



DR. SPANG

INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR BAUWESEN, GEOLOGIE UND UMWELTECHNIK MBH

Mailänder Consult GmbH
z.Hd. Herrn Thomas Krannich
Mathystraße 13
76133 Karlsruhe

Projekt-Nr.	Datei	Diktat	Büro	Datum
35.4130	P4130b160422_EÜ_GBStr	CSp/Sa	Esslingen	22.04.2016

Planung Hermann-Hesse-Bahn
EÜ Gottlieb-Braun-Straße, Althengstett
km 38,557
Neubau EÜ
Böschungstreppe

- Baugrundgutachten und Gründungsempfehlung -

Auftrag vom 03.08.2015

Gesellschaft: HRB 8527 Amtsgericht Bochum, USt-IdNr. DE126873490, Geschäftsführer Dipl.-Ing. Christian Spang

Zentrale Witten: Westfalenstraße 5 - 9, D-58455 Witten, Tel. (0 23 02) 9 14 02 - 0, Fax 9 14 02 - 20, zentrale@dr-spang.de
<http://www.dr-spang.de>

Niederlassungen: 73734 Esslingen/Neckar, Weilstr. 29, Tel. (0711) 351 30 49-0, Fax 351 30 49-19, esslingen@dr-spang.de
60528 Frankfurt/Main, Rennbahnstraße 72 – 74, Tel. (069) 678 65 08-0, Fax 678 65 08-20, frankfurt@dr-spang.de
09599 Freiberg/Sachsen, Halsbrücker Str. 34, Tel. (03731) 798 789-0, Fax 798 789-20, freiberg@dr-spang.de
06618 Naumburg, H.-von-Stephan-Platz 1, Tel. (03445) 762-0, Fax 762-162, naumburg@dr-spang.de
90491 Nürnberg, Erlenstegenstr. 72, Tel. (0911) 964 56 65-0, Fax 964 56 65-5, nuernberg@dr-spang.de

Banken: Deutsche Bank AG, Esslingen, IBAN: DE46 6117 0024 0010 4299 00, BIC: DEUTDEDB611



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	4
1.3 Unterlagen	4
1.4 Untersuchungen	5
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	6
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	6
2.2 Baugrund	7
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	11
2.4 Laborversuche	12
2.5 Geotechnische Besonderheiten	15
3. BODENKENNWERTE	17
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	17
3.2 Bodenkennwerte	18
3.3 Felsmechanische Kennwerte	18
4. FOLGERUNGEN	19
4.1 Gründung EÜ	19
4.2 Böschungstreppe	20
4.3 Baugruben	20
4.4 Wasserhaltung	22
4.5 Nachbarbebauung	22
4.6 Zusammenfassende Bewertung	23
5. EMPFEHLUNGEN	24
5.1 Gründung EÜ	24
5.2 Böschungstreppe	26
5.3 Baugrube	26
5.4 Wasserhaltung	28
5.5 Sonstige Empfehlungen	28



6. ANLAGEN

- Anlage 1: Übersichtslageplan, 1 : 25.000 (2)
- Anlage 2: Lageplan mit Aufschlusspunkten, 1 : 1.000 (2)
- Anlage 3: Geotechnischer Schnitt 1 : 100 (2)
- Anlage 4: Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse (1)
- Anlage 4.1 Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)
- Anlage 4.2: Bohrsondierungen (BS) (RKS) (17)
- Anlage 4.3: Schwere Rammsondierung (DPH) (7)
- Anlage 4.4: Kernbohrungen (BK) (2)
- Anlage 5: Bodenmechanische Laborversuche (1)
- Anlage 5.1: Wassergehalt nach DIN 18 121 (2)
- Anlage 5.2: Zustandsgrößen nach DIN 18 122 (3)
- Anlage 5.3: Korngrößenverteilung nach DIN 18 123 (3)
- Anlage 5.4: Bestimmung einaxiale Druckfestigkeit (1)
- Anlage 5.5: Punktlastversuche (1)



1. ALLGEMEINES

1.1 Projekt

Der Landkreis Calw ist Eigentümer der Bahnstrecke von Weil der Stadt nach Calw. Auf der Strecke ruht seit Ende der 1980er Jahre der Verkehr. Um den Landkreis per Schiene besser an die Landeshauptstadt Stuttgart und an den Wirtschaftsraum Sindelfingen/Böblingen anzubinden, ist eine neuerliche Betriebsaufnahme vorgesehen. Die Strecke muss dazu in ihrem Bestand saniert und technisch modernisiert werden. Vor einer erneuten Verkehrsaufnahme muss die Streckeninfrastruktur umfassend saniert werden. Zur Umsetzung des vom Landkreis gewünschten Betriebsprogramms sind darüber hinaus punktuelle Aus- und Umbauten der Bestandsinfrastruktur erforderlich.

Im Rahmen dieser Umbauten ist auch die Erneuerung der Eisenbahnüberführung (EÜ) Gottlieb-Braun-Straße bei Bahn-km 38,557 geplant. Das Bauwerk überführt die bestehende Bahnstrecke.

1.2 Auftrag

Auf Basis des Angebots A36.7600 vom 18.09.2014 wurde die Dr. Spang GmbH am 03.08.2015 damit beauftragt, für das o.g. bestehende Bauwerk eine Baugrundbeurteilung durchzuführen. Das vorliegende Gutachten behandelt die Beurteilung für die EÜ Gottlieb-Braun-Straße, Althengstett. Ergebnisse und Empfehlungen zum Streckenbau in diesem Bereich folgen in gesonderten Gutachten.

1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

[U 1] Gottl.-Braun-Str., Querschnitt im Bereich der Eisenbahnbrücke bei km 38+557, Dipl.Ing. Theodor Zimmer, Büro für Ingenieurbau, Stuttgart 10.08.1962. Pläne übermittelt durch Mailänder Consult GmbH, 29.01.2015.

[U 2] Geologische Karten von Baden-Württemberg, Blatt 7218, Calw, 1:25.000 mit Erläuterung; Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart, 1982.



- [U 3] **Hermann-Hesse-Bahn, Reaktivierung der Bahnstrecke Weil der Stadt – Calw, Einschnitt "Im Hau", km 39,7+20 - km 40,9+40, Baugrundgutachten und Sicherungsempfehlungen;** Dr. Spang GmbH, Esslingen, 29.05.2015.

- [U 4] **Hermann-Hesse-Bahn, Reaktivierung der Bahnstrecke Weil der Stadt – Calw, Streckengutachten;** Dr. Spang GmbH, Esslingen, Oktober 2015.

- [U 5] **Reaktivierung der Hermann-Hesse-Bahn von Calw nach Weil der Stadt, Baugrund- und Gründungsgutachten,** Ingenieurbüro Keutner, Stuttgart, 27.11.2013.

- [U 6] **Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg;** Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg i. Br., 2005.

- [U 7] **Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg;** <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>, Stand 14.09.2015.

- [U 8] **Entwurfsplanung, Neubau EÜ Gottlieb-Braun-Straße, km 38,5 + 54,343, Draufsicht und Schnitte,** Mailänder Consult GmbH, Plan übermittelt am 14.03.2016.

