



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	P4130s150917_ZOB.docx	CI/Mü	Esslingen	17.09.2015

Planung Hermann-Hesse-Bahn Haltepunkt Calw ZOB

- Baugrundgutachten und Gründungsempfehlung -

Vertrag 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: DEUTDE33HAN



INHALT	SEITE
1. ALLGEMEINES	4
1.1 Projekt	4
1.2 Auftrag	5
1.3 Unterlagen	5
1.4 Untersuchungen	6
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	7
2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung	7
2.2 Baugrund	7
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	10
2.4 Feldversuche	12
2.5 Laborversuche	12
2.5.1 Bodenmechanische Laborversuche	12
2.5.2 Felsmechanische Laborversuche	12
2.6 Geotechnische Besonderheiten	14
3. BODENKENNWERTE	15
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	15
3.2 Bodenkennwerte	16
3.3 Felsmechanische Kennwerte	17
4. FOLGERUNGEN	18
4.1 Gründung	18
4.2 Baugrube	20
4.3 Grundwasserhaltung	20
4.4 Nachbarbebauung	20
4.5 Zusammenfassende Bewertung	20
5. EMPFEHLUNGEN	22
5.1 Gründung	22
5.2 Baugruben	26
5.3 Wasserhaltung / Abdichtung	28
5.4 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 : 1.000 / 1 : 100 (2)
- Anlage 4: Ergebnisse der Baugrundaufschlüsse (1)
- Anlage 4.1: Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)
- Anlage 4.2: Bohrsondierungen (BS) (4)
- Anlage 4.3: Schwere Rammsondierung (DPH) (2)
- Anlage 4.4: Kernbohrungen (BK) (3)
- Anlage 5: Laborversuche (1)
- Anlage 5.1: Wassergehalte (1)
- Anlage 5.2: Einaxiale Druckversuche (1)
- Anlage 5.3: Punktlastversuche (1)
- Anlage 6: Kernfotos (4)
- Anlage 7: Vermessungsdaten (2)



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 Bereich des Bahnhofs Calw befinden sich die Gleise der Hermann-Hesse-Bahn auf einer Terrasse von zirka 10 m Breite. Westlich der Terrasse steigt das Gelände in einer Felsböschung steil an, im Osten fällt das Gelände zirka 10 bis 13 m zum ZOB-Calw und dem Haltepunkt der Nagoldbahn hin ab [U 1].

Am Zentralen Busbahnhof Calw, zwischen km 47,5 bis km 47,7, ist der Neubau eines 55 m langen (optionale Verlängerung um 30 m auf 85 m) und mindestens 2,5 m breiten Bahnsteigs geplant. Die Höhe des Bahnsteigs soll 0,55 m über SOK betragen (mit Planung für optionale Aufhöhung auf 0,96 m ü. SOK) [U 8].

Ebenfalls ist der Neubau eines Fußgängerstegs über die bestehende Nagoldbahn geplant, um eine Verbindung zwischen dem geplanten Bahnsteig und dem bestehenden ZOB-Calw herzustellen. Der geplante Bahnsteig liegt zirka 10 bis 13 m höher als der bestehende Haltepunkt der Nagoldbahn. Zur Erstellung des Treppenaufgangs und des Aufzugschachts des geplanten Fußgängerstegs soll der bestehende Aufzugturm des Parkhauses ZOB-Calw erweitert werden. Der Fußgängersteg soll nach Planung Höhengleich mit dem geplanten Haltepunkt der Hermann-Hesse-Bahn auf zirka 360 mNN verlaufen [U 8].

Zudem soll eine Rettungszuwegung vom geplanten Bahnsteig in südliche Richtung entlang der Gleise verlaufen und ungefähr bei km 47,7 die Bahnstrecke queren, um einen Anschluss an den oberhalb verlaufenden Fußweg zu gewährleisten [U 8].



1.2 Auftrag

Auf Basis des Angebotes A 35.7600 wurde die Dr. Spang GmbH beauftragt, für das o.g. Bauvorhaben eine Baugrunderkundung durchzuführen und eine Gründungsberatung zu erarbeiten. Das vorliegende Gutachten behandelt nur den Neubau Haltepunkt Calw. Ergebnisse und Empfehlungen zum Streckenbau in diesem Bereich folgen in einem gesonderten Gutachten mit den anderen Bereichen der Strecke.

1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] Bahnstrecke Calw - Weil der Stadt, Strecke zwischen km 26,50 und km 48,15, Böschung und Einschnitte, Baugrundbeurteilung sowie Zustandsbeurteilung und Sanierungsempfehlungen für die Stützbauwerke; Dr. Spang GmbH, Esslingen, 28.04.2008.**
- [U 2] Bahnstrecke Calw - Weil der Stadt, Strecke zwischen km 26,50 und km 48,15, Variante Stilllegung, Kostenschätzung, Dr. Spang GmbH, 22.02.2012**
- [U 3] Bahnstrecke Calw - Weil der Stadt, Strecke zwischen km 26,50 und km 48,15, Dokumentation der Begehung 06.04. und 07.04.2006, Dr. Spang GmbH, 29.06.2006**
- [U 4] B 296, Kernstadumfahrung Calw, Tunnel Calw; Dr. Spang GmbH, Witten, 30.07.2010.**
- [U 5] Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg; <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>.**
- [U 6] Geologische Karten von Baden-Württemberg, Blatt 7218, Calw, 1:25.000 mit Erläuterung; Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart, Ber. Auflage 1982.**
- [U 7] Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg; Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg i.Br., 2005.**



- [U 8] **Planunterlagen Wiederinbetriebnahme der Strecke Weil der Stadt - Calw**, Mailänder Consult, August 2015.
- [U 9] **DB Richtlinie Bautechnik, Leit-, Signal- u. Telekommunikationstechnik, Bahnsteige konstruieren und bemessen, Ril. 813.0201**; DB Station&Service AG, 15.10.2005.
- [U 10] **RStO 12, Richtlinie für die Standardisierung des Oberbaus von verkehrsflächen**; Ausgabe 2012.
- [U 11] **Erkundung, Reaktivierung Hermann-Hesse-Bahn durch die Fa. Burkhardt**; Juni/Juli 2015.
- [U 12] **Hermann-Hesse-Bahn, Reaktivierung der Bahnstrecke Weil der Stadt – Calw, Streckengutachten**; Dr. Spang GmbH, Esslingen, Oktober 2015.
- [U 13] **Grundbautaschenbuch**, Karl Josef Witt, 7. Auflage; Ernst und Sohn, Berlin, 2009.

