (Neubau Mittelbahnsteig, Neubau Signale, Erneuerung Durchlass, Neubau Stützwand) von GK 2.

Bei einer Flachgründung müssen die Fundamente von ihren Abmessungen her so beschaffen sein, dass:

- die Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 gewährleistet ist und
- keine bauwerksunverträglichen Setzungen bzw. Setzungsunterschiede eintreten.

3.2 Neubau Mittelbahnsteig

3.2.1 Flachgründung des Mittelbahnsteigs

Ausgehend von den Planungsunterlagen /U 7/ soll ein neuer Mittelbahnsteig von km 18,895 bis ca. km 19,035 mit einer Länge von ca. 140 m bahnlinks des Gleis 1 mit einer Bahnsteigbreite von ca. 4,6 m errichtet werden. Bei den geplanten Bahnsteigkanten gehen wir von einer konventionellen Bauweise (Aufsetzen der Kantensteine auf einem Fertigteilblockfundament) in einer Tiefe von mind. 0,8 m u. GOK (ca. 1,0 m u. SO) aus. Sollten andere Fundamenteinbindetiefen bzw. Fundamentbreiten für die Ausführung gewählt werden, sind die nachfolgend gemachten Aussagen zu überprüfen bzw. zu verifizieren.

Die Gründungssohle der Bahnsteigkanten kommt bei einer frostfreien Gründungstiefe von 0,8 m u. GOK (bzw. 1,0 m u. SO) im Tiefenbereich des Verwitterungshorizontes des Sandsteins (v5) in Form von dicht gelagerten Sanden (Schicht 3.1) zu liegen. Auf dem Verwitterungshorizont (Schicht 3.1) kann der mindestens erforderliche Verformungsmodul von $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ (Anfor-

derungen an Erdplanum) bei trockener Witterung erfahrungsgemäß erreicht werden. Die Böden sind nicht frostsicher. Der Verwitterungshorizont des Sandsteins weist tonige Bereiche auf, die bei Niederschlägen und dynamischen Belastungen aufweichen und durchwarkt werden können. Das freigelegte Planum darf nicht mit schwerem Gerät oder Radfahrzeugen befahren werden.

Angaben zu erwarteten Lasten liegen derzeit nicht vor. Mit dem Programm GGU Footing /U 38/ wurde eine orientierende, überschlägige Setzungsberechnung bei Annahme der Sicherheiten nach EC7, Bemessungssituation BS-P am Profil KRB/DPH 18,965 durchgeführt. Für Die Berechnung wurden folgenden Annahmen getroffen:

Fundamentlänge:	L = 1 m
Fundamentbreite:	B = 0,4 m bis 0,8 m
Einbindetiefe:	t = 0,8 m u. GOK
Baugrundprofil:	KRB/DPH 18,965

Die orientierende, überschlägige Setzungsberechnung anhand des Bodenprofils KRB/DPH 18,965 zeigt, dass mit den angegebenen Bodenkennwerten und Fundamentabmessungen der maximale Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes (bei einer Fundamentbreite von 0,8 m) $\sigma_{R,d} = 498 \text{ kN/m}^2$ beträgt. In der folgenden Tabelle sind die Bemessungswerte des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ bezüglich Grundbruch und charakteristische Lasten $\sigma_{E,k}$ für Setzungen < 0,25 cm für verschiedene Fundamentbreiten angegeben. Die orientierende, überschlägige Setzungsberechnung findet sich in Anlage 6.1.

Tabelle 8: Ergebnisse Setzungsberechnung Mittelbahnsteig

$\sigma_{R,d} [\text{kN/m}^2]$			$\sigma_{E,k} [\text{kN/m}^2]$ für 0,25 cm Setzung		
b=0,4	b=0,6	b=0,8	b=0,4	b=0,6	b=0,8
388	445	498	235	190	165

b: Breite des Streifenfundamentes

Sollte die Gründungssohle der Bahnsteigkanten oberhalb der frostfreien Gründungstiefe von 0,8 m u. GOK zu liegen kommen, ist zwischen Gründungssohle und der frostfreien Gründungstiefe (0,8 m u. GOK) ein Bodenaustausch aus frostsicherem und verdichtungsfähigem Bodenmaterial nach Ril 836, z.B. der Bodengruppe GW, GI, SW oder SI, oder aus einem Magerbeton einzubauen. Die Stärke des Bodenaustausches ist entsprechend zu bemessen. Wir empfehlen generell, unter sämtlichen Fundamenten eine Sauberkeitsschicht von > 0,1 m Beton der Güte C12/15 aufzubringen.

Sobald die geplanten Fundamenteinbindetiefen bzw. Fundamentbreiten sowie die erwarteten Lasten vorliegen, sind die oben gemachten Aussagen zu überprüfen bzw. zu verifizieren.

3.2.2 Hinterfüllung Bahnsteigkanten

Es wird empfohlen die Hinterfüllungen der Bahnsteigkanten gemäß Ril Modul 836.4302 nach den Forderungen der ZTVE-StB09 /U 25/ auszubilden.

Demnach müssen die Hinterfüllmaterialien aus wasserdurchlässigen, grobkörnigen, weit- oder intermittierend gestuften Kiessanden (GW, GI, SW, SI nach DIN 18196) bestehen und mit einem Verdichtungsgrad $D_{pr} > 1,0$ eingebaut werden. Um diesen Verdichtungsgrad zu erreichen, sollen diese im erdfeuchten Zustand in Lagen von $d < 0,30$ m eingebaut und verdichtet werden. Die Verdichtung ist im Zuge der Bauausführung kontinuierlich nachzuweisen. Das einzubauende Material ist auf seine Eignung im Vorfeld der Baumaßnahme zu prüfen.

3.2.3 Oberflächenbefestigung Bahnsteig und Zuwegung

Die Bemessung des Aufbaus der Bahnsteigoberflächenbefestigung erfolgt entsprechend der RStO-12 /U 26/. Das Kapitel 5.2 der RStO gibt an, dass Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F1 unmittelbar unter dem Oberbau keine Frostschutzmaßnahmen benötigen. Hingegen ist bei Böden mit einer Frostempfindlichkeitsklasse F2 bis F3 für Rad- und Fußwege unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse (u. A. Frosteinwirkungsgebiet I, Lage im Einschnitt bzw. Anschnitt, Entwässerung der Fahrbahn und des Randbereichs über Rinnen bzw. Abläufe und Rohrleitungen) ein frostsicherer Aufbau von mind. 0,30 m Stärke erforderlich. Sofern die Hinterfüllung des Mittelbahnsteigs im gesamten Bereich aus Hinterfüllmaterial gemäß Kapitel 3.2.2 besteht, sind keine weiteren Frostschutzmaßnahmen erforderlich. Auf der Oberkante Tragschicht (Unterkante Oberflächenbefestigung) ist hierbei ein E_{v2} -Wert von 80 MN/m^2 nachzuweisen. Auf dem Erdplanum (Unterkante frostsicherer Aufbau) ist ein Verformungsmodul $E_{v2} = 45 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen.

3.2.4 Versickerung / Entwässerung Bahnsteig

Allgemeines

Nach Arbeitsblatt DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ /U 24/ sind Böden für Versickerungsanlagen geeignet, deren Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte k_f im Bereich von 10^{-3} m/s bis 10^{-6} m/s liegen. Außerdem sollte die Mächtigkeit des Sickerraumes (Gesteinskörper, der zum Betrachtungszeitpunkt kein Grundwasser enthält), bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand grundsätzlich mindestens 1,0 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten.

Entsprechend der im Bereich des geplanten Mittelbahnsteigs ausgeführten Aufschlüsse (KRB 18,912 und KRB 18,965) wurden ca. 0,45 m mächtige Auffüllungen aus grobkörnigen Kiesen der Bodengruppen [GE] angetroffen. Ab einer Tiefe von ca. 0,8 m u. SO steht der san-

dige Verwitterungshorizont des Sandsteins in Form von tonigen Sanden an. Die aufgefüllten, grobkörnigen Böden sind mit ermittelten Durchlässigkeiten von $k_f > 10^{-6}$ m/s zur Versickerung theoretisch geeignet. Der anstehende Verwitterungshorizont des Sandsteins hat laut der bodenmechanischen Laborversuche eine Durchlässigkeiten k_f zwischen $1,6 \times 10^{-4}$ und $5,0 \times 10^{-8}$ m/s.

Ergänzend sollte ein Versickerungsversuch (VS 1) bahnlinks von Gleis 1 im Bereich des geplanten Bahnsteiganfangs bei ca. km 18,900 und ein Versickerungsversuch (VS 2) bahnlinks von Gleis 1 im Bereich des geplanten Bahnsteigendes bei ca. km 19,060 ausgeführt werden. Die Berechnung des k_f -Wertes erfolgt nach Zunker und liefert im Rahmen des VS 1 eine Durchlässigkeit des angetroffenen Bodens (ST/ST*) von $1,5 \times 10^{-4}$ m/s und im Rahmen des VS 2 eine Durchlässigkeit des angetroffenen Bodens (ST/ST*) von $1,2 \times 10^{-4}$ m/s. Die Böden werden als versickerungsfähig eingestuft und sind theoretisch zur Versickerung von anfallendem Oberflächenwasser aus dem Bereich des geplanten Mittelbahnsteigs geeignet.

Aufgrund von erkundeten, weniger durchlässigen Bereichen und aufgrund des für die Gleisentwässerung bereits geplanten Entwässerungssystems (Tiefenentwässerung), ist ein Anschluss an diese sinnvoll.

3.3 Tragschichtbemessung Gleis 1 und Gleis 2

3.3.1 Anforderungen an das Tragschichtsystem

Nach aktuellem Planungsstand ist die Baumaßnahme im Gleis 1 dem Kriterium „Verbesserung / Erneuerung“ und die Maßnahme für das geplante Gleis 2 dem Kriterium „Neubau“ zuzuordnen. Die aktuelle Gleisbelastung im Bereich des Hp. Steinalben wird laut /U 8/ mit 2.852 Lt/d angegeben, die maximale Geschwindigkeit v_{\max} mit 40 km/h.

Weitere Angaben zur geplanten Lage des neuen Gleises 2, der geplanten Gleisbelastung in den Gleisen 1 und 2 und zum Instandhaltungsaufwand im Gleis 1 liegen uns aktuell nicht vor. Wir gehen in der folgenden Bemessung von einer Gleisbelastung von 2.852 Lt/d jeweils im Gleis 1 und Gleis 2 und im Gleis 1 von einem erhöhten Instandhaltungsaufwand aus. Es wird eine maximale Geschwindigkeit $V_{\max} \leq 80$ km/h angesetzt.

Entsprechend den uns vorliegenden Angaben /U 7/ und /U 8/ wird für die Tragschichtbemessung im Gleis 1 die Tabelle 9 und für die Tragschichtbemessung im Gleis 2 die Tabelle 10 gemäß Ril 836.4101 angewendet.