1.4 Untersuchungen

Im Untersuchungsbereich wurden am 11.06.2015 durch die Fa. Burkhardt GmbH & Co. KG im Auftrag des LRA Calw **1 Kernbohrung (BK, Außen-Ø 146 / 178 mm), 1 Kleinrammbohrung (BS, Schappen-Ø 40 - 60 mm)** als Rammkernsondierung und **2 schwere Rammsondierung (DPH)** gemäß DIN EN ISO 22 476-2 durchgeführt. In unmittelbarer Nähe der Widerlager wurden außerdem **2 Schürfe** durchgeführt um die Bausubstanz zu bewerten.

Nachdem entschieden wurde, dass die EÜ erneuert werden soll, wurden außerdem im Projektgebiet am 05.02.2016, ebenfalls durch die Fa. Burkhardt GmbH & Co. KG im Auftrag des LRA Calw, **1 Kernbohrung (BK, Außen-Ø 146 / 178 mm)** auf der anderen Seite der EÜ hergestellt sowie am 18.01.2016 **4 Kleinrammbohrungen (BS, Schappen-Ø 40 - 60 mm)** als Rammkernsondierung und **4 schwere Rammsondierungen (DPH)** gemäß DIN EN ISO 22 476-2 am 19.01.2016 durchgeführt.



Außerdem wurden bereits 2013 vom Ingenieurbüro Keutner, Stuttgart **1 Kleinrammbohrung (RKS)** sowie **2 schwere Rammsondierungen (DPH)** durchgeführt [U 5], welche ebenfalls zur Bewertung des Baugrunds herangezogen werden.

Das Bohrgut der neu erstellten Aufschlüsse wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert sowie nach DIN 18 300 klassifiziert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 4.2 und 4.4 dargestellt. Die schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476 als Rammdiagramme in Anlage 4.3 enthalten.

Sämtliche neu erstellte Aufschlusspunkte wurden durch die Firma Burkhardt GmbH & Co. KG lage- und höhenmäßig eingemessen. Die Lage der Aufschlusspunkte ist in der Anlage 2 dargestellt. Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind in den Darstellungen in Anlage 4 zu entnehmen.

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Althengstett liegt an der stillgelegten Bahnstrecke der Hermann-Hesse-Bahn zwischen Calw und Ostelsheim. Die EÜ liegt mittig in der Gemeinde Althengstett, ca. 100 m südöstlich von der B 295, welche innerhalb der Gemeinde bis zur EÜ parallel zur Strecke verläuft. Das Gleis der stillgelegten Strecke wird hier in Nordost - Südwest Richtung über die Gottlieb-Braun-Straße überführt.

Das Gelände um die EÜ ist weitestgehend eben und liegt zwischen 499 und 501 mNN. In Richtung Ostelsheim steigt das Gelände leicht bis auf ca. 550 mNN an. Die Schienenoberkanten liegen bei der EÜ ca. bei 505 - 506 mNN.

Beidseitig der EÜ schließt sich ein Bahndamm mit einer Höhe von ca. 4 - 5 m an. Der Böschungswinkel beträgt ca. 30°. Die Dammböschungen sind mit Bäumen und Büschen bewachsen. Der Zustand der Böschungen ist unauffällig, es sind keine Hinweise auf Bewegungsvorgänge (z.B. Anrisse, unebene Oberflächen, Wasseraustritte, Säbelwuchs) vorhanden.



Nördlich und südlich von der EÜ befinden sich Wohnhäuser, ein Cafe und ein Imbiss sowie ein größerer Industriebau mit Parkflächen in ca. 20 - 30 m Entfernung. Das Gelände ist bis auf die Böschungsbereiche vollständig versiegelt.

2.2 Baugrund

Der Baugrund im Untersuchungsgebiet stellt sich nach der geologischen Karte wie folgt dar [U 2]: Die bestehende Eisenbahnüberführung liegt im Bereich eines künstlich aufgeschütteten Damms. Der Boden setzt sich daher mindestens in den obersten 3 - 4 m aus anthropogenen Auffüllungen zusammen.

In größeren Tiefen wird im Untersuchungsgebiet laut [U 2] eine Störung vermutet, die quer zur Strecke verläuft, und die Schichten des Oberen Buntsandsteins (westlicher Block) zum Unteren Muschelkalk (östlicher Block) versetzt. Auf der geologischen Karte ist die Störung direkt im Bereich der Gottlieb-Braun-Straße eingezeichnet. Dies wurde bei der Erkundung nicht angetroffen. Es wurden keine Versätze oder Aufarbeitungszonen festgestellt. Die Störung verläuft – soweit vorhanden – vermutlich westlich der Gottlieb-Braun-Straße.

Unterlagert wird die Freudenstadt-Formation des Unteren Muschelkalks von den ca. 3 m mächtigen Schichten der Rottön-Formation des **Oberen Buntsandsteins**. Anschließend folgen im Liegenden die bis zu 43 m mächtigen Schichten des Plattensandsteins (Oberer Buntsandstein). Der dunkelrote bis rote Sandstein kann massig, gebankt oder plattig auftreten. Die Verwitterung des Buntsandsteins erfolgt unregelmäßig. Eine genaue Abgrenzung der unterschiedlich verwitterten Schichten in Abhängigkeit von der Tiefe ist daher nicht möglich.

Aus den Erkundungsergebnissen der Kernbohrungen (**BK B17 und BK 171**), der Bohrsondierungen (**RKS 16 sowie BS 173 - BS 176**) und der Rammsondierungen (**DPH B14, DPH16a und 16b sowie DPH 172 - DPH 176**), sowie auf Grundlage des Geotechnischen Streckengutachtens für die Reaktivierung der Bahnstrecke Weil der Stadt - Calw [U 4] und des Baugrund- und Gründungsgutachtens der Ingenieurbüros Keutner, Stuttgart [U 5] wurden die ausgeführten Schichten ausgewiesen. Die Benennung der Schichten ist in diesem Gutachten nicht zusammenhängend, da in dem hier zu bearbeitenden Untersuchungsgebiet nicht alle Schichten vorkommen, die Benennung der Schichten für das Projekt jedoch einheitlich erfolgen soll. Die Reihenfolge gibt gleichzeitig die zu erwartende Schichtfolge von oben nach unten an.



Schicht Nr.	Kurz- be- zeichnung	Bezeichnung	Schicht- mächtig- keit [m]	Schicht- UK [m u. GOK]	Bodenbeschreibung	
					Kornverteilung / Farbe	Konsistenz / Lagerungsdichte
1b	-	Auffüllungen (gemischtkör- nig)	0,7 - 3,5	498,0 - 502,1 (499,1) ¹	Kies, steinig, san- dig, schluffig, to- nig, Schluff, kiesig, sandig, tonig / grau, schwarzgrau, braun	weich - steif / locker - mittel- dicht
1c	-	Auffüllung (Gleisschotter)	0,5 - 1,0	503,6 - 504,5	Kies, dunkelgrau	locker
2a	-	Hanglehm, Verwitterungs- lehm auf Mu- schelkalk ²⁾	0,7 - 3,8	498,9 - 499,5	Ton, kiesig; Kies, tonig; Schluff, kie- sig, sandig, tonig / hellbraun	weich - halbfest
2c	-	Schwemmlehm, Tallehm, Aue- ablagerungen, z.T. organische Anteile und or- ganogene Schluffe ²⁾	2,6 - 3,8	498,9 - 499,5 ²⁾	Ton, Schluffe, sandig, z.T. kiesig, z.T. organogen	weich
7a	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein), verwittert ²⁾	1,7	495,4 - 496,2	Ton, Schluff san- dig, kiesig; Sand- stein, Sandstein, Schluffstein, ent- festigt, verwittert / rot, braun	halbfest (verwitterter Tonstein)
7b	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) unverwittert/ angewittert ²⁾	> 12	Schicht-UK nicht er- bohrt	Tonstein, Schluffstein, Feinsandstein unverwittert, rot - grün, grau	Fels

1) mittlere Schichtunterkante

2) nicht in allen Bohrungen erkundet

3) Schicht-UK nicht aufgeschlossen

Tabelle 2.2-1: Baugrundaufbau

Der erkundete Baugrundaufbau passt mit den stratigraphischen Angaben aus der geologischen Karte [U 1] überein.