1.4 Untersuchungen

Im Untersuchungsbereich wurden im Juni und Juli 2015 durch die Fa. Heinz Burkhardt GmbH & Co. KG im Auftrag des LRA Calw **1 Kernbohrung**, sowie **2 Bohrsondierung** und **2 schwere Rammsondierungen** (DPH) nach DIN 4094-4 durchgeführt. Bereits im Jahr 2009 wurden zur Planung eines möglichen Straßentunnels **2 Kernbohrungen** im Untersuchungsgebiet abgeteuft.

Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der Din EN ISO 14 688 und DIN ISO 14 689 geotechnisch aufgenommen und nach DIN 18 196 gruppiert sowie nach DIN 18 300 klassifiziert. Die Ergebnisse der Bohrkernaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 3 dargestellt.

An Proben aus der 2015 durchgeführten Kernbohrung wurden bodenmechanische und felsmechanische Versuche zur Ermittlung von Kennwerten durchgeführt. Es wurde an einer der Proben Wassergehalt bestimmt. Weiterhin wurden 16 Punktlastversuche und ein einaxialer Druckversuch an Felsproben durchgeführt.



Sämtliche Aufschlusspunkte aus dem Jahr 2015 wurden durch die Firma Heinz Burkhardt GmbH & Co. KG eingemessen. Die Vermessungsdaten sind in Anlage 9 dargestellt.

2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie, Vegetation und Bebauung

Die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn verläuft im Untersuchungsgebiet (km 47,5 - 47,7) in Calw aus nördlicher Richtung kommend entlang des westlichen Hangs des Nagoldtals. Die Strecke fällt von ca. 360 mNN bei km 47,5 auf ca. 358 mNN bei km 47,7.

Westlich der Bahnstrecke steigt das Gelände in einer Felsböschung ca. 15 m bis 20 m steil an, darüber folgt ein ca. 20 m ansteigender natürlicher Hang. Östlich der Bahnstrecke fällt das Gelände, zum Haltepunkt der Nagoldbahn, ca. 10 bis 13 m in einer steilen Felsböschung hin ab.

Am Kopf der östlichen Böschung verläuft ein Fußweg. Die nächsten Wohnhäuser liegen ca. 25 m östlich dieses Fußwegs. An Fuß der westlichen Böschung schließt das Gleisbett der Nagoldbahn an. An dessen westlicher Seite befindet sich der Haltepunkt Calw und das Parkhaus Calw-ZOB.

Die künstliche Felsstufe der Hermann-Hesse-Bahn ist von Ruderalvegetation und Bäumen (bis zu 10 cm Stammdurchmesser) bewachsen. Die westlich folgende Felsböschung ist nur schwach bewachsen, der darauf folgende natürliche Hang ist mit bis zu 30 m hohe Bäumen (Stammdurchmesser bis 50 cm) bewachsen. Die östliche Böschung zur Nagoldbahn hin ist mit Ruderalvegetation und Bäumen bis ca. 20 m Höhe (Stammdurchmesser bis 30 cm) bewachsen.

2.2 Baugrund

Der geologische Untergrund im Untersuchungsgebiet stellt sich nach der geologischen Karte wie folgt dar [U 6]:

Die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn verläuft im Bereich des Haltepunkts ZOB-Calw ca. 30 m über dem Grund des Nagoldtals, an der östlichen Talseite in den Schichten des Mittleren Bunt-



sandsteins. Beim Mittleren Buntsandstein handelt es sich um eine mehr als 200 m mächtige lithostratigraphische Untergruppe der Buntsandstein-Gruppe, die aus gutgebankten Quarzsandsteinen, mit durchschnittlichen Bankmächtigkeiten von 1 - 4 m, besteht. Die Gesteine sind hellrot, teilweise auch lagenweise rot und weiß. Die Gesteine weisen eine lagenweise Varianz der Korngrößen von tonigen Lagen bis hin zu Grobsandsteinen auf, mit teilweiser Einlagerung von Geröllen.

Schicht Nr.	Kurzzeichen	Bezeichnung	Schichtmächtigkeit [m]	Schicht-UK [m NN / m u. GOK / m u. SOK]	Bodenbeschreibung	
					Kornverteilung/ Farbe	Konsistenz/ Lagerungsdichte
1c	-	Auffüllung (Gleisschotter) ²⁾	0,3 - 0,4	0,3 - 0,4 m u. SOK	Kies, dunkelgrau	locker
2b	-	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein ²⁾	2 - 5	ca. 4 - 5 m u. GOK ³⁾	Kies, sandig, schluffig, tonig, hellbraun-grau	halbfest-fest
8a	soP/sm /sVs	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins, verwittert ²⁾	1 - 4	ca. 7 m u. GOK	Sandstein, geringmächtige Tonstein- Zwischenlagen verwittert, angewittert, rot	Fels, verwittert
8b	soP/sm /sVs	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins, unverwittert ²⁾	> 150	< 300 m NN ^{1),3)}	Sandstein, geringmächtige Tonstein- Zwischenlagen unverwittert, rot	Fels