Tabelle 9: Regelanforderungen an den Unterbau unter Gleisen auf Erdkörpern gemäß /U 16/, Verbesserung ($v_{\max} \leq 80$ km/h)

Verbesserung, Schotteroberbau			
max. Geschwindigkeit	≤ 80 km/h		
max. Gleisbelastung	≤ 30.000 Lt/d		
Frosteinwirkungsgebiet	I		
abzusichernder Tragbereich	1,5 m u. SO		
Anforderung an den Tragbereich (Untergrund/bestehender Unterbau) nach Anhang 01 Modul 836.4101	Ic $\geq 0,6$ (weiche Konsistenz) D $> 0,2$ (lockere Lagerung)		
Frostempfindlichkeitsklasse	F1	F2	F3
Dicke frostsicherer Aufbau	-	30	40
Dicke der Schutzschicht	20	20	20
Anforderung an das Verformungsmodul nach Anhang 01 Modul 836.4101 ²⁾		OFTS	OK Planum/ Untergrund
	E_{v2} [MN/m ²]	40	20
	E_{vd} [MN/m ²]	30	25/20 ¹⁾
Verdichtung	D_{Pr}	1,00	0,97 / 0,95 ¹⁾

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

 Tabelle 10: Regelanforderungen an den Unterbau unter Gleisen auf Erdkörpern gemäß /U 16/, Neubau ($v_{\max} \leq 80$ km/h)

Neubau, Schotteroberbau			
max. Geschwindigkeit	≤ 80 km/h		
Frosteinwirkungsgebiet	I		
abzusichernder Tragbereich	1,5 m u. SO		
Anforderung an den Tragbereich (Untergrund/bestehender Unterbau) nach Anhang 01 Modul 836.4101	Ic $\geq 0,6$ (weiche Konsistenz) D $> 0,2$ (lockere Lagerung)		
Frostempfindlichkeitsklasse	F1	F2	F3
Dicke frostsicherer Aufbau	-	50	60
Dicke der Schutzschicht	25	25	30
Anforderung an das Verformungsmodul nach Anhang 01 Modul 836.4101 ²⁾		OFTS	OK Planum/ Untergrund
	E_{v2} [MN/m ²]	80	45
	E_{vd} [MN/m ²]	40	30/25 ¹⁾
Verdichtung	D_{Pr}	1,00	0,97 / 0,95 ¹⁾

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

3.3.2 Bemessung Tragschichtsystem

Ausgehend von einem idealisierten Regelquerschnitt (Streckenlasten < 10.000 Lt/d):

- 0,20 m Schiene
- 0,20 m Schwelle (Betonschwelle)
- 0,20 m Schotter (nach Ril 820.2010 Anhang 04)

liegt die Oberfläche Tragschicht (OFTS) = Unterkante (UK) Schotter bei Herstellung eines Regelquerschnittes unter Betonschwellen bei ca. 0,6 m u. SO.

3.3.3 Planumsverbesserung nach Ril 836.4105A01

Für Strecken ohne absehbare wesentliche Veränderung der Beanspruchung kann zur Bewertung der Erfordernis einer Planumsverbesserung (Plv) das Entscheidungsdiagramm nach Ril 836.4105A01 verwendet werden. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die sichere Nutzungsdauer der Strecke begrenzt ist. Der Regelfall bei einer notwendigen Plv ist der Einbau einer Schutzschicht.

Die aktuellen Anforderungskriterien zur Anwendung des Entscheidungsdiagrammes sind:

- *Höchstgeschwindigkeit ≤ 160 km/h (Hg nach VzG).*
- *Gleisbelastung < 30.000 Leistungstonnen/Tag.*
- *Radsatzlast ≤ 225 kN (22,5to) und keine Erhöhung der Streckenklasse.*
- *maximale Geschwindigkeitsanhebungen: $\Delta v =$ keine Einschränkung (für $v \leq 80$ km/h); $\Delta v \leq 20$ km/h (für 80 km/h < $v \leq 120$ km/h); $\Delta v = 0$ km/h (für $120 < v \leq 160$ 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 das Entscheidungsdiagramm für das Gleis 1 angewendet werden kann. Aufgrund der vorliegenden Gleisbelastung und unter Berücksichtigung der vorliegenden Rahmenbedingungen (erhöhter Instandhaltungsaufwand) erfolgt eine Streckeneinstufung, welche in der folgenden Tabelle dargestellt ist.

Tabelle 11: Erfordernis einer Planumsverbesserung nach Ril 836.4105A01

von – bis [km] (Baumaßnahme)	Rahmenbedin- gungen	Einstufung	Entscheidung	Maßnahme
Gleis 1 km 18,660 – km 19,200	Geschwindigkeit: ≤ 80 km/h Belastung: ≤ 6.000 Lt/d	„Cc“	Abfrage 13 verneint	Fall 4: Planumsverbesserung ist in der Regel nicht notwendig

Da die Baumaßnahme für das Gleis 2 entsprechend Ril 836.4101A01 dem Kriterium „Neubau“ zuzuordnen ist, kann das Entscheidungsdiagramm für eine Planumsverbesserung nach Ril 836.4105A01 in diesem Abschnitt nicht angewendet werden.

3.3.4 Planumsverbesserung nach TM 2013-256

Sofern auf den Einbau einer mineralischen Schutzschicht verzichtet werden soll, kann entsprechend TM 2013-256 /U 18/ alternativ ein Geokunsteinsatz (Vliesstoff) unter dem Schotter eingebaut werden. Dieser besitzt jedoch im Vergleich zur mineralischen Tragschicht nur eine eingeschränkte Funktionsfähigkeit. Der Vliesstoff wird zur Planumsverbesserung direkt unter dem Schotter eingebaut.

Die aktuellen Randbedingungen zur Anwendung der TM sind (Regelanwendung):

- Höchstgeschwindigkeit ≤ 120 km/h (Hg nach VzG).
- Gleisbelastung < 20.000 Leistungstonnen/Tag.
- Radsatzlast ≤ 18,0 t (überwiegend Personenverkehr)
- maximale Geschwindigkeitsanhebungen: $\Delta v = \text{keine Einschränkung}$ (für $v \leq 100$ km/h); $\Delta v \leq 20$ km/h (für 100 km/h), wobei v die zukünftige Streckengeschwindigkeit ist.
- Mindesttragfähigkeit OFTS $E_{vd} \geq 20$ MN/m² (Orientierungswert)

Auf Grundlage der uns vorgelegten Daten zur Geschwindigkeit und Lasttonnen ist das Gleis 1 in die Kategorie „Cc“ einzustufen. Die Möglichkeit einer Planumsverbesserung nach TM 2013-256 ist in nachfolgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 12: Erfordernis einer Planumsverbesserung nach TM 2013-256

von – bis [km] (Baumaßnahme)	Rahmenbedin- gungen	Einstufung	Entscheidung	Möglichkeit
Gleis 1 km 18,660 – km 19,200	Geschwindigkeit: ≤80 km/h Belastung: ≤ 6.000 Lt/d	„Cc“	Abfrage 13 verneint	Regelanwendung - vollwertige Planums- verbesserung

3.3.5 Bemessung nach Ril 836

Der Bemessung liegt zugrunde, dass nach mündlicher Aussage des Planers aufgrund der beengten Platzverhältnisse eine Tiefenentwässerung (TE) im Bereich des Haltepunktes Steinalben geplant ist.

Abschnitt 1 (Gleis 1):

In nachfolgender Tabelle ist die Bemessung der Tragschicht nach Ril 836 ausgehend von den Randbedingungen entsprechend Kapitel 3.3.1 und Tabelle 9 für das Gleis 1 von ca. km 18,660 bis ca. km 19,200 dargestellt.

Die Baugrundprofile der im Gleis 1 ausgeführten Aufschlüsse sind in der Anlage 3.1, Blatt 3 dargestellt. Die Bemessung orientiert sich am ungünstigsten Baugrundprofil im o.g. Streckenabschnitt im Gleis 1.

Tabelle 13: Tragschichtbemessung nach Ril 836

Abschnitt	Vorhandener Zustand	Maßnahme und maßgebende, erforderliche Mächtigkeit
Gleis 1 km 18,660 – km 19,200	<ul style="list-style-type: none"> • vorhandener Untergrund (Ist-Zustand) entspricht ST* • vorhandener Untergrund <u>nicht frostsicher</u> (F3) • abzusichernder Tragbereich entspricht mind. $D > 0,2$ (lockere Lagerung) bzw. $I_c \geq 0,6$ (weiche Konsistenz); bis 1,5 m u. SO • hydrologischer Fall 1/2* • Tragfähigkeit OFTS (Istzustand) E_H: 30 MN/m², <u>noch tragfähig</u> • Erdkörper eingeschränkt versickerungsfähig • Filterstabilität Schotter/Tragschicht nicht gewährleistet 	<p>Einbau PSS wird empfohlen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ausbau Altschotter und Boden bis 0,8 m u. SO - Einbau 0,2 m KG 1 - Herstellung Regelprofil Schotter - Anschluss an Entwässerungssystem (TE)*
	<p>Bemessung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frosteinwirkungsgebiet: I • Bemessungswert Erdplanum E_H: 30 MN/m² • Bemessung auf Frost: 0,2 m • Bemessung auf Tragfähigkeit: -- 	

*nach Aussage Planung ist der Bau einer TE im Hp. Steinalben vorgesehen

Abschnitt 2: Gleis 2

In der nachfolgenden Tabelle ist die orientierende Bemessung der Tragschicht nach Ril 836 ausgehend von den Randbedingungen entsprechend Kapitel 3.3.1 und Tabelle 10 für einen geplanten Verlauf des Gleis 2, bahnlinks des Gleis 1, im Streckenabschnitt von ca. km 18,660 bis km 19,200 dargestellt. Die Baugrundprofile der im Bereich des geplanten Gleis 2 ausgeführten Aufschlüsse sind in der Anlage 3.1, Blatt 4 dargestellt.

Aufgrund fehlender Angaben zur konkreten Lage des geplanten Gleis 2 kann eine orientierende Tragschichtbemessung basierend auf unseren Erkundungen nur anhand von Annahmen hinsichtlich des Baugrundes durchgeführt werden. In Abhängigkeit der geplanten Lage des Gleis 2 kann ein Eingriff in die bahnlinke Böschung notwendig werden.

Im Folgenden wird eine orientierende Tragschichtbemessung ausgehend vom ungünstigsten Baugrundprofil erstellt.