Schicht 1b - Auffüllungen (gemischtkörnig): Es wurden in allen Aufschlusspunkten Auffüllungen angetroffen. Bei den Auffüllungen handelt es sich um tonige bis schwach tonige, sandige, teilweise steinige Kiese. Die Auffüllungen bestehen auch aus kiesigen, feinsandigen, tonigen Schluffen, welche sehr inhomogen ausgebildet sind und Kalkstein- und Dolomitsteinbruchstücke enthalten. Die Konsistenz der Schluffe reicht nach der Bodenansprache von weich bzw. steif bis halbfest, die Lagerungsdichte lässt sich mit locker bis mitteldicht angeben. Die Farbe der Auffüllungen reicht von grau bis gelbbraun.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 2 - 12$. Die erhöhten Schlagzahlen von 9 - 12 treten nur vereinzelt auf. Es ergibt sich eine lockere bis mitteldichte Lagerung bzw. eine weiche bis steife Konsistenz. In der Schicht 1b muss mit Rammhindernissen in Form von Grobkies und Steinen gerechnet werden. Dies belegen die teilweise vereinzelt höheren Schlagzahlen.

Schicht 1c - Gleisschotter: Aufgrund der direkten Lage der Aufschlusspunkte im Streckenbereich wurde oberflächennah Gleisschotter in den Sondierungen angetroffen. Es handelt sich um grauen - schwarzgrauen Kies, welcher teilweise sandig und schluffig sind.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 2 - 23$. Es ergibt sich eine lockere bis dichte Lagerung.

Schicht 2a - Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk: Bei der als Verwitterungslehm auf Muschelkalk angesprochenen Schicht handelt es sich laut der Erkundung um einen kiesigen, feinsandigen, tonigen Schluff bzw. um einen steinigen, sandigen, schwach schluffigen, schwach tonigen Kies oder um einen schwach kiesigen, sandigen Ton. Das beige bis hellgraubraune, grünlich, graue Material ist teilweise inhomogen und erdfeucht. Teilweise wurde das Material als stark kalkhaltig mit einer weichen bis halbfesten Konsistenz angesprochen.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 2 - 32$. Aufgrund von Gefügestörungen beim Rammvorgang und den daraus resultierenden geringeren Konsistenzen ist für die Schicht 2a die Ansprache der Kernbohrung maßgebend. Es ergibt sich eine weiche bis halbfeste Konsistenz. In der Schicht 2a muss mit Rammhindernissen z.B. in Form von geringer verwitterten Zwischenlagen bzw. Grobkies und Steinen gerechnet werden.



Schicht 2c - Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen: Bei den Schwemmlahmen und Aueablagerungen handelt es sich um sandige, z.T. kiesige Tone und Schluffe, welche teilweise organische Bestandteile aufweisen. Das Material ist braun, grau bis dunkelbraun und besitzt eine überwiegend weiche Konsistenz.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 2 - 10$. Es ergibt sich eine weiche bis steife Konsistenz. Aufgrund von Gefügestörungen beim Rammvorgang und den daraus resultierenden geringeren Konsistenzen ist für die Schicht 2c die Ansprache der Kernbohrung maßgebend.

Schicht 7a - Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein), verwittert: Der verwitterte Buntsandstein der Rötton-Formation wurde als toniger, sandiger, Schluff bzw. verwitterter Sand- und Schluffstein angesprochen. Das zersetzte Material ist halbfest, kalkhaltig und weist eine charakteristische rote Farbe auf. Der Verwitterungshorizont des Oberen Buntsandsteins ist vergleichsweise geringmächtig und beträgt ca. 1 - 2 m. Bereichsweise sind geringmächtige Lagen der Schicht 7a ebenfalls in der Schicht 7b eingebettet.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 12 - 42$. Es ergibt sich eine bis dichte bis sehr dichte Lagerung bzw. eine halbfeste bis feste Konsistenz. Der Anstieg der Schlagzahlen am Ende der Rammsondierung zeigt den Übergang zur Schicht 7b bzw. vorhandene, geringer verwitterte Zwischenlagen oder Schichten höherer Festigkeit an. In der Schicht 7a muss mit Rammhindernissen z.B. in Form von den oben genannten Zwischenlagen bzw. Grobkies und Steinen gerechnet werden.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (gemäß DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrades (gemäß DIN EN ISO 14689-1, Tab. 13) ergibt sich für die Schicht 7a typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklasse R0** und **Verwitterungsgrad W5**. Bautechnisch betrachtet handelt es sich bei der Schicht um den Übergang zwischen Lockergestein und stark verwitterten bis entfestigtem Fels.

Schicht 7b - Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein), unverwittert/angewittert: Der unverwitterte bis angewitterte Schluff-, Ton- und Sandstein ist kalkhaltig und weist ebenfalls die charakteristische Rotfärbung auf. Stellenweise besitzt er in geringer Mächtigkeit eine grün-graue Färbung und ist als Ton- Schluffstein ausgebildet, welche den marinen Einfluss des darüber abgelagerten Unteren Muschelkalks aufzeigt. Bei diesen Ton- und Schluffsteinlagen handelt es sich um veränderli-



chen Fels. Bei der Erkundung wurden die Schichten des unverwitterten Oberen Buntsandsteins ab einer Tiefe von ca. 10 m u. GOK (10,2 m. u. SO) angetroffen.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (gemäß DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrades (gemäß DIN EN ISO 14689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 7b typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklasse R1 - R2** und **Verwitterungsgrad W0 - W2**.

2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Bei den Erkundungsarbeiten wurde in allen Aufschlüssen erdfeuchte Verhältnisse angetroffen. Dennoch kann es z.B. in Verbindung mit Starkregenereignissen lokal zur Bildung von Schichtwasser kommen. Schichtwasser bildet sich lokal in den Auffüllungen u.a. dann aus, wenn im Liegenden z.B. nicht bzw. schwach durchlässige Böden (Lehme, Tone) anstehen.

Der **Bemessungswasserstand** für den Endzustand wird aufgrund der im Projektgebiet angetroffenen bindigen Böden auf **Höhe des Damms** bzw. im Bereich neben des Damms weiter auf **Höhe GOK** angesetzt. Der **Bauwasserstand** kann basierend auf den in den ausgeführten Aufschlüssen angetroffenen hydrogeologischen Verhältnissen auf **ca. 500 mNN** angesetzt werden. Es ist bis zur GOK mit Stau- und Schichtwässern zu rechnen.

Die tiefsten dolomitischen Schichten des Unteren Muschelkalks stellen einen regionalen Grundwasserleiter dar, dessen Basis die Oberkante der als Grundwassergeringleiter einzuordnenden Rötton-Formation des Oberen Buntsandsteins ist. Die Rötton-Formation trennt die regionalen Grundwasserstockwerke von Muschelkalk und Buntsandstein.