1) mittlere Schichtunterkante

2) nicht in allen Bohrungen erkundet

3) Schicht-UK nicht aufgeschlossen

Tabelle 2.2-1: Baugrundaufbau

Nach den Erkundungsergebnissen aus den Kernbohrung (BK 26C, BK 7/09 und BK 8/09) sowie den Kleinrammbohrungen (BS 25 a/b und BS 27) wurden die, in Tabelle 2.2-1 schematisch dargestellten, im Folgenden beschriebenen Schichten angetroffen:



Schicht 1c - Auffüllung (Gleisschotter): In den Aufschlüssen im direkten Gleisbereich wurde oberflächennah Gleisschotter angetroffen. Es handelt sich um dunkelgrauen bis dunkelbraunen, kantigen Schotter, der aufgrund der langen Stilllegung der Strecke, schwach sandig ist und organische Beimengungen (z.B. Wurzeln) aufweist.

Schicht 2b - Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein: In den Aufschlüssen BS 25 a/b, BS 27, sowie BK 8/09 wurde bis in eine Tiefe von 4 m unter Gelände stark verwitterter und entfestigter Verwitterungsschutt und Hangschutt des Buntsandsteins angetroffen. In Bohrung BK 26 C im Bereich des bestehenden Haltepunkts Calw-ZOB der Nagoldbahn und in BK 7/09 wurde die Schicht nicht angetroffen.

Es handelt sich bei Schicht 2b um in situ verwitterten, zum Teil abgerutschten und umgelagertes Buntsandsteinmaterial des Mittleren und Oberen Buntsandsteins. Das Material zeigt sich in den Aufschlüssen als roter, halbfester bis fester, schluffiger, kiesiger, stark sandiger Ton. Das Material zeigt eine halbfeste bis feste, stellenweise auch steife Konsistenz bzw. mitteldichte bis dichte Lagerung.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 3) ergibt für die Schicht 2 (Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein) typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R0-R2** und **Verwitterungsgrad W5 (untergeordnet W4)**. Bautechnisch handelt es sich um einen vollständig verwitterten, zersetzten und entfestigten Fels des Mittleren und Oberen Buntsandsteins, der nahezu vollständig in einen teilweise bindigen, teilweise gemischtkörnigen Boden übergegangen ist.

Schicht 8a - Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins verwittert (soP/sm): Abhängig von der Überdeckung wurden, zwischen 0,5 m und 12,0 m u. GOK, in den Bohrungen BK 26 C und BK 7/09, sowie BK 8/09 verwitterte Schichten des Mittleren Buntsandsteins angetroffen. Die roten bis weißlichen Sandsteine sind mürbe und zerfallen, insbesondere an Tonsteinzwischenlagen, die oft komplett entfestigt und zu Ton zersetzt sind. Unter Berücksichtigung der Morphologie des Geländes liegt die Mächtigkeit der Schicht 8a zwischen 2 m und 6 m.

Der Verwitterungsgrad und die Unterkante der Schicht 8a hängt von der Überdeckung des anstehenden Fels ab.



Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 3) ergibt für die Schicht 8a typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R1-R3** und **Verwitterungsgrad W2 - W4**. Bautechnisch handelt es sich um einen stark bis schwach verwitterten Fels, der als grobkörniger bis gemischtkörniger, steiniger, blockiger Kies mit bindigen Anteilen in dichter Lagerung bzw. fester Konsistenz anzusprechen ist.

Schicht 8b - Sandsteine des Mittleren Buntsandsteins unverwittert (soP/sm) : Ab einer Tiefe zwischen 2,8 m und 12,0 m unter GOK steht der dichte, unverwitterte, rote bis weißliche Sandstein des Mittleren Buntsandsteins an. Die Sandsteine zeigen typischerweise Bankmächtigkeiten > 30 cm bis > 2,0 m. Die fein-mittelkörnigen Sandsteine zeigen eine überwiegend tonige bis quarzitisches Matrix und mäßig hohe bis hohe Festigkeiten. Die Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins haben in Untersuchungsgebiet eine Mächtigkeit > 200 m. Die Basis der Schicht wurde nicht erkundet.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 3) ergibt für die Schicht 2 (Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein) typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R4 (untergeordnet R3)** und **Verwitterungsgrad W1 - W0**. Bautechnisch handelt es sich um unverwitterten bis angewitterten Fels.

Der angetroffene Baugrundaufbau entspricht stratigraphisch den nach der geologischen Karte [U 6] zu erwartenden Verhältnissen.

2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Der im Untersuchungsgebiet anstehende Mittlere Buntsandstein bildet einen mehr als 200 m mächtigen, schichtig gegliederten Kluftwasserleiter. Basis des Grundwasserleiters ist die untere Begrenzung der jeweils wasserleitenden Schicht. Abhängig von Sedimentstrukturen und Klüftigkeit des Gebirges schwankt die Durchlässigkeit.

Lokaler Vorfluter ist die westlich gelegene, nach Norden abfließende Nagold. Das Projektgebiet liegt in keinem Wasserschutzgebiet, es befindet sich auch kein Wasserschutzgebiet im Abstrombereich. Eine Hochwassergefährdung ist im Untersuchungsgebiet aufgrund der Morphologie des Geländes 30 Höhenmeter über der Nagold am Südhang des Tals nicht zu erwarten.



In den Baugrundaufschlüssen wurde in der BK 26 C während der Bohrarbeiten im Zeitraum zwischen 03.07.2015 und 06.07.2015 Grundwasserstände zwischen 334,27 mNN und 332,24 mNN festgestellt. Dies entspricht Grundwassermessungen aus dem Jahr 2009 [U 4] und auch der ungefähren Höhe der Nagold als Vorfluter.