Abschnitt	Angenommener Zustand	Maßnahme und maßgebende, erforderliche Mächtigkeit
Geplantes Gleis 2 ; km 18,660 – km 19,200	<ul style="list-style-type: none"> • angenommener Untergrund entspricht ST* • angenommener Untergrund <u>nicht frostsicher</u> (F3) • abzusichernder Tragbereich entspricht mind. $D > 0,2$ (lockere Lagerung) bzw. $I_c \geq 0,6$ (weiche Konsistenz); bis 1,5 m u. SO • hydrologischer Fall 1/2* • Tragfähigkeit OFTS (Istzustand) E_H: 30 MN/m², <u>nicht ausreichend tragfähig</u> • Erdkörper eingeschränkt versickerungsfähig • Filterstabilität Schotter/Tragschicht nicht gewährleistet 	Einbau PSS erforderlich
	<p>Bemessung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frosteinwirkungsgebiet: I • Bemessungswert Erdplanum E_H: 30 MN/m² • Bemessung auf Frost: 0,40 m • Bemessung auf Tragfähigkeit: 0,35 m 	<p>Einbau 0,40 m KG 1*</p> <ul style="list-style-type: none"> - Herstellung Regelprofil Schotter - Anschluss PSS an Entwässerungsanlagen (TE)*

*nach Aussage Planung ist der Bau einer TE im Hp. Steinalben vorgesehen

Hinweis: Entsprechend Ril 836.4101 A03 kann die Schutzschicht bei Schutzschichtdicken $> 0,30$ m alternativ zu einer Schutzschicht nur aus KG1 auch aus einer mind. ≥ 20 cm mächtigen Schicht KG1 und einer entsprechend restmächtigen Schicht aus ggf. KG2 oder einem Baustoffgemisch / Boden für Frostschutzschichten (FSS) und Schichten aus frostunempfindlichen Mineralgemischen (SfM) nach TL SoB-StB 07 erstellt werden (siehe Ril 836.4101 Anhang 03). In diesem Fall ist jedoch die Filterstabilität der verwendeten Korngemische nachzuweisen.

3.3.6 Empfehlungen zur Entwässerung

Aktuell ist im Bereich des Hp. Steinalben bahnlinks am Böschungsfuß ein zugewachsener Bahngraben vorhanden. Wir empfehlen die Errichtung geeigneter Entwässerungsanlagen. Basierend auf der aktuellen Planung ist aufgrund der beengten Platzverhältnisse der Bau einer Tiefenentwässerung (TE) geplant. Eine eventuell einzubauende Schutzschicht KG1 ist an diese Entwässerungsanlage anzuschließen.

3.4 Neubau Signale

3.4.1 Allgemeines

Die Auswahl von Gründungsarten für Signalmasten im Geltungsbereich der DB Netz AG hat nach der Gründungsmatrix zur TM 4-2015-10212 I.NPS 3 /U 17/ zu erfolgen. Erfahrungsgemäß werden dabei Rammrohrgründungen und nur in Einzelfällen Betonmonolithe oder Felsgründungen bevorzugt.

Da der in den Aufschlüssen (KRB 18,893, KRB 19,032 und KRB 19,040) erkundete Baugrund (oberflächennah anstehender Verwitterungshorizont des Sandsteins, Schicht 3.1 bzw. 3.2), als schwer bis nicht rammpbar eingestuft wird (siehe Kapitel 2.3.4), raten wir von einer Gründung der Signale auf Rammpfählen ab. Die Schicht 3.2 wurde nicht direkt durch die ausgeführten Aufschlüsse an den geplanten Signalstandorten erkundet, ist allerdings aufgrund des Bohrabbruchs unterhalb der Schicht 3.1 zu erwarten.

Im Folgenden wird eine Gründung mittels Betonmonolith bzw. eine Felsgründung betrachtet.

3.4.2 Gründung auf Betonmonolith

Die erkundeten Bodenschichten (Schichten 1.1a, 2.1b und 3.1) sind nach einer geeigneten Nachverdichtung zum Abtrag der Lasten aus einer Signalgründung mittels Betonmonolith gemäß /U 17/ geeignet. Entsprechend der Einbauanweisung (Nr. 8240.23 t) ist sicherzustellen, dass durch eine Nachverdichtung eine Bodenpressung von $\geq 120 \text{ kN/m}^2$ erreicht wird.

Vor der Verdichtung sind größere Steine und Blöcke aus der Aushubsohle auszuräumen und die entstehenden Fehlstellen durch geeignetes, verdichtungsfähiges Material nach nach ZTV E-StB 09 /U 25/ ersetzt werden. Evtl. auftretende Weichschichten im Gründungsbereich müssen bis ca. 0,5 m unter Gründungssohle ausgeräumt und durch geeignetes verdichtungsfähiges Material nach ZTV E-StB 09 /U 25/ ersetzt werden. Der Bodenaustauschkörper kann z.B. aus einem tragfähigen, gut verdichtbaren Kies-Sand-Gemisch nach Ril 836, z.B. der Bodengruppe GW, GI, SW oder SI, welches bis zu einer Dichte $D_{Pr} \geq 1,0$ zu verdichten ist, oder aus einem Magerbeton hergestellt werden. Das Bodenmaterial ist lagenweise verdichtet einzubauen. Entsprechend der Einbauanweisung (Nr. 8240.23 t) ist auf der Baugrubensohle ein Planum mit einer Mindestdicke von 0,1 m aus erdfeuchtem Beton mind. C 12/15 aufzubringen.

3.4.3 Felsgründung

Für die Gründung von Signalen im Bereich von oberflächennahen (<2,0 m unter Gelände), tragfähigen Festgesteinshorizonten kann alternativ zur Gründung auf einem Betonmonolith auch eine Gründung auf Mikropfählen ausgeführt werden. Als Beispiel kann hier die „Rammrohrgründung System BBL, Erweiterung für Felsgründung“ nach TM: 4-2015-10403 I.NPS 3 (Einbauanweisung S8240.24 der DB Netz AG) herangezogen werden.

Für Bemessung, Herstellung und Prüfung von Mikropfählen sind die in der jeweils aktuellen Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB Stand 01/2016) genannten Normen zu beachten.

Für die Vorbemessung von verpressten Mikropfählen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit oder eine Bemessung der benötigten Krafteintragungslänge nach Einbauanweisung S8240.24 werden in der nachfolgenden Tabelle die erforderlichen Bruchwerte der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ in Anlehnung an die EA-Pfähle /U 20/ und das Grundbautaschenbuch /U 21/ angegeben.

Tabelle 14: Erfahrungswerte Pfahlmantelreibung für verpresste Mikropfähle ($D_s \leq 0,30$ m)

Schichtnummer Baugrundmodell	Bodenart	Bruchwert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [kN/m ²]
3.1	Sandstein, v5-v3 (d-sd)	255
3.2	Sandstein, v3-v1	900
3.3	Tonstein, v5 (st-hf)	95

3.5 Erneuerung Durchlass km 18,748

3.5.1 Allgemeines

Unterlagen über die geplante Art der Gründung liegen uns aktuell nicht vor. Die im Folgenden gemachten Aussagen sind daher allgemein gehalten und im Zuge der fortschreitenden Planung zu überprüfen und anzupassen. Im Folgenden sind mögliche Varianten für eine Erneuerung des Durchlasses dargestellt.

Bei der Planung und dem Bau von Querungen sind die Vorgaben der Ril 836.45xx /U 16/ zu beachten. Gemäß Ril 836.4501 Abschnitt 2 Abs. (8) sind Querungen als überschüttete Bauwerke mit ausreichender Überdeckungshöhe $h_{\bar{u}}$ bzw. Bodenüberdeckung h_B herzustellen. Die Bezeichnungen zur Überdeckung sind in Bild 2 dieses Absatzes definiert.

Rohrdurchlässe mit einem Außendurchmesser von $d_a > 1,0$ m müssen und mit $d_a < 1,0$ m sollen gemäß Ril 836.4502 Abschnitt 2 Abs. (3) eine Mindestüberdeckung von $h_{\bar{u}} = 1,50$ m (Schwellenoberkante der nicht überhöhten Schiene zu Oberkante Querung) aufweisen. Für Rohrdurchlässe mit $d_a < 1,0$ m ist bei biegesteifen Rohren und Einhaltung einer Dicke der Bodenüberdeckung $h_B \geq 1,0 \times d_a$ und $h_B \geq 0,5$ m eine Reduzierung der Überdeckungshöhe möglich.

Rahmenartige Durchlässe sollen gemäß Ril 836.4502 Abschnitt 2 Abs. (5) ebenfalls eine Mindestüberdeckungshöhe von 1,50 m aufweisen. Im Ausnahmefall muss bei geringeren Überdeckungshöhen durch eine ausreichende Verdichtung des Hinterfüllbereiches gewährleistet werden, dass Gleislagestörungen vermieden werden.

Der Durchlass km 18,748 befindet sich entsprechend Modul 836.4101 A04 im Frosteinwirkungsgebiet I. Der Durchlass ist frostsicher mit einer Einbindetiefe von $\geq 0,8$ m (Frosteinwirkungszone I) zu gründen. Die Frostsicherheit ist insbesondere bei der Einleitung von Drainageleitungen zu überprüfen. Gegebenenfalls sind Schächte ebenfalls tiefer zu legen.

Für die Hinterfüllung von Querungen sind die Angaben der Ril 836.4501 Abschnitt 3 Abs. (3) und Ril 836.4502 Abschnitt 2 Abs. (6) zu beachten. Die Gräben sind beim Herstellen von Querungen in offener Bauweise so zu verfüllen, dass keine Beeinträchtigungen der Gleislage entstehen. Die Vorgaben der ZTVE-StB /U 25/ sind zu beachten. Querungen sind nach statischen Anforderungen, mindestens jedoch nach den Anforderungen des Moduls 836.4102 für den Unterbau unter Gleisen zu hinterfüllen und zu überschütten.

Für Querungen von Rohrleitungen sind die Vorgaben der ZTVE-StB09 für den Leitungsbau insbesondere für Rohraufleger und Hinterfüllung bzw. Überschüttung zu beachten. Je nach Art der Querung sind die spartenspezifischen Regeln anzuwenden.

Für das Leitungsaufleger muss die Grabensohle gemäß ZTVE-StB09 eben und frei von Aushubboden sein sowie die für das Leitungsaufleger erforderliche Tragfähigkeit aufweisen. In den zum Teil locker bis mitteldicht gelagerten gemischtkörnigen Böden (Schicht 1.1a, 1.2a, 1.1b, 1.2b) ist eine Nachverdichtung der Grabensohle erforderlich.

3.5.2 Gründungsangaben

Bei dem Durchlass bei km 18,748 handelt es sich gemäß Bauwerksbuch /U 5/ um einen Rohrdurchlass mit einer lichten Weite und lichten Höhe von 0,5 m und einer Überdeckung von mind. 1,0 m. Der Durchlass wurde laut /U 5/ 1910 in Betrieb genommen.

Im Rahmen der in Gleisachse und bahnlinks ausgeführten Aufschlüsse (S 18,748 GA und S 18,748 bl) wurde die Bauwerksoberkante bis zur Erkundungstiefe von 1,2 m u. AP (entspricht ca. 1,4 m bzw. 1,6 m u. SO) nicht angetroffen. Bei einer regelkonformen Herstellung des Durchlasses mit einer Überdeckung von 1,5 m und bei gleichbleibendem Rohrdurchmesser, würde die Sohltiefe des Durchlasses in einer Tiefe von ca. 2,2 m u. SO zu liegen kommen.