Die im liegenden anstehenden Sandsteine des Oberen Buntsandsteins bilden einen regionalen Grundwasserleiter, der vor allem von Wasserwegsamkeiten entlang von Kluftsystemen dominiert wird.

Lokaler Vorfluter ist der Tälesbach, dessen Quelle sich am südöstlichen Ortsrand von Althengstett befindet. Der vier Kilometer lange Fluss fließt verdolt durch Althengstett und tritt am südwestlichen Ortsrand wieder ins Freie. Im Calwer Stadtteil Hirsau mündet er von Osten in die Nagold.



Das Projektgebiet liegt in keinem Wasserschutzgebiet, es befindet sich auch kein Wasserschutzgebiet im Abstrombereich. Eine Hochwassergefährdung im Untersuchungsgebiet ist laut Angaben des LRA Calws nicht zu erwarten.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeit k_f [m/s]
1b	Auffüllungen (gemischtkörnig)	1×10^{-7} bis 1×10^{-3}
1c	Gleisschotter	$> 1 \times 10^{-3}$
2a	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	1×10^{-8} - 1×10^{-5}
2c	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	1×10^{-10} bis 1×10^{-6}
7a	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) verwittert	1×10^{-12} bis 1×10^{-8}
7b	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) unverwittert	1×10^{-10} bis 1×10^{-7}

Tabelle 2.3-1: Durchlässigkeiten

Eine Wasseranalyse auf **Betonaggressivität** des Grundwassers nach DIN 4030 und **Stahlaggressivität** nach DIN 50 929 wurde auftragsgemäß im Untersuchungsgebiet nicht durchgeführt. In der Regel ist Grundwasser das kalkhaltige Locker- und Festgesteine durchflossen hat, als nicht betonangreifend und nicht stahlangreifend einzustufen. Soweit maßgebend sollte die vorstehende Einschätzung vor Ausführung durch direkte Analysen abgesichert werden.

2.4 Laborversuche

Es wurden folgende Laborversuche an ausgewählten Bodenproben ausgeführt.

- Bestimmung der Wassergehalte nach DIN 18 121 (Anlage 5.1)
- Bestimmung der Zustandsgrenzen nach DIN 18 122 (Anlage 5.2)
- Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung nach DIN 18 123 (Anlage 5.3)
- Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit nach Empfehlung Nr. 5 des Arbeitskreises "Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (2004) (Anlage 5.4)
- Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit mittels Punktlastversuch (Anlage 5.5)



Nachfolgende Tabelle 2.4-1 gibt eine Übersicht über die ermittelten Wassergehalte.

Bohrung	Tiefe [m]	Bodenart	Schicht	w [%]
BK 171	4,5	U, t, s, g'	2a / 2c	26,09
BK 171	7,5	U, T, s'	2a / 2c	27,56
BK 171	11,3 - 11,5	Sst	7b	6,3
BK 171	14,4	U, s, t'	7a	10,01
BK 171	15,0 - 15,2	Sst	7b	6,6

Tabelle 2.4-1: Ergebnisse der Wassergehaltsuntersuchung.

Die natürlichen Wassergehalte der bindigen Böden der Schicht 2a und Schicht 2c sind mit > 20% vergleichsweise sehr hoch. Die erhöhten Wassergehalte sind wahrscheinlich auf die z.T. in der Schicht 2c enthaltenen organogenen Bestandteile zurückzuführen. Der Wassergehalt für den verwitterten Mergelstein der Schicht 7a und den unverwitterten Sandstein der Schicht 7b ist als typisch einzuschätzen.

In nachfolgender Tabelle 2.4-2 sind die Ergebnisse der Plastizitätsuntersuchungen zusammengefasst.

Bohrung	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	w [%]	w _L [%]	w _P [%]	I _P [%]	I _c [%]	Boden- gruppe
BK 171	4,5	2a / 2c	U, t, s, g'	26,1	40,2	18,7	21,4	0,66	TM
BK 171	7,5	2a / 2c	U, T, s'	27,6	55,3	22,8	32,5	0,85	TA
BK 171	14,4	7a	U, s, t'	10	30,2	19,7	10,5	1,92	TL / ST

w = Wassergehalt, w_L = Fließgrenze, w_P = Ausrollgrenze, I_P = Plastizitätsindex, I_c = Konsistenzzahl

Tabelle 2.4-2: Ergebnisse der Plastizitätsuntersuchung

Gemäß den durchgeführten Wassergehalts- und Konsistenzbestimmungen handelt es sich bei dem untersuchten Hang- und Schwemmlehm (Schicht 2a / 2c) um einen weichen tonigen, sandigen, schwach kiesigen Schluff der als mittelplastischer Ton zu klassifizieren ist (TM) bzw. um aus-



geprägt plastischen Ton (TA) mit steifer Konsistenz. Die Bodenansprache der Felderkundung wird damit bestätigt.

In nachfolgender Tabelle 2.4-3 sind die Ergebnisse der Korngrößenzusammensetzungen zusammengefasst.

Boh- rung	Tiefe [m]	Schicht	Feinkorn- anteil ¹⁾	Feinstkorn anteil ²⁾	Bodenart nach DIN 4022	Bodengruppe DIN 18 196
			[Gew.-%]			
BK 171	4,5	2a / 2c	69	33	U, t, s, g'	UM
BK 171	7,5	2a / 2c	92	56	U, T, s'	UA, TA
BK 171	14,4	7a	86	22	U, s, t'	UL

1) Korngröße $\leq 0,063$ mm

2) Korngröße $\leq 0,002$ mm

Tabelle 2.4-3: Charakteristische Ergebnisse der Sieb- und Schlämmanalysen

Die Sieb- und Schlämmanalysen an den untersuchten Proben zeigen einen für die Schichten typischen Feinkornanteil und bestätigen damit die Felderkundung.

An zwei Probenkörpern aus der Bohrung BK 171 wurden durch das Baustofflabor der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden die einaxialen Druckfestigkeiten entsprechend den Empfehlungen Nr. 1 des Arbeitskreises "Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) von 2004 bestimmt.

Bei diesem Verfahren zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit wird ein zylindrischer Versuchskörper mit einem Verhältnis Durchmesser d zur Länge l zwischen $1,5 d < l < 2,5 d$ in einer Prüfmaschine einer einaxial wirkenden Druckbelastung unterworfen. Die Belastung wird bis zum Bruch gesteigert. Auf Grundlage der Prüfkörpergeometrie wird aus der erreichten maximalen Druckspannung die einaxiale Druckfestigkeit σ_{u1} ermittelt.

In nachfolgender Tabelle 2.4-4 sind die Ergebnisse der durch die HTW durchgeführten Versuche zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit zusammengefasst.



Boh-rung	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	$\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]
BK 171	11,3 - 11,5	7b	Sst	45,0
BK 171	15,0 - 15,2	7b	Sst	38,8

Tabelle 2.4-4: Versuchsergebnisse Einaxialer Druckversuch

Die beiden Ergebnisse liefern für den unverwitterten Sandstein im Mittel eine einaxiale Druckfestigkeit von 41,9 MN/m².