Der **Bemessungswasserstand** wird auf GOK angesetzt, da sich an den oberflächennahen teilweise bindigen Schichten Niederschlagswasser aufstauen kann und somit bis zur GOK mit Stau- und Schichtwasser zu rechnen ist.

Der **Bauwasserstand** kann basierend auf den in den ausgeführten Aufschlüssen angetroffenen Grund- und Schichtwasserverhältnissen auf 335,0 mNN angesetzt werden. Es ist allerdings bis zur GOK mit Stau- und Schichtwässern zu rechnen.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeit k_f [m/s]	Durchlässigkeit nach DIN 18 130
1c	Auffüllung (Gleisschotter)	$> 1 \times 10^{-3}$	stark durchlässig
2b	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Bunt- sandstein	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$	durchlässig bis schwach durchlässig
8a	Sandsteine des Oberen und Mittleren Bunt- sandsteins verwittert	$1 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-7}$	durchlässig bis schwach durchlässig
8b	Sandsteine des Oberen und Mittleren Bunt- sandsteins unverwittert	$\leq 1 \times 10^{-6}$, auf Klüften höher	schwach durchlässig

Tabelle 2.3-1: Durchlässigkeiten

Eine Wasseranalyse auf Betonaggressivität des Grundwassers nach DIN 4030 und Stahlaggressivität nach DIN 50 929 wurde im Untersuchungsgebiet nicht durchgeführt. In der Regel ist Grundwasser das kalkhaltige Locker- und Festgesteine durchflossen hat, als nicht betonangreifend und nicht stahlangreifend einzustufen. Dies wird auch durch die Analyse des Grundwassers an der ca. 400 m entfernten Bohrung an der EÜ Welzbergweg bestätigt [U 11]. Soweit maßgebend sollte die vorstehende Einschätzung vor Ausführung durch direkte Analysen abgesichert werden.



2.4 Feldversuche

Die in der Bohrung BK 26 C durchgeführten Feldversuche, Bohrlochscannerbefahrung und 2 Bohrlochaufweitungsversuche sind für den Bau des Haltepunkts der Hermann-Hesse-Bahn nicht relevant und werden im Streckengutachten [U 12] behandelt.

2.5 Laborversuche

2.5.1 Bodenmechanische Laborversuche

Aus den durch die Kernbohrung BK 26 C im Lockergestein gewonnenen Proben wurde ein Wassergehalt bestimmt. Der Umfang der geotechnischen Laborversuche ist in Tabelle 2.6-1 dargestellt, die Protokolle der Versuche sind in Anlage 5.1 beigelegt.

Versuch	DIN	Anzahl
Wassergehalt	18 121	1

Tabelle 2.5-1: Umfang der geotechnischen Laborversuche

BK	Teufe [m]	Schicht	Bodenart	Wassergehalt [%]
BK 26 C	2,3	2	U, T, s	7,7

Tabelle 2.5-2: Ergebnisse der Bestimmungen des Wassergehalts

Die durchgeführte Wassergehaltsbestimmung ergibt für den Verwitterungsschutt, Hangschutt der Schicht 8a einen Wassergehalt von 7,7%.

2.5.2 Felsmechanische Laborversuche

An ausgewählten aus den Kernbohrungen gewonnen Bohrkernen wurden felsmechanische Laborversuche zur Bestimmung der einaxialen Druckfestigkeit und der E-Module des anstehenden Ge-



steins durchgeführt. Der Umfang der felsmechanischen Laborversuche ist in Tabelle 2.5-3 dargestellt, die vollständigen Protokolle der Prüfstellen sind in Anlage 6 beigelegt.

Felsmechanischer Versuch	Regelwerk	Anzahl
Einaxialer Druckversuch	Empf. Nr. 1 AK 3.3 Fels der DGGT	1
Punktlastversuch	Empf. Nr. 5 AK 3.3 Fels der DGGT	16

Tabelle 2.5-3: Umfang der felsmechanischen Laborversuche

An einem Probenkörpern aus den Bohrungen BK 26 C wurde durch das Baustofflabor der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden die einaxiale Druckfestigkeit 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.

Bohrung	Teufe [m]	Durchmesser d [mm]	bewertete Druckfestigkeit σ_{u1} [MN/m ²]	E_v -Modul (max.) [MN/m ²]
Schicht 8b / Sst / Oberer und Mittlerer Buntsandstein unverwittert				
BK 26 C	7,05 - 7,43	101,6	48,4	5.000

Tabelle 2.5-4: Versuchsergebnisse zur Einaxialen Druckfestigkeit

Beim Punktlastversuch wird eine Felsprobe zur Bestimmung der Punktlastfestigkeit zwischen zwei abgestumpften Kegelspitzen bis zum Bruch belastet. Ermittelt wird damit der Punktlastindex I_s [MN/m²], einer Funktion der Bruchlast und der Körpergeometrie.

Aus dem Punktlastindex lässt sich die einaxiale Druckfestigkeit anhand von empirischen Beziehungen näherungsweise ermitteln. Je nach Bruchbild müssen Versuche auch als ungünstig gewertet werden. Der Punktlastversuch kann aufwendigere einaxiale Druckversuche sinnvoll ergänzen.



Schicht	Abschätzung nach	Druckfestigkeit			
		σ_{u1}			
		[MN/m ²]			
		Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
8b	ISRM	36,0	11,9	9,8	60,7
	HUDSON	33,0	10,9	9,0	55,6

Tabelle 2.5-5: Zusammenfassung der Ergebnisse der Punktlastversuche

Der durchgeführte einaxiale Druckversuch (Anlage 5.2) und die Punktlastversuche (Anlage 5.3) für den unverwitterten Sandstein der Schicht 8b weist eine einaxiale Druckfestigkeit zwischen 9,0 und 60,7 MN/m² auf, der Mittelwert liegt bei zirka 34,5 MN/m². Die relativ hohe Streuung lässt sich durch unterschiedliche Korngrößen und Kornbindungen im Sandstein, bzw. Verkittungsgrade erklären.