Ausgehend von der bahnrechts ausgeführten KRB und DPH an km 18,751 wurden in einer Tiefe von ca. 2,2 m u. SO aufgefüllte, locker gelagerte, gemischtkörnige Böden erkundet. Bei geeigneter Nachverdichtung sind die gemischtkörnigen Böden erfahrungsgemäß für eine Gründung geeignet. Bei der Gründung des Durchlasses sind die Angaben des Kapitels 3.5.1 zu beachten.

3.6 Neubau Modulgebäude

3.6.1 Allgemeines

Aktuell liegen uns keine genauen Pläne und Angaben zur Gründung des Modulgebäudes vor. Entsprechend den zur Verfügung stehenden Unterlagen /U 6/ und des vorliegenden Baugrundes wurden Annahmen diesbezüglich getroffen. Die Gründung des Modulgebäudes kann als Flachgründung auf zwei Streifenfundamenten erfolgen. Alternativ wäre auch ein eine Gründung auf einer Bodenplatte denkbar.

3.6.2 Gründung Modulgebäude

Entsprechend dem Lageplan /U 6/ besitzt das geplante Modulgebäude eine Grundfläche von ca. 7,5 x 3 m. Die Einbindetiefe von $\geq 0,8\text{m}$ (Frosteinwirkungszone I) unter Geländeoberkante muss gewährleistet sein. Ansonsten ist eine Frostschräge anzubringen.

Im Gründungsniveau von ca. 0,8 m u. GOK befindet sich nach den Erkundungsergebnissen (KRB/DPH 19,017, ergänzend KRB 19,032) der Verwitterungshorizont des Sandsteins (Schicht 3.1), welcher in Form von tonigen Sanden der Bodengruppe ST* erkundet wurde. Die Böden sind nicht frostsicher.

Wir empfehlen eine Gründung der Streifenfundamente auf dem anstehenden Verwitterungshorizont der Schicht 3.1. Das Planum ist statisch nachzuverdichten.

Mit dem Programm GGU-FOOTING /U 38/ wurde eine überschlägige, orientierende Grundbruch- und Setzungsberechnung für die Gründung des Modulgebäudes auf zwei Streifenfundamenten durchgeführt, für die die folgenden Annahmen getroffen wurden:

Fundamentlänge:	L = 7,5 m
Fundamentbreite:	B = 0,4 m bis 1,0 m
Einbindetiefe:	t = 0,8 m u. GOK
Baugrundprofil:	KRB/DPH 19,017

Die in Anlage 6 dargestellte überschlägige, orientierende Setzungsberechnung wurde bei Annahme der Sicherheiten nach EC7, Bemessungssituation BS-P am Profil KRB/DPH 19,017 durchgeführt.

Die überschlägige, orientierende Setzungsberechnung zeigt, dass mit den angegebenen Bodenkennwerten und Fundamentabmessungen der maximale Bemessungswert des Sohlwiderstandes bei einer Fundamentbreite von 1,0 m $\sigma_{R,d} = 467 \text{ kN/m}^2$ beträgt.

In der folgenden Tabelle sind die Bemessungswerte des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ bezüglich Grundbruch und charakteristische Lasten $\sigma_{E,k}$ für Setzungen $< 0,5 \text{ cm}$ für verschiedene Fundamentbereiten angegeben. Die orientierende Grundbruch- und Setzungsberechnung findet sich in Anlage 6.

Tabelle 15: Ergebnisse Setzungsberechnung, Modulgebäude

$\sigma_{R,d}$ [kN/m ²]			$\sigma_{E,k}$ [kN/m ²] für 0,5 cm Setzung		
b=0,4	b=0,7	b=1,0	b=0,4	b=0,7	b=1,0
336	402	467	(Grundbruchkriterium nicht eingehalten)	185	147

b: Breite des Streifenfundamentes

Sollte die Gründungssohle der des Modulgebäudes oberhalb der frostfreien Gründungstiefe von 0,8 m u. GOK zu liegen kommen, ist zwischen Gründungssohle und der frostfreien Gründungstiefe (0,8 m u. GOK) ein Bodenaustausch aus frostsicherem und verdichtungsfähigem Bodenmaterial nach Ril 836, z.B. der Bodengruppe GW, GI, SW oder SI, oder aus einem Magerbeton einzubauen. Die Stärke des Bodenaustausches ist entsprechend zu bemessen. Wir empfehlen generell, unter sämtlichen Fundamenten eine Sauberkeitsschicht von > 0,1 m Beton der Güte C12/15 aufzubringen. Unterhalb der Bodenplatte (nicht tragend) sollte eine ca. 10 cm starke kapillarbrechende Schicht eingebaut werden.

Sobald die geplanten Fundamenteinbindetiefen bzw. Fundamentbreiten sowie die erwarteten Lasten vorliegen, sind die oben gemachten Aussagen zu überprüfen bzw. zu verifizieren.

3.7 Neubau Stützwand

Im Rahmen der geplanten Trassierungsänderung und dem geplanten Neubau eines zweiten Bahnhofsgleises für den Ausbau des Haltepunktes Steinalben zum Kreuzungsbahnhof ist aufgrund beengter Platzverhältnisse ein Eingriff in die bahnlinke Böschung notwendig. Ausgehend von den uns übermittelten Planungsunterlagen /U 7/ betrifft dies insbesondere den Abschnitt von ca. km 18,750 bis ca. km 18,900. Um ein ausreichendes Lichtraumprofil für das geplante zweite Bahnhofsgleis zu erreichen, ist der Bau einer Stützwand zur Aufweitung des Anschnittes vorgesehen. Aktuelle Unterlagen zur genauen Lage und den Maßen der geplanten Stützwand liegen uns nicht vor.

Ausgehend vom erkundeten Baugrund kann die Stützwand bspw. als Schwergewichtsmauer oder als geneigte Gabionenwand flach gegründet werden. Alternativ ist eine tiefgegründete Bohrpfehlwand möglich. Von einer rammenden Gründung der Stützwand raten wir aufgrund des erkundeten, schwer bis nicht rammbaren Untergrundes (siehe Kapitel 2.3.4) ab.

Aufgrund der Morphologie der bestehenden Böschung (siehe Tabelle 17) und des Verwitterungsgrades (v5-v4) des oberflächlich anstehenden Sandsteins (Schicht 3.1) empfehlen wir, die Böschung beim Einbringen der Bohrpfähle zu sichern (Hangsicherung mit Netz oder Alternative). Wir empfehlen zudem die Stützwand mit einem zusätzlichen Freibord zur Aufnahme von

Nachfall auszubilden, welcher nach Bedarf zu beräumen ist. Um die Erosion des Sandes im Böschungsbereich zu minimieren, empfehlen wir eine Erosionsschutzbepflanzung mit Bodendeckern.

3.7.1 Flachgründung Stützmauer

Eine Flachgründung der Stützmauer (bspw. als Schwergewichtsmauer bzw. Gabione) ist auf dem anstehenden Verwitterungshorizont des Sandsteins (Schichten 3.1, 3.2) grundsätzlich möglich.

Der Haltepunkte Steinalben befindet sich in der Frosteinwirkungszone I. Zur Gewährleistung einer frostfreien Gründungstiefe ist die Flachgründung in einer Tiefe von mind. 0,8 m unter Geländeoberkante (u. GOK) auszuführen. Zum Abtrag der Lasten aus dem Bauwerk sind nach unseren Erkundungen (Böschungsschürfe in Anlage 3) im Untersuchungsbereich der Verwitterungshorizont des Sandsteins (Schichten 3.1, 3.2) geeignet. Angaben zum benötigten Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes $\sigma_{R,d}$ liegen für das Bauwerk nicht vor. Wir empfehlen generell, unter sämtlichen Fundamenten eine Sauberkeitsschicht von > 0,1 m Beton der Güte C12/15 aufzubringen.

Der Bemessungswasserstand liegt unterhalb der vermutlichen Gründungstiefe. Zur Ausbildung von Baugruben für eine Flachgründung sind Verbaumaßnahmen erforderlich.

Zudem weisen wir darauf hin, dass zur Erstellung der Stützmauer als Schwergewichtsmauer bzw. Gabione die anstehende Böschung teilweise abzutragen ist. In den ausgeführten Böschungsschürfen (Bö-S 1 bis 11) wurden unterhalb des ca. 0,2 m bis 0,45 m mächtigen Mutterbodens Hangablagerungen der Bodengruppen (SU, SI, SE, SW, ST, GI, GW, GU) mit Mächtigkeiten von ca. 0,3 m bis 1,6 m sowie Sandstein mit unterschiedlichen Verwitterungsstufen (v5-v1) angetroffen. Beim erkundeten Sandstein der Verwitterungsstufen v5-v3 (Schicht 3.1) ist davon auszugehen, dass dieser mittels Baggerschaufel abgetragen werden kann, beim erkundeten Sandstein der Verwitterungsstufen v3-v2 (Schicht 3.2) sind Meißelarbeiten einzuplanen.

3.7.2 Hinterfüllung der Stützwand

Die Hinterfüllung der Stützwand hat nach Ril Modul 836.4106 /U 16/ zu erfolgen. Demnach können die Hinterfüllmaterialien aus wasserdurchlässigen, grobkörnigen, weit- oder intermittierend gestuften Kiessanden (GW, GI, SW, SI nach DIN 18196) bestehen und mit einem Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 1,0$ eingebaut werden. Um diesen Verdichtungsgrad zu erreichen, sollen diese im erdfeuchten Zustand in Lagen von $d \leq 0,3$ m eingebaut werden. Die Verdichtung ist im Zuge der Bauausführung kontinuierlich nachzuweisen. Das einzubauende Material ist auf seine Eignung hin im Vorfeld der Baumaßnahme zu prüfen.

3.7.3 Tiefgründung Stützwand mittels Bohrpfählen

Der Vorteil einer tiefgegründeten Bohrpfahlwand besteht darin, dass Steine, Blöcke und das anstehende Festgestein durchörtert werden und kein zusätzlicher Verbau erforderlich ist. Durch die geringere dynamische Einwirkung auf den Untergrund im Vergleich zum einem Rammenden Verfahren sind zwar Verdichtungssetzungen nicht auszuschließen, sie werden im Allgemeinen aber deutlich minimiert. Bohrpfähle können außerdem in Bereichen ausgeführt werden, in denen ein Rammen der Gründungselemente sehr schwer bzw. nicht möglich ist. Als Nachteil dieser Gründungsvariante kann hier der Anfall von eventuell kontaminiertem Aushubmaterial genannt werden. Entsprechen der orientierenden abfalltechnischen Untersuchungen ist dies a bei dem anstehenden Sandstein (siehe auch orientierende Analytik in Kapitel 4) nicht zu erwarten.