Um eine breitere Basis für die Einschätzung der Druckfestigkeit der Gesteine zu erhalten, wurden zusätzlich **2 Punktlastversuche** durchgeführt (Anlage 5.5). Dieser Versuch erlaubt auch eine Versuchsdurchführung an geringer festen Gesteinen, allerdings auch an Restbruchstücken, die eine höhere Versuchsfestigkeit erwarten lassen. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 2.4-4 zusammengefasst und bestätigen generell die Ergebnisse der einaxialen Druckversuche. Es wird aber erwartungsgemäß ein geringerer Mindestwert und einen höheren Maximalwert ermittelt. Die Abschätzung der einaxialen Druckfestigkeit erfolgte unter Bildung eines Mittelwerts unter Verwendung der angegebenen Formeln mit $\sigma_c = I_{s(50)} \times 24$ (ISRM) und $\sigma_c = I_{s(50)} \times 22$ (HUDSON).

Boh-rung	Tiefe [m]	Schicht	Bodenart	$\sigma_{c,k}^{1)}$ [MN/m ²]
BK 171	12,4 - 12,6	7b	Sst	32,2
BK 171	12,4 - 12,6	7b	Sst	58,0

1) Mittelwert aus Abschätzung der Ergebnisse nach ISRM und HUDSON

Tabelle 2.4-4: Versuchsergebnisse der Punktlastversuche.

2.5 Geotechnische Besonderheiten

Nach DIN EN 1998-1 / NA:2011-01 liegt das Baufeld in der **Erdbebenzone I**. Der Untergrund ist der geologischen **Untergrundklasse R** (Gebiet mit felsartigem Gesteinsuntergrund) und der **Baugrunderklassen A bis C** (unverwittert bis stark verwittert) einzuordnen.



Das Baufeld befindet sich nach RStO 12 im **Frosteinwirkungszone II** bzw. nach RIL 836 in **Frosteinwirkungsgebiet II**.

Das Projektgebiet befindet sich laut [U 7] im **Naturpark** Schwarzwald Nord/Mitte (Schutzgebiet-Nr.7) und liegt östlich des **Biotops Gehölze** an der ehemaligen Bahnlinie Althengstett (Biotop-Nr. 172182350186).

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

Schicht	Beschreibung
1b Auffüllungen (gemischtkörnig)	leicht bis mittelschwer rammpbar, mit Rammphindernissen ist zu rechnen
1c Gleisschotter	leicht bis schwer rammpbar
2a Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	leicht bis mittelschwer rammpbar, mit Rammphindernissen ist zu rechnen
2c Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen	leicht bis mittelschwer rammpbar
7a Rötton, verwittert	schwer rammpbar ¹⁾
7b Rötton unverwittert/angewittert	schwer bis nicht rammpbar ¹⁾

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

Tabelle 2.5-1: Rammpbarkeit der Bodenschichten

Bei mittelschwer und schwer rammpbaren Böden und Böden die Rammphindernisse enthalten können (Schicht 1b, 2a, 7a und Schicht 7b) ist bei Rammparbeiten davon auszugehen, dass die Arbeiten ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen (z.B. Lockerungs- bzw. Austauschbohrungen) möglich sind. Dies ist im Zuge der weiteren Planung und bei der Ausschreibung zu beachten.



3. BODENKENNWERTE

3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke

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

Nr.	Kurzzeichen	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frostempfindlichkeit ¹⁾	Verdichtbarkeit ²⁾
			DIN 18 196	DIN 18 300	DIN 18301		
1b	-	Auffüllungen (gemischtkörnig)	GW, GU, GU*	3 - 5 (6 - 7) ³⁾	BN 1 - BN 2, BS 1 - BS 4	F1 - F3	V1 - V2
1c	-	Auffüllung (Gleisschotter)	GE	3 - 4	BN 1 BS 1	F1	V1
2a	-	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	UL, TL, TM, TA, GT, GU*	3 - 5 (2 ⁶⁾)	BN 1 - BN 2, BB 2 - BB 3, BS 1 - BS 4	F2 - F3	V1 - V3 ³⁾
2c	-	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	UL, TL, TM, TA, GT, GU*, OU, OT	3 - 5 (2 ⁶⁾)	BB2 - BB 3, (BS 1 - BS 2) (BO 1)	F2 - F3	V1 - V3 ³⁾
7a	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) verwittert	UL, UM, TL, TM, SU*, ((Tst)), ((Ust)), ((Sst)) (Tst), (Ust), (Sst) ⁴⁾	5, 6	BN 2, BB 2 - BB 4, BA 1 - BS 4, (FV 1 - FV 3, FD 1) BS 1	F2 - F3	V2 - V3 ⁵⁾
7b	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) unverwittert/ angewittert	Tst, Ust, Sst ⁴⁾	6 - 7	FV 4 - FV 6, FD 2 - FD 3	Fels	Fels

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

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

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

4) Bodenklasse 6 und 7 bei entsprechendem Steinanteil und Schutt

5) Bezeichnung nach DIN 4023

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

Tabelle 3.1-1: Bodenklassifizierung



3.2 Bodenkennwerte

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

Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden γ_k [kN/m ³]	Wichte unter Auftrieb γ_k' [kN/m ³]	Reibungswinkel ϕ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Undrainierte Kohäsion $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steifemodul $E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
1b	Auffüllungen (gemischtkörnig)	18 - 19	10	25 - 30	2	5 - 10	5 - 15
1c	Auffüllung (Gleisschotter)	18	10	37,5	-	-	40 - 60
2a	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	20	10,5	25	10	35	8 - 12
2c	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	18,5	8,5	22,5 - 25	5 - 10	5 - 30	5 - 10
7a	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) verwittert	21	11	27,5	15	35	25

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

Tabelle 3.2-1: Charakteristische Bodenkennwerte

Die Werte gelten, sofern nicht anders angegeben, für mindestens mitteldicht gelagerte bzw. mindestens steife bis halbfeste Böden.

3.3 Felsmechanische Kennwerte

Für das im Baufeld anstehende Festgestein lassen sich die folgenden charakteristischen Kennwerte angeben. Die Werte gelten für angewittertes bis frisches Gebirge, sofern nicht anders angegeben.



Schicht-Nr.	Formation	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Rei- bungs- Winkel φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Einax. Druckfes- tig-keit Gestein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-Modul Gebirge $E_{s,k}$ [MN/m ²]
7b	soR	Tst, Ust, Sst	26,5	35	≥ 0	5 - 50 ²⁾	400 - 5.000

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

2) maximale und minimale Werte, je nach Verwitterung, Einzelwerte ggf. höher

Tabelle 3.3-1: Charakteristische felsmechanische Kennwerte

4. FOLGERUNGEN

4.1 Gründung EÜ

Nach den vorliegenden Angaben [U 8] weist die geplante EÜ eine lichte Weite von 9,25 m und eine lichte Höhe von 4,8 m auf. Die Widerlager der geplanten EÜ liegen auf beiden Seiten in einer Tiefe von 498,3 mNN. Unterhalb des östlichen Widerlagers ist ein ca. 1,5 m mächtiger Bodenaustausch (496,7 mNN) geplant [U 8] und unterhalb des westlichen Widerlagers ein ca. 0,7 m mächtiger Bodenaustausch (497,5 mNN) [U 8]. Die Mächtigkeit des jeweils herzustellenden Bodenaustauschs ist so geplant, dass die Gründungssohle auf der jeweiligen Höhe der vorhandenen Gründungssohle der bestehenden EÜ zu liegen kommt.

Die Unterkante des Bodenaustauschs kommt in den Schichten des verwitterten bis angewitterten / unverwitterten Buntsandsteins, Rötton-Formation (Schicht 7a / 7b) zu liegen. Die oberhalb anstehenden, schlecht tragfähigen Böden der Schicht 2 werden somit ausgetauscht. Der je nach Lage mehr oder weniger stark verwitterte Sand- und Schluffstein der Schicht 7a / 7b ist je nach Feinkornanteil als Gründungshorizont geeignet. Es ist ggf. eine Nachverdichtung der Gründungssohle erforderlich.