2.6 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 **Baugrundklassen A bis C** (unverwittert bis stark verwittert) einzuordnen.

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

Das Projektgebiet befindet sich im **Naturpark Schwarzwald Nord/Mitte** (Schutzgebiet-Nr.7) und liegt im Biotop Feldgehölze Bahnlinsen Calw (Biotop-Nr. 172182350245).

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



Schichten	Bezeichnung
Schicht 1c Gleisschotter	leicht bis schwer rammbar, mit Rammhindernissen ist zu rechnen
Schicht 2b Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsand- stein	leicht bis schwer rammbar, mit Rammhindernissen ist zu rechnen
Schicht 8a Oberer und Mittlerer Buntsandstein, verwittert	schwer rammbar, mit Rammhindernissen ist zu rechnen
Schicht 8b Oberer und Mittlerer Buntsandstein, verwittert	nicht rammbar, Festgestein, Vorbohren erforderlich

Tabelle 2.6-1: Rammbarkeit der Bodenschichten

Eine Gefährdung durch **Felsschlag**, durch die Felsböschung östlich der Bahnstrecke ist nach [U 1], [U 2] und [U 3] nicht auszuschließen.

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.

Schicht Nr.	Kurz- zei- chen	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frost- emp- findlich- keit ¹⁾	Verdicht- barkeit ²⁾
			DIN 18 196	DIN 18 300	DIN 18 301		
1c	-	Auffüllung (Gleisschotter)	GE	3 - 4	BN 1 BS 1	F1	V1



Schicht Nr.	Kurz- zei- chen	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frost- emp- findlich- keit ¹⁾	Verdicht- barkeit ²⁾
			DIN 18 196	DIN 18 300	DIN 18 301		
2b	-	Verwitterungs- schutt, Hangschutt auf Buntsandstein	GU*, GU, GT*, SU*, SU	3 - 5 (2) ³⁾ (6) ⁴⁾	BN 1 - BN 2, BB 2 - BB 3, BS 1 - BS 4	F2 - F3	V1 - V3
8a	soP/sm /sVs	Sandsteine des Oberen und Middle- ren Buntsand- steins verwittert	GU*, GU, GT*, SU*, SU, GW, ((Sst)), ((Tst)), (Sst), (Tst) ⁴⁾	4 - 6	BN 2, BB 2 - BB 4, BS 1 - BS 4, FV 2 - FV 3, FD 1 - FD 3	F1 - F2	V1 - V2
8b	soP/sm /sVs	Sandsteine des Oberen und Middle- ren Buntsand- steins unverwittert	Sst, Tst ⁴⁾	6 - 7	FV 5 - 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

Tabelle 3.1-1: Bodenklassifizierung

3.2 Bodenkennwerte

Auf der Basis der Untersuchungen und von umfangreichen Erfahrungen mit den im Projektgebiet anstehenden Böden lassen sich die in Tabelle 3.2-1 zusammengestellten charakteristischen Bodenkennwerte angeben. 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]
1c	Auffüllung (Gleisschotter)	18	10	37,5	0	0	30 - 50
2b	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein	20	10,5	27,5	5	10 - 20	8 - 15
8a	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins verwittert	25,5	15,5	30	5	10 - 50 ²⁾	150

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

Tabelle 3.2-1: Charakteristische Bodenkennwerte

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

3.3 Felsmechanische Kennwerte

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

Schicht-Nr.	Formation	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Reibungswinkel φ_k' [°]	Kohäsion c_k' [kN/m ²]	Einax. Druckfestigkeit Gestein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-Modul Gebirge $E_{s,k}$ [MN/m ²]
8b	soP, sVS, sm	Sst (Tst)	26,5	35	≥ 0	20 - 130 ²⁾	1.000 - 5.000

1) für Scherbeanspruchung auf Trennflächen

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

Tabelle 3.3-1: Charakteristische felsmechanische Kennwerte



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

4. FOLGERUNGEN

4.1 Gründung

4.1.1 Bahnsteig

Der Bahnsteig soll nach den vorliegenden Angaben aus [U 8] 0,55 m ü. SOK liegen. Angaben zur Gründungssohle liegen nicht vor. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass ein normaler Regelaufbau für Bahnsteigkantenbetonfertigteile eingehalten werden soll.

Die frostsichere Gründung des Bahnsteigs muss unter Berücksichtigung des Frosteinwirkungsgebiets bei min. 1,0 m unter GOK liegen. Bei dieser Tiefenlage kommen die Fundamente des Bahnsteigs im Verwitterungsschutt, Hangschutt (Schicht 2b) bzw. in den Schichten des verwitterten Oberen und Mittleren Buntsandsteins (Schicht 8a) zum liegen. Beide Schichten sind grundsätzlich als Gründungshorizont geeignet, je nach Feinkornanteil bzw. Konsistenz sind Zusatzmaßnahmen erforderlich.

4.1.2. Fußgängersteg

Für den Fußgängersteg ist geplant den bestehenden Aufzugsturm des ZOB Calw zu erhöhen. Der eigentliche Steg soll darauf als Fertigteil eingehoben werden. Die Westseite des Fußgängerstegs wird auf das bestehende Parkhaus gegründet, aus diesem Grund wird eine neue Gründung nur im Bereich des neuen Haltepunkts der Hermann-Hesse-Bahn benötigt.