Die Einbindung von Bohrpfählen muss nach EA-Pfähle /U 20/ mindestens 2,5 m in den zersetzten bis stark verwitterten Fels erfolgen, wenn die einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k} \leq 0,5 \text{ MN/m}^2$ ist. Diese Anforderungen werden vom anstehenden zersetzten bis stark verwitterten Sandstein der Schicht 3.1 erfüllt. Die Einbindung der Bohrpfähle in den Fels kann auf 0,5 m reduziert werden, wenn eine einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k} \geq 5 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden kann. Diese Anforderungen werden vom anstehenden stark bis schwach verwitterten Sandstein der Schicht 3.2 erfüllt.

Für die Ermittlung der zulässigen Belastung der Bohrpfähle kann die EA-Pfähle /U 20/ herangezogen werden. In der nachfolgenden Tabelle werden die zur Vorbemessung erforderlichen Bohrpfahlkennwerte für die gründungsrelevanten Schichten in Anlehnung an die EA-Pfähle angegeben. Diese basieren auf den Ergebnissen der ausgeführten Rammsondierungen DPH (Schlagzahlen N_{10}), welche mit dem mittleren Spitzenwiderstand q_c einer Drucksonde (CPT) korreliert wurden, da die in der EA-Pfähle vergebenen Erfahrungswerte für Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung auf diesem Kennwert basiert. Eine Korrelation zwischen den Schlagzahlen N_{10} der DPH sowie dem Spitzenwiderstand q_c gibt beispielsweise die DIN 4094-3:2002-01, Anhang E. Außerdem wurden die an den Sandsteinproben durchgeführten Laborversuche bezüglich der Druckfestigkeiten herangezogen.

Die angegebenen Werte gelten für Bohrpfähle ($D=0,30 \text{ m}$ bis $3,00 \text{ m}$).

Tabelle 16: Charakteristischer Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung für Bohrpfähle

Schicht	Bodenart	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Spitendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]
3.1	Sandstein, v5-v3 (d-sd)	0,130	--
3.2	Sandstein, v3-v1	0,200	4,0

Schicht	Bodenart	Mantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²]	Spitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²]
3.3	Tonstein, v5 (steif-halbfest)	0,030	--

Für die Anwendung der Werte der o. g. Tabelle wird vorausgesetzt, dass die Mächtigkeit der tragfähigen Schicht (in Lockergesteinen) unterhalb der Pfahlfußfläche nicht weniger als drei Pfahldurchmesser, mindestens aber 1,50 m beträgt. Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle und Bohrpfahlwände unter Beachtung der Hinweise und Forderungen der EA-Pfähle. Nach EA-Pfähle gilt: „Sofern die Wände freigelegt werden und damit Erddruckkräfte wirksam sind, die einen Differenzdruck, z. B. aus einer aktiven Erddruckbelastung hinter der Wand und einer passiven Erddruckbelastung vor der Wand hervorrufen, darf nur an den Wandflächen Pfahlmantelreibung angesetzt werden, bei denen ein Erddruckneigungswinkel ≤ 0 vorhanden ist.“

Für die Bemessung, Ausführung und Prüfung von Bohrpfählen ist nach aktueller ELTB (01/2016) die DIN EN 1536:12/2010 inkl. DIN SPEC 18140:02/2012 zu beachten.

3.7.4 Hinweis zur Anschnittsböschung

Nach aktuellem Planungsstand wird der Neubau einer Stützwand im bahnlinken Anschnittsbereich betrachtet. Ausgehend von den aktuellen Vermessungsquerprofilen (VQP) /U 4/ wurden die in der folgenden Tabelle dargestellten bestehenden Böschungsneigungen im Bereich von ca. km 18,750 bis ca. km 18,900 bestimmt.

Tabelle 17: Übersicht: Morphologie und bestehende Böschungsneigungen

Bereich km	Länge [m]	Erdbau- werkstyp	VQP Station km	Gesamthöhe [m] / Böschungsneigung		Bodenmaterial	
				links		Auffüllung	Anstehend
18,750 - 18,900	150	Anschnitt	km 18,755;	5,25 / 1:1,53	Mutterboden	Sandstein, v5-v2	
			km 18,774;	5,61 / 1:1,19			
			km 18,800;	5,84 / 1:1,26			
			km 18,822;	5,94 / 1:1,34			
			km 18,847;	5,71 / 1:1,51			
			km 18,875;	5,66 / 1:1,45			
			km 18,900	7,35 / 1:1,52			

Im Rahmen der ausgeführten Böschungsschürfe wurde im Böschungsbereich unterhalb einer Schicht aus Mutterboden (Schicht 0.3) zersetzter (v5) bis mäßig verwitterter (v2) Sandstein erkundet. Entsprechend Ril 836 Modul 4102 A02 sollten bestehende Felsböschungen beräumt werden. Im Zuge der Felsberäumungen können in der Regel nur oberflächennah verwitterte Felsbereiche und kleinere zum Absturz neigende Felsblöcke beseitigt werden. Häufig ist es eine Frage der Wirtschaftlichkeit, ob regelmäßiges Beräumen durch weitergehende bautechni-

sche Maßnahmen ersetzt werden sollte. Es ist zu berücksichtigen, dass insbesondere der zersetzte bis stark verwitterte Sandstein stark veränderlich ist und die Verwitterung ständig fortschreitet. Der in Modul 836.4102 A02 (2) angegebene Zeitraum zwischen Beräumungen von ca. 3 bis 5 Jahren ist einzuhalten.

Aufgrund der noch unklaren Lage der geplanten Stützwand und aufgrund der angetroffenen örtlichen Verhältnisse empfehlen wir sicherheitshalber eine Hangsicherung mit Netz oberhalb der neu geplanten Stützmauer, um kleinere Blöcke zurückzuhalten. Hier ist eine Hangsicherung durch Schutznetzverhängung entsprechend Modul 836.4102 A02 (14) möglich. Für Bemessung, Herstellung und Prüfung von Bodennägeln, Verpressanker und Mikropfähle sind gemäß der Eisenbahnspezifischen Liste Technischer Baubestimmungen (ELTB Stand 04/2015) die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Normen zu beachten.

Tabelle 18: Normative Regelungen für Nägel, Verpressanker und Mikropfähle gemäß ELTB (Stand 04/2015)

	Nägel	Verpressanker	Mikropfähle
Bemessung + Anzahl der Prüfungen und Höhe der Prüfkraft	DIN EN 1997-1:2009-09 DIN EN 1997-1/NA:2012-12 DIN 1054:2010-12 DIN 1054/A1:2012-08 „Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“		
Herstellung	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Nagelsystems DIN EN 14490 (bauaufsichtl. nicht eingeführt): „Ausführen von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Bodenvernagelung“ 	<ul style="list-style-type: none"> DIN EN 1537:2001-01 DIN SPEC 18537:2012-02 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Verpressanker	<ul style="list-style-type: none"> DIN EN 14199:2012-01 DIN SPEC 18539:2012-02 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Pfähle mit kleinem Durchmesser (Mikropfähle)
Prüfung (Durchführung und Bewertung) Einschließlich Zahl der Prüfungen und Höhe der Prüfkraft	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Nagelsystems DIN EN 14490 (bauaufsichtl. nicht eingeführt): „Ausführen von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Bodenvernagelung“ 	<ul style="list-style-type: none"> DIN EN 1537:2001-01 DIN SPEC 18537:2012-02 Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Verpressanker	<ul style="list-style-type: none"> Normenhandbuch EC 7 + DIN 1054/A1:2012-08 mit Verweis auf EA-Pfähle

Für die Vorbemessung auf basierend auf Erfahrungswerten der Pfahlmantelreibung von verpressten Mikropfählen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit können die in der Tabelle 14 angegeben die erforderlichen Kennwerte herangezogen werden.

Die Verpresskörper sollten mindestens 4 m unter der Geländeoberfläche liegen und vollständig in eine Baugrundsicht (Schicht 3.1 bzw. 3.2) einbinden. Ausgehend vom im Böschungsbe- reich gemessenen Einfallswinkel der Schichten von 0° bis 15° nach Südwest empfehlen wir,

eine Neigung der Verpresskörper bzw. Felsnägel gegenüber der Horizontalen von ca. 20° bis 35°. Zusätzlich sind die Klufflächen (Kluftwinkel und Kluftrichtungen) im Bereich möglicher Ankerlagen zu beachten.

Oberflächennah ist der Sandstein (v5) zu Sand zersetzt. Eine Erosion des Sandes im Böschungsbereich kann durch eine geeignete Bepflanzung minimiert werden. Wir empfehlen eine Erosionsschutzbepflanzung mit Bodendeckern. Erfolgt keine Erosionsschutzbepflanzung ist davon auszugehen, dass aufgrund der Verwitterungsanfälligkeit des Sandsteins dieser im Böschungsbereich weiter erodiert. Diese Erosion ist durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden.

3.7.5 Entwässerung der Stützwand

Unterhalb des Mutterbodens (Mu) wurden gemischtkörnige Böden der Bodengruppen ST, SE/ST und SE erkundet, welche vom anstehenden zersetzten bis stark verwitterten Sandstein (Sst) unterlagert werden.

Das Bodenmaterial im Bereich hinter der Stützwandhinterfüllung besteht aus zersetztem bis mäßig verwittertem Sandstein mit überwiegend mittleren Durchlässigkeiten (stark bis schwach durchlässig). Im Rahmen der Erkundungen wurde dieser als schwach feucht angesprochen, Schichtwasserhorizonte wurden nicht erkundet. Der angetroffene, zersetzte bis mäßig verwitterte Sandstein kann bei Wasserzutritt aufweichen. Damit sich kein Wasserdruck auf die Stützwand durch anfallendes Oberflächenwasser / Schichtwasser im Bereich des Anschnittes bildet, empfehlen wir eine Entwässerung der Stützwand einzuplanen.

Falls eine Schwergewichtsmauer geplant wird, muss die Entwässerung nach Modul 836.4302 (4) gemäß den Vorgaben der ZTVE /U 25/ erfolgen. Bei einer Flachgründung der Stützwand muss der Entwässerungsbereich der Hinterfüllung der Stützwand filterstabil gegen den angrenzenden Boden ausgebildet werden. Es ist hierzu nach ZTVE ein filterstabiler Baustoff im Entwässerungsbereich selbst oder eine an der Grenze gesondert eingebaute Filterschicht aus entsprechendem Korngemisch oder geotextilem Baustoff vorzusehen.

Wir empfehlen im Hinblick auf die Gewährleistung einer möglichst geringen Durchfeuchtung der Böden, eine Entwässerung am Fuß der Stützwandkonstruktion einzubauen. Hier kann bspw. mittels Drainagerohren (Teilsickerrohr) entwässert werden, welche vor Verstopfung durch Feinmaterial zu schützen sind. Die Drainagerohre sind mit auf die Schlitzweite abgestimmten Filterkies zu überschütten und an die vorhandenen oder geplanten Entwässerungsanlagen (Tiefenentwässerung) anzuschließen. Alternativ ist ein, über die ganze Mauerhöhe reichender, Flächendrän mit Anschluss an die geplante Tiefenentwässerung bzw. den Vorfluter möglich.