Bei der Gründung im Bereich der bestehenden Widerlager ist trotz der Vorkonsolidierung zu prüfen, ob die Gründungssohle nach den heutigen Vorgaben ausreichend tragfähig ist und ob sie von dem erkundeten Bodenaufbau abweicht. Die alten Widerlager sind sachgemäß und vorsichtig zu



entfernen, so dass der Baugrund und das ggf. vorhandene Gründungspolster nicht unnötig gestört werden.

4.2 Böschungstreppe

Östlich des Widerlagers soll eine Böschungstreppe hergestellt werden. Die frostsichere Gründung der Treppe muss unter Berücksichtigung des Frosteinwirkungsgebiets bei mind. 1,0 m unter GOK liegen. Die anstehenden, gemischtkörnigen Auffüllungen (Schicht 1b), in denen die Gründung der Treppe voraussichtlich erfolgen wird, sind für eine Gründung nicht geeignet. Es wird daher ein Bodenaustausch erforderlich. Der Bodenaustausch hat mit einem seitlichen Überstand zu erfolgen der mindestens die Mächtigkeit des Bodenaustauschs beträgt. Es ist ein gut verdichtbares, rolliges, steinfreies Material (Bodenklasse nach DIN 18196: GW, SW, GI, SI) einzusetzen.

4.3 Baugruben

Für die Widerlager sind Aushubtiefen im bestehenden Bahndamm bis zu ca. 9,4 m unter OK Damm zu erwarten. Damit liegt die Baugrube in den verwitterten bis angewitterten Sand- und Schluffsteinen der Schicht 7a/7b. Um die temporäre Standsicherheit der Ausgrabungen zu gewährleisten, hat die Ausführung der Arbeiten entsprechend DIN 4124 zu erfolgen.

Aufgrund der teilweise rolligen Böden in der Schicht 1b darf nach DIN 4124 eine Böschungsneigung von max. 45° ausgeführt werden, sofern insbesondere die Bedingungen der Ziffer 4.2.5 nicht einen rechnerischen Nachweis erfordern und soweit ausreichend Platz zur Verfügung steht. Bei dieser Böschungsneigung ist nicht auszuschließen, dass es zu Ausbrüchen kommen kann. Die Gesamtstandsicherheit der Böschung wird dabei jedoch nicht gefährdet.

Sollen Ausbrüche vollständig vermieden werden, sind Böschungen flacher abzuböschten. Es ist aber, solange der Böschungswinkel größer als der Reibungswinkel (siehe Tabelle 3.2-1) ist, nicht gänzlich auszuschließen, dass es zu lokalen Ausbrüchen kommt. Hergestellte Böschungen sind mit Planen, bzw. Kunststoffolie vor Durchnässung zu schützen.

Kann die Baugrube aus Platzgründen nicht geböscht ausgeführt werden, so ist die Baugrube zu verbauen. Entlang der Straße wird voraussichtlich ein Teilverbau erforderlich; hier muss eine Be-



einflussung der Straße und der vermutlich darin verlegten Versorgungsleitungen ausgeschlossen werden. Als Verbauarten sind grundsätzlich folgende Möglichkeiten vorhanden:

- Bohrträgerwände,
- Spundwände

Aufgrund der zu erwarteten Einbindung in die Ton- und Sandsteinschichten (Schichten 7 und 8) bzw. der sehr schweren bis nicht vorhandenen Rammbarkeit dieser Schichten wird für eine Spundwand und andere rammende Verfahren sind Zusatzmaßnahmen erforderlich (vgl. Kap. 2.5).

Bei **Bohrträgerwänden** sind die Stahlträger aufgrund erwarteter Schwierigkeiten beim Rammen in vorgebohrte Bohrungen einzustellen (vgl. Kap. 2.5).

Bohrträgerwände bestehen aus senkrechten Tragelementen, die entlang der geplanten Baugrubenwand von der Geländeoberfläche aus in vorbereitete Bohrlöcher eingestellt werden. Die Felder zwischen den Trägern werden während des Baugrubenaushubs schrittweise durch einen Verbau aus i.d.R. Holz oder Spritzbeton geschlossen. Bohrträgerwände sind wasserdurchlässig und können somit nur oberhalb des Grundwassers oder im Schutze einer Grundwasserabsenkung hergestellt werden. Bei einer Spritzbetonausfachung ist die Wasserdurchlässigkeit künstlich herzustellen (z. B. Drainierung), um den Aufbau eines Wasserdrucks hinter der Verbauwand zu verhindern. Holzausfachungen sind im Druckbereich einer in Betrieb befindlichen Bahnstrecke nach Ril 836.2001 nicht zulässig.

Da der Betrieb auf der Hermann-Hesse-Bahn stillgelegt ist, unterliegt eine Holzausfachung außer den Verformungsrandbedingungen keiner weiteren Einschränkung. Für den dauerhaften anschließenden Bahnbetrieb jedoch wäre die Holzausfachung vollständig zurück zu bauen und durch gut verdichteten Ersatzboden zu verfüllen.

Mit einer zunehmenden Tiefe ist bei einer Ausführung des Baugrubenverbaus mit größeren Verformungen und somit mit einer größeren Anzahl statisch erforderlicher Lagen von Aussteifungen bzw. Rückverankerungen zu rechnen. Es muss davon ausgegangen werden, dass entsprechende Maßnahmen für den Verbau erforderlich sind.

Um Auflockerungen des Planums möglichst gering zu halten, ist der Aushub mit gerader Schneide herzustellen. Das Erdplanum darf nicht befahren werden und es darf nur rückschreitend gearbeitet werden, da die anstehenden z.T. bindigen Böden sonst in weiche und breiige Konsistenzen (Bo-



denklasse 4 in Bodenklasse 2 nach DIN 18300) übergehen können. Ein Vernässen der bindigen Bodenschichten durch Niederschlagswasser ist zu vermeiden, aufgeweichte und aufgelockerte Bereiche sind abzutragen.

Für die **Verfüllung von Arbeitsräumen** ist gemäß Ril 8360.4106 und ZTV E-StB 09 ein rolliges, gut verdichtbares, steinfreies Material, (Bodenklassen nach DIN 18 196: GW, SW, SI, GI) zu verwenden. Der Boden ist lagenweise (max. 30 cm) einzubauen und auf mindestens $D_{Pr} = 100 \%$ zu verdichten. Die Hinterfüllung des Bauwerkes ist entsprechend Ril 8360.4106, Bild 2 auszuführen, weiterhin ist das „Merkblatt für den Einfluss von Hinterfüllungen auf Bauwerke“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswegebau (1994), die ZTV E-StB 09, Kapitel 10 zu beachten.

Der **Aushub** der Maßnahme erfolgt überwiegend in den Bodenklassen 4 und 5, es können auch - je nach Verwitterungsgrad und dem Auftreten von Steinen und Blöcken - die Bodenklassen 6 und 7 auftreten. Für den **Wiedereinbau** für Hinterfüllungen und Grabenfüllungen ist der Aushub aus den Schichten 1b, 2a und 2c aufgrund der schlechten Verdichtbarkeit **nicht geeignet**, bzw. nur mit aufwändigen Zusatzmaßnahmen (z.B. Bodenstabilisierung mit Kalk bzw. Zement) ausführbar.