Die Gründung des Fußgängerstegs sollte einen möglichst setzungsarmen Lastabtrag gewährleisten, da die Westseite des Fußgängerstegs auf das bestehende Parkhaus des Haltepunkts Calw - ZOB aufgebracht wird. Die Gründungssohle des Fußgängerstegs kommt in den Schichten des verwitterten Mittleren Buntsandsteins (Schicht 8a) bzw. in den Schichten des unverwitterten Mittleren Buntsandsteins (Schicht 8b) zum liegen. Der genaue Abstand der Gründung zum Böschungskopf der zirka 12 m hohen Felsböschung ist noch nicht bekannt und wird erst im Zuge der genauen Planung bekannt sein.



Aufgrund der angetroffenen Untergrundverhältnisse ist eine **konventionelle Flachgründung** auf den unverwitterten Schichten des Mittleren Buntsandsteins möglich. In diesem Fall ist die Standsicherheit der Felsböschung zur Nagoldbahn hin nachzuweisen. Ist die Standsicherheit der Böschung nicht nachweisbar, besteht die Möglichkeit einer Gründung des Wiederlagers über **Mikropfähle**.

Mikropfähle sind Kleinbohrverpresspfähle mit Durchmessern von weniger als 30 cm nach DIN EN 14 199, die ihre Last nahezu ausschließlich über Mantelreibung in das umgebende Erdreich abtragen. Mikropfähle können durch Bohren, Rammen Pressen oder Vibrieren eingebracht werden. Die innere Tragfähigkeit wird durch ein Stahltragglied gewährleistet, um den Verbund zum anstehenden Boden zu gewährleisten wird mit Zementmörtel nachverpresst. Mikropfähle können mit relativ kleinen und leichten Bohrgeräten auch unter beengten Platzverhältnissen hergestellt werden, die Herstellung erfolgt lärm- und erschütterungsarm. Ein setzungsarmer Lastabtrag über den Spitzenwiderstand in die Schicht 8b ist möglich.

4.1.3 Rettungszuwegung

Für die Rettungszuwegung zwischen Haltepunkt und Hohfelsweg wird von einem Standardaufbau nach RStO ausgegangen.

Die Rettungszuwegung liegt im Verwitterungsschutt und Hangschutt der Schicht 2b und dem verwitterten Buntsandstein der Schicht 8a. Daher wird nach ZTV E-StB ein frostsicherer Aufbau von mindestens 50 cm benötigt.

Der Weg wird nach RStO 12 [U 10] als **Fuß- und Radweg** eingestuft. Daraus ergeben sich die folgenden Mindestanforderungen an die Tragfähigkeit bzw. Verdichtung des Fahrbahnunter- und Fahrbahnoberbaus. Im Bereich der Rettungszuwegung muss auf dem **Erdplanum** ein E_{v2} - Wert $\geq 45 \text{ MN/m}^2$ erreicht werden. Auf der Frostschutzschicht muss ein E_{v2} - Wert $\geq 80 \text{ MN/m}^2$ erreicht werden.

Ein Bodenaustausch wird nur in den Bereichen der Rettungszuwegung nötig, in denen stark bindige Bereiche der Schicht 2b Verwitterungsschutt / Hangschutt anstehen, da in diesen Bereichen die geforderten Tragfähigkeiten (s.o.) sonst nicht erreicht werden können.



4.2 Baugrube

Für die Gründung des Bahnsteigs und des Fußgängerüberwegs sind nach derzeitigem Planungsstand [U 8] Baugruben von 1,5 m (Bahnsteig) bis 3,0 m (Fußgängerüberweg) unter GOK erforderlich (357,5 mNN - 355,5 mNN).

Die Baugruben können bei ausreichenden Platzverhältnissen frei geböscht werden. Am Westlichen Rand der Baugrube des Bahnsteigs schließt allerdings direkt die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn an. Hier wird aufgrund der Regelung der DIN 4124 und Ril 836 Modul 43 ein Baugrubenverbau benötigt. Der Verbau ist nur notwendig wenn ein Eingriff ins Gleisbett vermieden werden soll. Wird das Gleisbett gleichzeitig bzw. nachlaufend erneuert ist kein Baugrubenverbau erforderlich. Als Verbauarten sind grundsätzlich Trägerbohlwände und Spundwände möglich.

4.3 Grundwasserhaltung

Der Bauwasserstand liegt in Höhe 335 mNN. Die Gründungssohlen liegen deutlich darüber. Jedoch ist während der ganzen Bauzeit mit Schicht-, Sicker- und Oberflächenwasser zu rechnen, welches durch eine offenen (Rest-) Wasserhaltung gefasst und abgeleitet werden muss.

4.4 Nachbarbebauung

Ein Einfluss auf das benachbarte Gleis der Hermann-Hesse-Bahn kann nicht ausgeschlossen werden. Leitungen, die im Baufeld liegen, sind bauzeitlich zu sichern bzw. zu verlegen.

4.5 Zusammenfassende Bewertung

Die Gründungsverhältnisse werden in der Tabelle 4.5-1 zusammenfassend beurteilt. Insgesamt ist aufgrund der vorherrschenden geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten von günstigen Gründungsverhältnissen auszugehen.



Baugrundeigenschaften	günstig	mittel	ungünstig	Bemerkungen
Tragfähigkeit	x x			Halbfeste - feste (zum Teil steife) Böden, Schicht 2b verwitterter Fels - Fels,
Frostempfindlichkeit	x		x	Halbfeste - feste (zum Teil steife) Böden, Schicht 2b verwitterter Fels - Fels
Verdichtungsfähigkeit			x x	Halbfeste - feste (zum Teil steife) Böden, Schicht 2b verwitterter Fels - Fels
Wiedereinbaufähigkeit		x	x	Halbfeste - feste (zum Teil steife) Böden, Schicht 2b verwitterter Fels - Fels
Lösbarkeit			x x	Halbfeste - feste (zum Teil steife) Böden, Schicht 2b verwitterter Fels - Fels
Grundwasserstand	x		x	Bauwasserst. unter Baugrubensohle Bemessungswasserstand GOK
Bodenbelastung	-			auftragsgemäß keine Untersuchung erfolgt
Besonderheiten				
Morphologie			x	im Westen ca. 10 m Felsböschung
Nachbarbebauung			x	In direkter Umgebung vorhanden (Gleis Hermann-Hesse-Bahn)

Tabelle 4.5-1: Klassifizierung der Baugrundverhältnisse.