Beim Herstellen einer Bohrpfahlwand sollte ca. alle 20 m bis 50 m ein Entwässerungsrohr DN 50 vorgesehen werden (Auslauf oberhalb Niveau SO), um einen Aufstau des Schichtwassers zu verhindern. Das Wasser kann der geplanten Tiefendrainage zugeführt werden. Die ge-

plante Tiefenentwässerung sollte zur Aufnahme dieses zusätzlichen Wassers ausreichend dimensioniert werden.

3.8 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Ausgehend von den Erkundungsergebnissen können nach DIN 4124 für unbelastete Böschungen bis 5,0 m Höhe ohne besonderen Nachweis folgende Böschungswinkel über dem Grundwasser entsprechend DIN 4124 in Ansatz gebracht werden:

- nichtbindige oder weiche bindige Böden $\beta \leq 45^\circ$
- mind. steife bindige Böden $\beta \leq 60^\circ$
- Fels $\beta \leq 80^\circ$

Für belastete und / oder höhere Böschungen ist die Standsicherheit nachzuweisen. Die Hinweise der DIN 4124 sind zu beachten. Die Böschungswinkel sind nach den tatsächlich anstehenden Erdstoffen im Böschungsbereich anzulegen. Der oberflächlich angetroffene Sandstein weist die Verwitterungsstufen v5-v3 auf. Eine Böschungsneigung von $\beta \leq 80^\circ$ darf nur temporär (kurzzeitig < 1 Woche) erstellt werden. Wir empfehlen eine abschnittsweise Herstellung der Böschung bzw. Stützwand. Offenliegende Böschungen in bindigen bzw. wasserempfindlichen Böden sollten bauzeitlich gegen Niederschläge mittels Planen gesichert werden.

Zur Flachgründung der jeweiligen Fundamente ist ein Bodenaushub notwendig. Nach aktuellem Planungsstand (Entwurfsplanung liegt noch nicht vor) gehen wir davon aus, dass die Baugruben überwiegend abgeböschert werden können. Zur temporären Sicherung der Baugrube vor möglichen Teilausbrüchen von losen Bestandteilen zum Hang hin empfehlen wir, eine Verkleidung der Baugrube bzw. Böschung mit Spritzbeton (ggf. Kombination mit konstruktiver Bewehrung). Sollte aus Platzgründen keine Böschung der Baugruben möglich sein, ist als Verbau ein Trägerbohlverbau (Vorbohren ist zu berücksichtigen) möglich. Von einem Spundwandverbau raten wir aufgrund der schlechten Rammbarkeit des Sandsteins ab.

Für den Fall, dass ein Trägerbohlverbau vorgesehen ist, weisen wir daraufhin, dass dieser im Stützbereich von Gleisen nach Abschluss der Baumaßnahme rückzubauen ist, da die Eignung von Trägerbohlwänden für Dauerzwecke im Stützbereich von Gleisen nach Modul 836.2001 der aktuellen Ril 836 /U 16/ der UiG (Unternehmensinterne Genehmigung) und ZiE (Zustimmung im Einzelfall) bedarf. Für den Verbau sind die Hinweise der DIN 4124 sowie des Arbeitskreises „Baugruben“ (EAB) /U 19/ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. zu beachten. Darüber hinaus sind im gleisnahen Bereich die Vorgaben der Module 4302 und 4305 der Ril 836 zu beachten. Weiterhin gelten die Hinweise zur Einbringbarkeit von Bauteilen in den Baugrund aus Kapitel 2.3.4. Die zur Bemessung des Verbaus und einer möglichen Rückverankerung benötigten Angaben finden sich in den Kapiteln 3.8.1 und 3.4.3.

Wasserhaltungsmaßnahmen

Im Zuge der ausgeführten Baugrunderkundungen wurde kein Grundwasser erkundet. Im Rahmen der KRB 19,100 wurde einmalig in einer Tiefe von ca. 0,5 m Schichtwasser angetroffen. Als Bemessungswasserstand wird die Endteufe der BK 2, bis zu der kein Wasser angetroffen wurde, in einer Höhe von 263,4 m NN (DB REF) empfohlen. Die vorhandenen Aufschlüsse zeigen, dass im Untersuchungsgebiet im gründungsrelevanten Bereich nicht mit dem Andrang von Grundwasser zu rechnen ist. Generell ist allerdings davon auszugehen, dass sich auf den gemischtkörnigen Böden insbesondere in niederschlagsreichen Perioden Schichtwasser bilden kann. Wir empfehlen Schmutzwasserpumpen für anfallendes Schicht- und Oberflächenwasser vorzuhalten.

Wasserhaltung Durchlass km 18,748:

Ausgehend von einem bauzeitlichen Bemessungswasserstand in eine Höhe von 272,5 mNN (DB REF), empfehlen wir, die Baumaßnahme im Zeitraum von niederschlagsarmen Perioden auszuführen. Wir empfehlen ausreichend dimensionierte Schmutzwasserpumpen für anfallendes Schicht- und Hangwasser sowie eine Umleitung des anfallenden Hang- bzw. Schichtwassers.

3.8.1 Bemessung der Rammträger

Wie in Kapitel 3.8 dargestellt, ist eine Baugrubensicherung mittels Trägerbohlverbau mit Ausfachung aus Holz, Stahl oder Beton oberhalb des Bemessungswasserstandes möglich.

Die Hinweise zur Rammfähigkeit der einzelnen Schichten können dem Kapitel 2.3.4 entnommen werden. In der Baugrundsicht 3.2 ist ein Vorbohren notwendig. Alternativ zum Einbetonieren ist auch das Verfüllen der gebohrten Löcher mit Sand, der beim Einrammen der Pfähle verdichtet wird, möglich. Zur Bemessung eventueller Rammträger können die Rechenwerte nach EA-Pfähle /U 20/ für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton herangezogen werden.

Das Einbringen der Rammträger sollte erschütterungsarm erfolgen, um Schäden an der Gleisanlage sowie an bereichsweise vorhandenen Nachbarbebauungen zu vermeiden. Durch die Ramarbeiten ist mit Verdichtungssetzungen zu rechnen. Beim Rütteln oder Einvibrieren der Rammträger sind zusätzlich Geräte zur Hindernisbergung bzw. Beseitigung vorzuhalten.

Nach EA-Pfähle gilt: *„Bei auf oder in Fels geramten, vollverdrängenden Fertigrammpfählen werden häufig Grenzwiderstände nachgewiesen, die in der Größenordnung der „inneren“ Tragfähigkeit (Materialwiderstand) der Pfähle liegen können, die dann den Pfahlwiderstand bestimmen. Eine Mindesteinbindetiefe wie bei Pfählen im Lockergestein ist nicht gefordert.“*

Gemäß EA-Pfähle gelten rollige Böden mit einem Spitzenwiderstand der Drucksonde $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$ und bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undränierten Bodens

$c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$ als ausreichend tragfähig und somit relevant für den Ansatz eines Pfahlspitzenwiderstandes.

In der nachfolgenden Tabelle werden die zur Vorbemessung erforderlichen Pfahlkennwerte für Rammpfähle in Anlehnung an die EA-Pfähle angegeben. Wir weisen darauf hin, dass die Kennwerte je nach gewählten Vorbohrverfahren anzupassen sind. Für den Fall, dass ggf. der Einsatz von anderen Rammpfahlarten geplant ist, sind in der Tabelle 20 die jeweiligen Modellfaktoren nach EA-Pfähle angegeben. Grundsätzlich liefert nach DIN EN 1997-1 bzw. DIN 1054 eine Probelastung sicherere Ergebnisse als eine Dimensionierung auf der Basis von Erfahrungswerten und wird deshalb von uns empfohlen.

Tabelle 19: Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung für Fertigrammpfähle aus Stahlbeton und Spannbeton nach EA-Pfähle

Schichtnummer Baugrundmodell	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [MN/m ²] bei einer Setzung von s/D		Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ [MN/m ²] bei einer Pfahlkopfsetzung s/D _{eq} von	
	0,035	0,100	S_{sg} ¹⁾	$S_g = 0,1 \cdot D_{eq}$
3.1	--	--	0,065 ²⁾	0,095 ²⁾
3.2	4,5 ²⁾	8,750 ²⁾	0,085 ²⁾	0,125 ²⁾
3.3	--	--	0,035 ²⁾	0,040 ²⁾

¹⁾ S_{sg} = Setzung bei der die Mobilisierung der Bruchmantelreibung beginnt

²⁾ je nach Bohrverfahren (Vorbohren) anzupassen

Tabelle 20: Modellfaktoren für Pfahlspitzendruck und Pfahlmantelreibung von Fertigrammpfählen nach Tab. 5.5 der EA-Pfähle

Pfahltyp		η_b	η_s
Stahlbeton und Spannbeton		1,00	1,00
Stahlträgerprofil ($h \leq 0,50 \text{ m}$ 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 ($0,30 \text{ m} \leq D_b \leq 1,60 \text{ m}$)		$0,95 \times e^{-1,2 \times D_b}$	$1,1 \times e^{-0,63 \times D_b}$
geschlossenes Stahlrohr ($D_b \leq 0,80 \text{ m}$)		0,80	0,60

h = Höhe des Stahlträgerprofils, b_F = Flanschbreite des Stahlträgerprofils, D_b = Pfahlfußdurchmesser, D_{eq} = äquivalenter Pfahlersatzdurchmesser

Des Weiteren gelten die Angaben für Einzelpfähle unter Beachtung der Hinweise und Anforderungen der EA-Pfähle. Für die Bemessung, Ausführung und Prüfung von Verdrängungspfählen ist nach aktueller ELTB (01/2016) noch die DIN EN 12699:05/2001 inkl. DIN SPEC 18538:02/2012 zu beachten.

3.9 Abdichtung und Drainage Bauwerk

Die in diesem Geotechnischen Bericht betrachteten Gründungstiefen der geplanten Bauwerke liegen oberhalb des Bemessungswasserstandes (263,4 m NN DB REF). Die anstehende Böden weisen einen k_f -Wert von überwiegend $< 10^{-4} \text{ m/s}$ auf. Die Abdichtung kann bei dem Einbau

einer Drainage nach DIN 18195-4 (Abdichtung gegen Bodenfeuchte und nichtstauendes Sickerwasser) erfolgen. Ferner sind die Angaben der Ril 804.6101 bezüglich Abdichtung zu berücksichtigen.

Durchlass km 18,748:

Die in diesem Geotechnischen Bericht betrachtete Gründungstiefe des Durchlasses liegt unterhalb des Bemessungswasserstandes (272,5 mNN DB REF). Es ist eine Abdichtung nach DIN 18195-6 (Abdichtung gegen von außen drückendes Wasser und aufstauendes Sickerwasser) vorzusehen. Ferner sind die Angaben der Ril 804.6101 bezüglich Abdichtung zu berücksichtigen.