4.4 Wasserhaltung

Die erforderlichen Baugrubensohlen werden voraussichtlich oberhalb des festgelegten Bauwasserstands liegen. Von Bedeutung ist jedoch das Schicht- und Sickerwasser, das sich sowohl in bzw. auf den bindigen Böden im gesamten Projektgebiet aufstauen kann, bzw. in Form von Sickerwasser aus Böschungen bis auf Höhe der GOK austreten kann. Kurzzeitig können beim Ausbluten von Schichtwasser auch größere Wassermengen anfallen.

Es ist daher während der Bauzeit eine offene (Rest-) Wasserhaltung zur Fassung und Ableitung von eventuell anfallendem Schicht-, Stau- und Sickerwässern sowie Oberflächenwasser erforderlich.

4.5 Nachbarbebauung

Es wird davon ausgegangen, dass die bestehende EÜ vollständig abgebrochen bzw. zurückgebaut wird. Die Bauarbeiten beeinflussen die benachbarten Gleise nicht, da die Strecke stillgelegt ist. Im



Zuge der Wiederinbetriebnahme der Strecke ist eine Erneuerung des Oberbaus geplant. Für den Bau der EÜ hat dies nach unserem Kenntnisstand keine Auswirkungen, da der Gleisbau nach dem Neubau der EÜ erfolgen soll. Dafür wird der Oberbau der bestehenden Gleise komplett ersetzt.

Im Zuge der Bauablaufplanung muss eine Abstimmung von Streckenbau und Neubau der EÜ erfolgen, falls die vorhandenen Gleise für Baufahrzeuge befahrbar bleiben sollen.

Im Baufeld befindliche Leitungen sind zu sichern und ggf. zu verlegen.

Es ist zu prüfen, ob die überführte Gottlieb-Braun-Straße während des Neubaus gesperrt werden kann. Im Falle, dass die Straße befahrbar bleiben muss, wird eine Sicherung der Straße erforderlich.

4.6 Zusammenfassende Bewertung

Die Gründungsverhältnisse werden in der Tabelle 4.6-1 zusammenfassend beurteilt. Insgesamt ist aufgrund der erforderlichen Zusatzmaßnahmen von ungünstigen Gründungsverhältnissen auszugehen.

Baugrundeigenschaften	günstig	mittel	ungünstig	Bemerkungen
Tragfähigkeit		(X) X	X	Schluffstein, Tonstein, z. T. verwittert zersetzt Sandstein
Frostempfindlichkeit			X	bindige Böden
Verdichtungsfähigkeit			X	bindige Böden
Wiedereinbaufähigkeit			X	bindige Böden
Lösbarkeit	X	(X)	(X)	bis zur Gründungsebene Bodenklassen 3 - 5 (ggf. 6 und 7)
Grundwasserstand		X		Bemessungswasserstand auf GOK, offene (Rest-) Wasserhaltung voraus. ausreichend



Baugrundeigenschaften	günstig	mittel	ungünstig	Bemerkungen
Besonderheiten: Nachbarbebauung			X	Bahnstrecke, Gottlieb-Braun-Straße

Tabelle 4.6-1: Klassifizierung der Baugrundverhältnisse.

Unter Berücksichtigung der Komplexität der Gründungsarbeiten wird das Bauwerk in die geotechnische Kategorie 2 nach Normenhandbuch EC 7 eingeordnet.

5. EMPFEHLUNGEN

5.1 Gründung EÜ

Das Bauwerk kann grundsätzlich auf derselben Höhe wie die bestehende EÜ flach gegründet werden. Eine Gründung in dem anstehenden Verwitterungslehm der Schicht 2a ist nur mit einer Baugrundverbesserung z.B. in Form eines ca. 1,0 m mächtigen Bodenaustauschs durchführbar. Der Bodenaustausch unter einer Flachgründung hat mit einem seitlichen Überstand mindestens in Auftragsstärke zu erfolgen der mindestens die Mächtigkeit des Bodenaustauschs beträgt. Es ist allerdings geplant die Gründung auf den vermutlich bestehenden Bodenaustausch der Bestandsbrücke abzusetzen. Dieser ist ggf. nachzuverdichten

Soweit ein neuer, zusätzlicher Bodenaustausch ausgeführt wird, ist das Material nach ZTVE-StB 09, Ziffer 4.3.2, auf $D_{pr} = 100\%$ zu verdichten. Der Einbau hat lagenweise erfolgen. Eine erste Lage von 0,1 m ist einzuwalzen, darauf sind Lagen von maximal 0,3 m einzubauen und statisch zu verdichten. Ab 0,3 m über Erdplanum darf auch dynamisch verdichtet werden. Die Verdichtung des Bodenaustauschs muss durch Überwachungsversuche gewährleistet werden. Der Bodenaustausch ist filterfest an den bindigen Boden anzuschließen, bei einer Gesteinskörnung 0/45 ist dies in baupraktisch ausreichendem Umfang gegeben. Für den Bodenaustausch sind Baugruben mit entsprechenden Tiefen unterhalb des Straßenniveaus erforderlich (vgl. Kap. 5.3).

Das Erdplanum für eine Plattengründung bzw. den Bodenaustausch ist mit einem geeigneten Quergefälle ($\geq 3\%$) idealerweise in einem Dachprofil herzustellen, um eine funktionierende Planumsdrainage zu gewährleisten. Der Aushub ist, um Auflockerungen des Planums möglichst



gering zu halten mit gerader Schneide herzustellen. Das Erdplanum darf nicht befahren werden und es darf nur rückschreitend gearbeitet werden. Ein Vernässen der bindigen Bodenschichten durch Niederschlagswasser ist zu vermeiden, aufgeweichte und aufgelockerte Bereiche sind abzutragen.

Der nachfolgenden Tabelle 5.1-1 sind die Bemessungswerte des Sohlwiderstands für Streifenfundamente mit einer Auflage von 1,0 m (neu oder Bestand) mit rolligem, gut verdichtbarem Material zu entnehmen.

kleinste Einbindetiefe des Fundaments [m]	Bemessungswert $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands [kN/m ²] b bzw. b'			
	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m
1,0	420	450	460	390
1,5	550	530	430	410
2,0	650	580	480	430

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

Tabelle 5.1-1: Bemessungswert des Sohlwiderstands für Streifenfundamente in Schicht 7a für Fundamentbreiten b bzw. b' von 0,5 m bis 2,0 m unter Berücksichtigung eines Bodenaustauschs von 1,0 m (neu oder Bestand).

Zwischenwerte dürfen interpoliert werden. Die zu erwartenden Setzungen werden bei mittig belasteten Fundamenten ca. 2 cm betragen. Die in der obenstehenden Tabelle angegebenen Bemessungswerte gelten auf Grundlage der im Handbuch EC 7, Geotechnische Bemessung, Band 1, Tabelle A 6.3 genannten Anforderungen. Im Weiteren verweisen wir auf die entsprechenden Vorgaben nach EC 7-1, A 6.10.1, A 6.10.2 und A 6.10.3. Die Gründung ist in frostfreier Tiefe mindestens 1,0 m unter Geländeoberfläche vorzusehen.

Die angegebenen Bemessungswerte gelten unter der Voraussetzung, dass die Sohldruckresultierende eine Neigung von $\tan \delta = H/V \leq 0,2$ einhält. Siehe hierzu die entsprechenden Vorgaben nach EC 7.