Die **Baugrundverhältnisse** werden für das Bauvorhaben insgesamt als **günstig** eingeschätzt. Das Bauvorhaben ist aufgrund des anstehenden Fels und der allgemeinen geologische Gegebenheiten in die **Geotechnische Kategorie GK 2** nach Handbuch EC 7 A 2.1.2 einzustufen.



5. EMPFEHLUNGEN

5.1 Gründung

5.1.1 Bahnsteiggründung

Die Bahnsteige sind frostfrei zu gründen, dies entspricht einem Gründungsniveau von 1,0 m unter GOK bzw. 1,2 m u. SOK. Bei dieser Tiefenlage kommen die Fundamente des Bahnsteigs im halbfesten bis festen bzw. dichtgelagerten Verwitterungsschutt und Hangschutt der Schicht 2b zum liegen. Diese Schicht ist als Gründungshorizont geeignet.

Zur Vereinheitlichung der Gründungssohle wird eine Homogenisierungsschicht von 0,5 m, aus gut verdichtbarem, rolligem Material GW, SW empfohlen.

Der Aushub in den bindigen Bodenschichten ist mit gerader Schneide herzustellen um Auflockerungen des Planums möglichst gering zu halten. Bindiger Boden in der Gründungssohle muss mindestens steife Konsistenz aufweisen und darf nicht aufgeweicht sein.

Der Bahnsteig kann über **Streifenfundamente** auf den oben genannten Schichten gegründet werden. Für Streifenfundamente kann in Abhängigkeit der Breite der Fundamente und der Einbindetiefe ein Bemessungswert des Sohlwiderstands $\sigma_{R,d}$ gemäß Tabelle 5.1.1-1 angesetzt werden. Die Setzung wurde dabei auf ein Maximalmaß von 2 cm begrenzt. Die in Tabelle 5.1.1-1 angegebenen Bemessungswerte des Sohlwiderstands gelten für eine Vorbemessung.

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	2,5 m	3,0 m
1,0	450	470	390	350	330	320
1,5	560	500	430	390	370	350
2,0	660	590	550	530	520	510

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 2b mit 0,5 m Homogenisierungsschicht



Die in der vorstehenden Tabelle angegebenen Bemessungswerte gelten auf Grundlage der im Handbuch EC 7, Geotechnische Bemessung, Band 1, Tabelle 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.

Für eine Berechnung der Gründung mit dem Bettungsmodulverfahren auf dem wie oben beschriebenen Gründungsplanum der Schicht 2b kann für lotrechte und mittige Belastungen ein **Bettungsmodul von $k_{s,k} = 10 \text{ MN/m}^3$** 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.

5.1.2 Fußgängersteg

Eine Flachgründung des Fußgängerstegs ist grundsätzlich möglich. Hierbei muss die Gründung frostsicher sein, also min. 1,0 m u. GOK. Um einen setzungsarmen Lastabtrag zu gewährleisten wird eine Gründung des Widerlagers im unverwitterten Buntsandstein der Schicht 8b empfohlen. Die Gründungssohle liegt dann bei 2,4 m u. GOK bzw. 2,6 m u. SOK.

Der Fußgängersteg kann über **Streifenfundamente** auf den oben genannten Schichten gegründet werden. Für Streifenfundamente kann ein Bemessungswert des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$ für die Schicht 8a (Oberer und Mittlerer Buntsandstein verwittert) von 500 kN/m² und für Schicht 8b (Oberer und Mittlerer Buntsandstein unverwittert) von 1000 kN/m² angegeben werden.



Bei einer Flachgründung ist die Standsicherheit der Felsböschung mit den entsprechenden Zusatzlasten nachzuweisen. Sollte dies nicht möglich sein wird eine Tiefgründung durch Mikropfähle nötig.

Die in der vorstehenden angegebenen Bemessungswerte gelten auf Grundlage der im Handbuch EC 7, Geotechnische Bemessung, Band 1, Tabelle 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.

Für eine Berechnung der Gründung mit dem Bettungsmodulverfahren auf dem wie oben beschriebenen Gründungsplanum der Schicht 8a kann für lotrechte und mittige Belastungen ein **Bettungsmodul von $k_{s,k} = 20 \text{ MN/m}^3$** angesetzt werden, für ein Gründungsplanum in der Schicht 8b kann für lotrechte und mittige Belastungen ein **Bettungsmodul von $k_{s,k} = 40 \text{ MN/m}^3$** . 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.

5.1.3 Rettungszuwegung

Im Bereich von **Fuß- und Radwegen** wird nach [U 10], mindestens ein Verformungsmodul auf dem Erdplanum von $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ verlangt.

Zum Nachweis der Tragfähigkeit auf dem Erdplanum sollte eine Überwachung durch statische Plattendruckversuche nach DIN 18 134 erfolgen.



Auf den ggf. nachverdichteten, gemischtkörnigen Böden (Schicht 2b) wird der geforderte E_{v2} -Wert voraussichtlich erreicht. Sollten bindige Bereiche der Schicht 2b auftreten, so ist nur mit E_{v2} -Werten von 10 - 20 MN/m² zu rechnen. **Die Dicke des erforderlichen Bodenaustausches richtet sich nach dem erreichten Verformungsmodul auf dem Erdplanum.** Siehe hierzu Tabelle 5.1-3.