3.10 Einfluss der Baumaßnahmen auf angrenzende Bebauungen / Gleisanlagen

Im Zuge der Baumaßnahme, insbesondere bei Rammarbeiten, ist darauf zu achten, dass in den unterschiedlichen Bauabschnitten keine Setzungen in den Böden mit lockerer Lagerung entstehen. Die Rammtechnologie ist so zu wählen, dass möglichst geringe Erschütterungen wirken, wobei jedoch eine rammende Arbeitsweise der rüttelnden oder vibrierenden Arbeitsweise vorzuziehen ist.

Eine kontinuierliche Beobachtung und Überwachung der Gleisanlagen und der angrenzenden Bebauung ist während der Arbeiten erforderlich.

3.11 Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen in bodenmechanischer Hinsicht

Die im Zuge der Baumaßnahme auszuhebenden Erdmassen stellen überwiegend die rolligen, Auffüllungen (Schichten 1.1, 1.2) und die anstehenden Böden (Schichten 2.1, 3.1 und 3.2) sowie ggf. das vermutlich undifferenzierbare Bohrgut der Bohrpfähle aus o.g. Schichten und ggf. Bauschutt dar.

Sie können nach ZTVE-StB09 unter Aushaltung von Schotter- oder Bauschuttbeimengungen z.B. für die bautechnische Wiederverwendung in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Materialeigenschaften, Wasserdurchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostempfindlichkeit o.ä. (z.B. Geländeauffüllungen) Verwendung finden. Generell sind Fremdbestandteile vor einer Wiederverwendung der Böden auszusondern. Der Sandstein ist zu brechen.

Die v. g. Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die bautechnische Wiederverwendbarkeit von Aushubböden. Vor einer Wiederverwendung sind die Ergebnisse von abfalltechnischen Untersuchungen unbedingt zu berücksichtigen.

3.12 Bautechnische Hinweise

- Eine erforderliche frostfreie Gründungstiefe (Flachgründung) ist mit mind. $t \geq 0,8$ m u. GOK zu gewährleisten (Frosteinwirkungszone I entsprechend Ril 836).
- Die im Untersuchungsbereich erkundeten feinkornreichen und bindigen Böden sowie der zersetzte bis stark verwitterte Sand- und Tonstein sind wasserempfindlich. Sie weichen bei Wasserzutritt oder Stören durch Befahren (Porenwasserüberdrücke) auf und verlieren ihre Festigkeit. Ein Offenstehen bindiger Erdplanien ist zu vermeiden.
- Vor Beginn der Arbeiten muss der Mutterboden (Mu) abgeschoben werden. Entsprechend § 4 des BBodSchG (Bundesbodenschutzgesetz) ist bei Planung und Ausführung von Baumaßnahmen auf einen sparsamen und schonenden Umgang mit Boden zu achten. Dies gilt insbesondere für die Sicherung des Oberbodens sowie die Wiederverwertbarkeit des Aushubmaterials. In diesem Zusammenhang können von den zuständigen Behörden diesbezüglich Auflagen erteilt werden.
- Evtl. Verdichtungsarbeiten sind so durchzuführen, dass die unterlagernden Böden nicht in ihrer Tragfähigkeit herabgesetzt werden.
- Die Gleislage sollten im Rahmen eines Beweissicherungsverfahrens aufgenommen und bei Betrieb während der Arbeiten messtechnisch überwacht werden.
- Sollten Verankerungen vorgesehen sein, ist eine Eignungs- und Abnahmeprüfung der Verankerungen auf der Baustelle entsprechend der zum Zeitpunkt der Abnahme in der gültigen ELTB eingetragenen Normen durchzuführen.
- Aufgrund der aktuell noch unklaren Lage der geplanten Stützwand, der Morphologie der Bestandsböschung sowie des erkundeten Verwitterungsgrades des oberflächlich anstehenden Sandsteins empfehlen wir sicherheitshalber, die Böschung beim Einbringen der Bohrpfähle zu sichern (Hangsicherung mit Netz oder Alternative).
- Nach /U 27/ wird zudem darauf hingewiesen, dass der Fels im Bereich von Talflanken von weit geöffneten Spalten durchzogen sein kann.
- Nach /U 27/ ist in den Hangablagerungen ist mit dem Vorhandensein von Felsblöcken in der Größenordnung von 1 m^3 zu rechnen.

4 Abfalltechnische Untersuchungen

4.1 Untersuchungsumfang

Die Probenahme für eine orientierende chemische Analytik des Bodens, Schotters und Asphalts erfolgte im Rahmen der ausgeführten Baugrunderkundungen /U 9/ /U 10/.

Aus dem Bohrgut der ausgeführten Kleinrammbohrungen (KRB) und der ausgeführten Kernbohrungen (BK) wurden für Planungszwecke zwei Mischproben „MP 2 (Auffüllungen)“ und „MP 3 (Anstehendes)“ aus den entsprechenden Schichten erstellt. Die Mischproben MP 2, MP 3 wurden auf die Parameter nach LAGA 2004 Tab. II 1.2-2 bis 1.2-5 /U 30/ chemisch analysiert.

Zudem wurden acht Schotterproben im Gleis 1 entsprechend der Altschotterrichtlinie Ril 880.4010 /U 31/ und der TM 2012-049 I.NVT 4 /U 32/ (Feinanteile < 31,5 mm) im Zuge der ausgeführten Schottereschürfe entnommen und für Planungszwecke eine Schottermischprobe MP 1 (Gleisschotter) erstellt. Die Schottermischprobe wurde auf die Parameter nach LAGA 2004 Tab. II 1.2-2 bis 1.2-5 /U 30/ und Herbizide (Herbizidpaket Rheinland-Pfalz) chemisch untersucht.

Aus dem Asphaltbelag der bestehenden Oberflächenbefestigung im Bereich des Hausbahnsteigs wurden Abspitzproben entnommen und zu einer Mischprobe (MP 4 (Asphalt)) zusammengeführt. Diese Mischprobe wurde auf die Summenparameter PAK und den Phenolindex nach RuVA /U 35/ untersucht.

Die chemischen Untersuchungen wurden durch das Labor der DB Engineering & Consulting GmbH, Umweltservice, Brandenburg-Kirchmöser durchgeführt. Die Prüfberichte finden sich in Anlage 8. Die Mischproben Boden, Schotter und Asphalt setzen sich wie in der folgenden Tabelle dargestellt zusammen.

Tabelle 21: Übersicht Mischproben

Bezeichnung	Material	Analyse nach	Aufschluss	Entnahmetiefe u. AP [m]
MP 1 (Gleisschotter)	Feinanteil <31,5 mm Altschotter	LAGA /U 30/ + Herbizide	S 18,660	0,0 - 0,45
			S 18,700	0,0 - 0,60
			S 18,780	0,0 - 0,60
			S 18,850	0,0 - 0,55
			S 19,100	0,0 - 0,50
			S 19,170	0,0 - 0,45
			S 19,200	0,0 - 0,60
			S 19,212	0,0 - 0,42
MP 2 (Auffüllungen)	Boden	LAGA /U 30/	S 19,100	0,1 - 0,55
			S 19,150	0,1 - 0,60
			KRB 18,912	0,0 - 0,45
			KRB 18,965	0,0 - 0,45
			KRB 18,660	0,45 - 1,60
			KRB 18,700	0,60 - 2,50
			KRB 18,780	0,60 - 0,80
			KRB 19,200	0,60 - 3,0
KRB 18,815	0,0 - 0,70			

Bezeichnung	Material	Analyse nach	Aufschluss	Entnahmetiefe u. AP [m]
			KRB 18,860	0,0 - 0,80
			KRB 18,950	0,0 - 0,60
			KRB 19,000	0,0 - 0,30
			KRB 19,070	0,0 - 0,45
			KRB 19,120	0,0 - 0,50
			KRB 18,893	0,0 - 1,00
			KRB 19,032	0,0 - 0,70
			KRB 19,040	0,0 - 0,30
			KRB 19,017	0,0 - 0,65
			KRB 18,748 bl	0,0 - 1,20
			KRB 18,751	0,0 - 4,50
MP 3 (Anstehendes)	Boden	LAGA /U 30/	KRB 19,100	0,55 - 1,20
			KRB 19,150	0,60 - 1,20
			KRB 18,912	0,45 - 1,00
			KRB 18,965	0,45 - 1,45
			KRB 18,660	1,60 - 1,95
			KRB 18,700	2,50 - 3,00
			KRB 18,780	0,80 - 3,00
			KRB 18,850	0,55 - 2,50
			KRB 19,100	0,50 - 1,50
			KRB 19,170	0,45 - 1,20
			KRB 18,815	0,70 - 2,20
			KRB 18,860	0,80 - 1,25
			KRB 18,950	0,60 - 1,05
			KRB 19,000	0,30 - 0,95
			KRB 19,070	0,45 - 0,90
			KRB 19,120	0,50 - 2,10
			KRB 18,893	1,00 - 1,20
			KRB 19,032	0,70 - 1,00
KRB 19,040	0,30 - 0,75			
KRB 19,017	0,65 - 0,90			
KRB 18,751	4,50 - 9,50			
MP 4 (Asphalt)	Asphalt	RuVa /U 35/	S 19,100	0,0 - 0,1
			S 19,150	0,0 - 0,1

4.2 Untersuchungsergebnisse Gleisschotter

Die Bewertung des Gleisschotters erfolgt entsprechend dem Merkblatt „Entsorgung von Gleisschotter“ /U 33/ nach LAGA /U 30/. Die chemische Analytik erfolgte an den abgesiebten Feinanteilen (< 31,5 mm) des Schotters.

Im Gleis 1 sind Betonschwellen verbaut. Das Gleis ist nicht elektrifiziert. Es liegen uns keine Informationen aus einer historischen Erhebung bezüglich möglicher Schadensfälle o. ä. vor. Die organoleptische Ansprache der Schotter erbrachte keine Hinweise auf eine Belastung mit Schadstoffen. Soll der Feinanteil Schotter abgesiebt und getrennt vom Schotter entsorgt werden, so können die Analyseergebnisse direkt zur orientierenden Bewertung herangezogen werden. Bei einer Verwertung / Beseitigung des Gesamtschotters können die Analyseergebnisse für den Feinanteil auf die Gesamtmasse umgerechnet werden, wenn das Vierfache LAGA Z2-Kriterium nicht überschritten wird. Nach Ril 880.4010 /U 31/ und TM 2012-049 I.NVT 4 /U 32/ wird ein Umrechnungsfaktor Feinanteil: Gesamtschotter von 1:3 empfohlen.

Die folgende Tabelle fasst die Auswertung der Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des Schotterfeinanteils zusammen. Die Probenahmepunkte können dem Lageplan in Anlage 2 entnommen werden. In Anlage 8 sind die Analysen des chemischen Labors und eine Auswertung im Detail zusammengestellt.