Für eine Berechnung der Widerlagergründung mit dem Bettungsmodulverfahren auf dem wie oben beschriebenen Gründungsplanum der Schicht 7a mit einem Bodenaustausch mit rolligem, gut ver-



dichtbarem Material kann für lotrechte und mittige Belastungen ein **Bettungsmodul von $k_{s,k} = 15 \text{ MN/m}^3$** angesetzt werden. Es ist je nach Fundamentbreite und unter Berücksichtigung der Aushubentlastung bei voller Auslastung von Setzungen in der Größenordnung bis ca. 2 cm auszugehen, die sich erst allmählich einstellen wird. Systembedingt darf der Bettungsmodul am Rand der Fundamente auf einem Streifen mit einer Breite von 0,5 – 1,0 m auf den doppelten Wert erhöht werden.

Der Bettungsmodul ist keine Baugrundkonstante sondern ist maßgeblich von der Lastfläche und der Laststellung, der Baugrundsteifigkeit und der Steifigkeit der Baukonstruktion abhängig. Daher stellt die angegebene Bettungsziffer lediglich einen Mittelwert dar, der sich aus einer angenommenen Bodenpressung und den sich daraus ergebenden Setzungen ableitet und ist daher im weiteren Planungsprozess zu überprüfen.

Aufgrund der durch den Aushub entstehenden Entlastung des anstehenden Untergrundes und des nicht wesentlich höheren Eigengewichts der Widerlager sind durch das Bauwerk nur geringe Setzungen zu erwarten.

5.2 Böschungstreppe

Die gemischtkörnigen Auffüllungen der Schicht 1b sind für die Gründung der Böschungstreppe nicht geeignet. Es werden daher Zusatzmaßnahmen zur Baugrundverbesserung z.B. in Form eines Bodenaustauschs notwendig.

Für den Bodenaustausch sind nicht frostempfindliche Bodenarten nach Ril. 836.4104 vorzusehen. Es handelt sich dabei um Bodenarten wie GW, GE, SE, SI gemäß DIN 18 196, wobei die Bodenarten GE und SE nur bei einem Ungleichförmigkeitsgrad von $U \geq 3$ verwendet werden dürfen. Es gelten des Weiteren die Festlegungen des Kapitels 5.2 zum Bodenaustausch (Überstand, Einbauanweisung, etc.)

5.3 Baugrube

Da voraussichtlich ausreichend Platz zur Verfügung steht (falls die Durchfahrt durch die Gottlieb-Braun-Straße gesperrt wird), können die Baugruben geböscht hergestellt werden. Nach DIN 4124



können die Baugruben in den rolligen und gemischtkörnigen (enthalten auch bindige Böden) Auffüllungen mit 45° geböschet werden. Selbst bei dieser Böschungsneigung können kleinere Ausbrüche aus den Baugrubenböschungen nicht ausgeschlossen werden. Erst mit flacheren Böschungsneigungen sind die Böschungen im Grenzgleichgewicht, bei denen nicht mehr mit nennenswerten Nachbrüchen zu rechnen ist.

Im Falle von eingeschränkten Platzverhältnissen oder falls die Straße nicht gesperrt wird, wird ein Baugrubenverbau erforderlich. Die Herstellung der Baugruben kann je nach Aushubtiefe im Schutze eines Bohrträgers- oder Spundwandverbaus erfolgen. In Bezug auf die Rammbarkeiten verweisen wir auf die diesbezüglichen Ausführungen in Kapitel 2.5.

Die bodenmechanischen Rechenwerte für die Standsicherheitsberechnungen des Baugrubenverbaus können der Tabelle 3.2-1 entnommen werden. Für die Bemessung einer Verbauwand darf der Wandreibungswinkel für Bohrträgerwände und Spundwände höchstens mit $|\delta_{a/p}| = 2/3 \phi'_k$ angesetzt werden.

Aufgrund der an die Baugrube angrenzenden Gleise ist, falls es zu keiner Bewegung kommen soll, ein auf der vollen Höhe der Baugrube angeordneter Baugrubenverbau auf **erhöhten aktiven Erddruck** ($0,5 \times e_a + 0,5 \times e_0$) zu bemessen. Wenn ein Baugrubenverbau mit einer Kopfböschung von mindestens 1/3 der Aushubhöhe ausgeführt werden kann und im unmittelbaren Einflussbereich der Verbauwand (Erddruckkeil) keine weiteren Verkehrsflächen oder Versorgungsleitungen liegen, kann die Verbauwand auf aktiven Erddruck bemessen werden.

Die beim Aushub anfallenden gemischtkörnigen Auffüllungen sind aufgrund der vorhandenen Frostempfindlichkeit und der eher schlechten Verdichtungsfähigkeit je nach Feinkornanteil nur bedingt wiederverwendbar.

Die teilweise bindigen Auffüllungen der Schicht 1b und die bindigen Tone und Schluffe der Schicht 2a und 2c können bei Wassersättigung (Schicht / Sickerwasser) und Lagerungsstörungen (z.B. dynamischer Belastung durch Baufahrzeuge) von Bodenklasse 4 in die Bodenklasse 2 nach DIN 18300 übergehen und sind dann nur eingeschränkt bautechnisch nutzbar.



5.4 Wasserhaltung

Für die Herstellung der Baugruben ist eine offene (Rest-) Wasserhaltung oberhalb des Bauwasserstandes ausreichend. Anfallendes Schicht-, Stau- und Sickerwasser ist zusammen mit dem Niederschlagswasser in Pumpensümpfen zu fassen und abzuführen. Das Planum ist mit entsprechendem Gefälle von $\geq 3\%$ herzustellen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die Ableitung von Tag- und Niederschlagswasser Nebenleistung nach DIN 18 299 ist. Das Planum ist mit entsprechendem Gefälle $\geq 3\%$ herzustellen.

5.5 Sonstige Empfehlungen

Vor Herstellung der Gründungselemente ist der anstehende Baugrund und die Gründungssohle gemäß Normhandbuch EC 7-1, Abs.4.3.1 (1)P durch uns zu kontrollieren und abzunehmen.

Eine Baugrunderkundung ist naturgemäß eine **stichprobenartige Bestandsaufnahme**, die zwischen den Aufschlüssen interpoliert. Abweichungen in gewissem Umfang sind somit nicht gänzlich auszuschließen.

Sollten geotechnische Fragen auftreten, die im vorliegenden Gutachten nicht bzw. nicht ausreichend behandelt wurden, oder sollten sich Abweichungen bzw. Abänderungen in den Planungen bzw. Annahmen ergeben, die diesem Gutachten zugrunde gelegt wurden, so ist die Dr. Spang GmbH vom Auftraggeber zu informieren und zu einer ergänzenden Stellungnahme aufzufordern. Bei Abweichungen der angetroffenen Bodenverhältnisse von den in diesem Gutachten beschriebenen sind wir umgehend zu benachrichtigen.

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

(gezeichnet)

Dipl.-Ing. Christian Spang
(Geschäftsführer)

i.A.

Stefanie Saalbach M.Sc.
(Projektgeologin)



DR. SPANG

Projekt: 35.4130

Seite 29

22.04.2016

- Verteiler:**
- Mailänder Consult GmbH, Herr Krannich, 3 x, davon 1 x vorab per Mail an <tkrannich@mic.de>
 - Landratsamt Calw, Herr Schwolow, 1 x per Mail an <holger.schwolow@kreis-calw.de>
 - Dr. Spang GmbH, Esslingen, 1 x