Tabelle 22: Einstufung Gleisschottermischprobe nach LAGA /U 30/ und Merkblatt „Entsorgung von Gleisschotter“ /U 33/

Probe:	MP 1 (Gleisschotter)	
Herkunft:	siehe Tabelle 21	
Probenahme:	Schotterschurf, Mischprobe	
Art:	Mischprobe Schotter (Gesamtfraktion)	Mischprobe Schotter (FA <31,5mm)
Prüfbericht:	17B01908	
Laboreingang:	08.06.2017	
Untersuchungsumfang:	LAGA /U 30/ + Herbizide	
Laborfertigstellung:	23.06.2017	
Einstufung nach LAGA /U 30/	Z2	Z2
Maßgebende Parameter:	TOC=1,6 Masse%	Kupfer=137 mg/kg, TOC=4,9 Masse%, PAK=10,2mg/kg, ∑ Glyphosat/AMPA=1,32g/l
Gefährlichkeit:	nicht gefährlich	
Abfallschlüssel:	17 05 08	

Entsprechend der Analyseergebnisse der untersuchten Schottermischprobe MP 1 ist der Feinanteil Schotter (< 31,5 mm) aufgrund der Parameter Kupfer, TOC, PAK und Summe Glyphosat/AMPA dem Zuordnungswert Z2 zuzuordnen. Bezogen auf die Gesamtfraktion ist der Schotter aufgrund des Parameters TOC ebenfalls dem Zuordnungswert Z 2 zuzuordnen. Es handelt sich um nicht gefährlichen Abfall mit der Abfallschlüsselnummer 17 05 08 nach /U 36/.

Hinweis: Ist eine Verwertung des Gleisschotters in technischen Bauwerken vorgesehen, sind nach dem Merkblatt /U 33/ die Technischen Regeln der LAGA „TR Bauschutt“ heranzuziehen.

4.3 Untersuchungsergebnisse Boden

Die angetroffenen Bodenschichten zeigen augenscheinlich, neben Fremdbestandanteilen (Anteil < 10 %) in den Auffüllungen, keine Verunreinigungen und sind organoleptisch unauffällig. Die Ergebnisse und die Bewertung der chemischen Analysen sind hinsichtlich der Einstufungskriterien der LAGA /U 30/ in der folgenden Tabelle 23 dargestellt. Hier sind jeweils nur die für die Einstufung relevanten Parameter dargestellt. Die detaillierte Auswertung findet sich in Anlage 8.

Die Zuordnung von Abfallschlüsseln erfolgt nach AVV /U 36/. Aus dem Abfallschlüssel wird abschließend das Entsorgungsnachweisverfahren abgeleitet. Für gefährlichen Abfall ist ein Entsorgungsnachweis zu führen. Für nicht gefährlichen Abfall ist ein Nachweisverfahren gemäß Nachweisverordnung nicht zwingend vorgeschrieben.

Tabelle 23: Zuordnung und Einstufung der Mischproben

Probe:	MP 2 Auffüllungen	MP 3 Anstehendes
Herkunft:	siehe Tabelle 21	
Art:	Mischprobe Bodenmaterial (Kies /Sand)	
Prüfbericht:	17B01908	
Laboreingang:	08.06.2017	
Untersuchungsumfang:	LAGA	
Laborfertigstellung:	23.06.2017	
Zuordnungswert nach LAGA:	Z2	Z0
maßgebende Parameter:	TOC	---
Abfallschlüssel:	17 05 04 nicht gefährlicher Abfall	17 05 04 nicht gefährlicher Abfall

Entsprechend der Ergebnisse der untersuchten Mischproben sind die untersuchten Böden in die Zuordnungsklasse Z0 bzw. Z 2 nach LAGA /U 30/ einzustufen. In Anlage 8 sind die Originalanalysen des chemischen Labors sowie eine Auswertung im Detail zusammengestellt. Es handelt sich um nicht gefährlichen Abfall mit der Abfallschlüsselnummer 17 05 04.

4.4 Untersuchungsergebnisse Asphalt

Die abfalltechnische Bewertung der Ausbaustoffe des Asphaltbelags erfolgt nach RuVA-StB 01 /U 35/.

Tabelle 24: Einstufung der Asphaltmischprobe

Probe:	MP 4 (Asphalt)
Herkunft:	siehe Tabelle 21
Art:	Asphaltbelag, Tiefe 0,0 - 0,1m
Prüfbericht:	17B01908
Laboreingang:	08.06.2017
Untersuchungsumfang:	PAK, Phenolindex
Laborfertigstellung:	23.06.2017
Verwertungsklasse nach RuVA-StB 01 /U 35/:	A
maßgebende Parameter:	\sum PAK = 0,1 mg/kg, Phenol-Index \leq 0,01 mg/l
Abfallschlüssel:	17 03 02 nicht gefährlicher Abfall

Das entnommene Schwarzdeckenmaterial der Mischprobe MP 4 ist nach RuVA-StB 01 /U 35/ in die Verwertungsklasse A einzustufen und damit als Ausbauasphalt zu bezeichnen.

4.5 Verwertung / Beseitigung

Die Verwertung / Beseitigung der Bodensubstanz richtet sich nach den Zuordnungswerten der für Rheinland-Pfalz geltenden LAGA /U 30/, für die entsprechende Einbauklassen definiert sind. Bei Überschreitung der Werte ist eine Verwertung (offener Einbau mit Sicherungsmaßnahmen) nicht zulässig. Das Material ist in dem Fall einer geeigneten Deponie zuzuführen.

Folgende Einbauklassen sind für die o.g. Ergebnisse relevant:

→ Z0 – Uneingeschränkte Verwertung

→ Z2 - Verwertung in technischen Bauwerken bei definierten technischen Sicherungsmaßnahmen

Es wird auf die einzelnen Randbedingungen für die verschiedenen Einbauklassen in den jeweiligen Regelwerken verwiesen.

5 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Die DB Netz AG plant an der Strecke 3300, Kaiserslautern – Pirmasens Nord, km 19,090 den Umbau des Haltepunktes (Hp.) Steinalben zum Kreuzungsbahnhof. Im Rahmen des Umbaus ist der Rückbau des Hausbahnsteigs sowie der Neubau eines Mittelbahnsteigs und eines zweiten Gleises, ggf. eine Trassierungsänderung des Gleis 1, der Neubau von Signalmasten, die Erneuerung des Durchlasses bei km 18,748 und der Neubau eines Modulgebäudes vorgesehen. Aufgrund der aktuell beengten Platzverhältnisse sind für den Ausbau des Haltepunktes zum Kreuzungsbahnhof im Zuge der neuen Trassierung und der geplanten Lage des zweiten Gleises ein Eingriff in die bahnlinke Böschung und der Bau einer Stützwand notwendig.

Baugrundverhältnisse

Mit den im Gleis 1 ausgeführten Schotterschürfen wurden Schottermächtigkeiten von ca. 0,45 m bis 0,6 m und ein Schotterfeinanteil von ca. 0-20 % angetroffen. Im Rahmen der ausgeführten Bohrungen im Hp. Steinalben wurden grob- und gemischtkörnige Auffüllungen der Bodengruppen [GE, GI, ST, GU, GT, ST*, GU*] in lockerer bis mitteldichter Lagerung erkundet. Einmalig wurden bindige Auffüllungen der Bodengruppe [TL] in steif-halbfester Konsistenz angetroffen. Unterhalb der Auffüllungen wurden teilweise Hangablagerungen der Bodengruppen SI, SE, SW, ST, GI, GW, GU, SU* und ST* in lockerer bis mitteldichter Lagerung erkundet. Direkt unter den Auffüllungen bzw. unterhalb der überwiegend geringmächtigen Hangablagerungen wurde der Verwitterungshorizont des anstehenden Ton- und Sandsteins in den Verwitterungsstufen v5-v1 (v5: zersetzt; v4: vollständig verwittert; v3: stark verwittert; v2 mäßig verwittert; v1: schwach verwittert; Verwitterungsstufen nach DIN EN ISO 14689) angetroffen.

Hydrologie

Der Hp. Steinalben liegt außerhalb festgesetzter Wasserschutzgebiete und außerhalb von Überschwemmungsgebieten. Grundwasser wurde im Zuge der Erkundungen nicht angetroffen. Wir empfehlen für die Baumaßnahmen im Hp. Steinalben, mit Ausnahme des Durchlasses bei km 18,748, einen Bemessungswasserstand von 263,4 m NN (DB REF). Im Bereich des Durchlasses bei km 18,748 wurde Hangwasser erkundet. Für den Durchlass bei km 18,748 empfehlen wir einen Bemessungswasserstand von 272,5 m NN (DB REF). Weitere Angaben finden sich in Kapitel 2.4.

Geotechnische Kategorie

Für die Bemessung der Gleise 1 und 2 und für die Gründung des Modulgebäudes gehen wir von der Geotechnischen Kategorie 1 (GK 1) aus, für die weiteren Baumaßnahmen (Neubau Mittelbahnsteig, Neubau Signale, Erneuerung Durchlass, Neubau Stützwand) von GK 2.

Gründungsempfehlungen

Angaben zu geplanten Gründungstiefen, den Lasten und den Fundamentabmessungen liegen uns aktuell nicht vor. Der Hp. Steinlaben liegt in einem Gebiet mit Frosteinwirkungsgrad I, die frostfreie Gründungstiefe (Teilfrostsicherheit) liegt somit bei $\geq 0,8$ m u. GOK. Aufgrund des oberflächennah erkundeten Verwitterungshorizontes des Sandsteins können die Bahnsteigkanten, das Modulgebäude, die Signalmasten sowie die Stützwand generell flach gegründet werden. Zum Abtragen der Lasten und Reduzierung der Setzungen ist ggf. ein geeignetes Nachverdichten der anstehenden Böden erforderlich. Von Rammarbeiten wird aufgrund des schwer bis nicht rambaren Sandsteins abgeraten. In den Kapiteln 3.2, 3.4, 3.5 und 3.7 werden Angaben zur Gründung der geplanten Bauwerke gemacht, in Kapitel 3.3 ist eine orientierende Tragschichtbemessung für das Bestandsgleis 1 und das geplante Gleis 2 dargestellt.

Abfalltechnische Untersuchungen

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des Schotters und der anfallenden Aushubmassen Boden sind in Kapitel 4 dargestellt. Entsprechend der Analyseergebnisse der untersuchten Schottermischprobe ergibt sich sowohl für den Feinanteil als auch bezogen auf die Gesamtmasse des Schotters eine Einstufung als Z2. Die Mischproben der erkundeten Böden werden den Einbauklassen Z2 und Z0 zugeordnet.

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

Unsere beauftragten Leistungen für dieses Objekt sind hiermit abgeschlossen.

aufgestellt durch:



i.A. M. Gehring