Erreichtes Verformungsmodul auf dem Erdplanum [MN/m ²]	Dicke des erforderlichen Bodenaustausches [cm]
10	40
15	30
20	25
25	25
30	25
35	20
40	20

Tabelle 5.1-3: Dicke Bodenaustausch in Abhängigkeit von den vorhandenen Tragfähigkeiten (Sollwert Tragfähigkeit $E_{v2} \geq 45$ MN/m²)

Stehen im Untergrund bzw. im Unterbau des geplanten Weges unmittelbar unter dem Oberbau Böden der Frostempfindlichkeitsklasse F1 an, so kann die Frostschutzschicht nach [U 10] entfallen, wenn die Mächtigkeit des Bodens mindestens 1,2 m unter Fahrbahnoberfläche beträgt. Weiterhin muss der Boden bezüglich des Verdichtungsgrades die Anforderungen an Frostschutzschichten erfüllen. Wird auf dem F1-Boden ein Verformungsmodul von $E_{v2} \geq 80$ MN/m² erreicht kann der Oberbau ab Oberkante Frostschutzschicht erfolgen.

Werden die Anforderungen an den Verformungsmodul nicht erreicht, ist eine Verfestigung gemäß TZV Beton-StB oder eine Tragschicht ohne Bindemittel mit einer Dicke nach RStO Tabelle 8 [U 10] auf dem F1-Boden vorzusehen.

Für den Bodenaustausch sind nicht frostempfindliche, verwitterungsbeständige Bodenarten vorzusehen. Es handelt sich dabei um die Bodenarten 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 können z.B. Kies-Sand-Gemische 0/45 verwendet werden. Das Austauschmaterial sollte nur schwach durchlässig sein. Ein erforderlicher Überstand ist zu berücksichtigen.



Sofern der Einbau der Planumsschutzschicht bzw. des Bodenaustausches nicht unmittelbar nach dem Aushub erfolgt, ist das Planum zum Schutz gegen Niederschläge mit einer Baufolie abzudecken. Es ist gegebenenfalls auch gegen Frost zu schützen.

5.2 Baugruben

5.2.1 Baugrube Bahnsteig

Im Bereich des Bahnsteigs wird eine ca. 1,5 m tiefe Baugrube erforderlich. Die Baugrubensohle liegt im nördlichen Bereich der Baugrube bei ca. 358,5 mNN und im südlichen Bereich bei ca. 356,5 mNN.

Nach den Daten der Erkundungen sind im Bereich der Baugrubensohle die anstehenden Böden der Schichten 2b und 8a anstehend.

Die Baugrube schließt direkt ans Gleisfeld der Hermann-Hesse-Bahn an. Wenn ausreichend Platz zur Verfügung steht, können die Baugruben geböscht hergestellt werden. Nach DIN 4124 können die Baugruben in den rolligen und gemischtkörnigen (enthalten auch bindige Böden) Böden der Schicht 2b mit 45° geböscht 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. Bis 1,25 m Tiefe können Baugruben und Gräben ohne Verbau hergestellt werden, ab einer Tiefe von 1,25 m sind die Wände abzuböschern, hierbei ist der mehr als 1,25 m über der Sohle anstehende Bereich der Erdwand mit einem Winkel von $\leq 45^\circ$ zu böschern, es ist eine mindestens steife Ausbildung des Bodens Voraussetzung. Andernfalls wird ein Verbau nach DIN 4124 erforderlich.

Im Falle von eingeschränkten Platzverhältnissen und sofern die Nachbarbebauung in Form der Gleise nicht erneuert oder bei dem Bauablauf benötigt wird, wird ein Baugrubenverbau zwingend erforderlich. Die Herstellung der Baugruben kann im Schutze eines Bohrträgers- oder Spundwandverbau erfolgen. In den gemischtkörnigen Hang- und Verwitterungslehmen der Schicht 2b können Rammhindernisse auftreten. Die Böden sind generell als leicht bis mäßig rammbar einzustufen.



Die anstehenden Böden sind aufgrund der vorhandenen Frostempfindlichkeit und der eher schlechten Verdichtungsfähigkeit je nach Feinkornanteil nur bedingt wiederverwendbar.

Die Böden der Schicht 2b 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.

Sollte das Gleisbett, ohne Sanierungsmaßnahmen wieder in Betrieb genommen werden, wird für die östliche Baugrubenseite ein Verbau benötigt. Als kostengünstig und praktikabel wird hier der Verbau durch eine Trägerbohlwand angesehen. Aufgrund der Baugrundverhältnisse ist ein einrammen der Träger nicht möglich, entsprechende Maßnahmen zum Einbringen der Träger (z.B. Vorbohren) sind zu ergreifen.

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. Auf die DIN 4124 und die Empfehlungen des Arbeitskreises für Baugruben (EAB), 2010, wird ausdrücklich verwiesen.

5.2.2 Baugrube Fußgängersteg

Die Baugrube des Wiederlagers des Fußgängerstegs ist zwischen 2,5 m und 3,0 m tief. Die Baugrubensohle liegt in einer Tiefe von ca. 357 mNN.

Nach den Daten der Erkundungen sind im Bereich der Baugrubensohle die anstehenden Böden der Schichten 8a und 8b voraussichtlich ausreichend standsicher um geböscht (Böschungswinkel $\leq 30^\circ$) Ausführen der Baugrube zu erlauben.

Die Baugrube kann geböscht hergestellt werden, hier ist eine **offene Wasserhaltung** vorzuhalten. Bis 1,25 m Tiefe können Baugruben ohne Verbau hergestellt werden, ab einer Tiefe von 1,25 m sind die Wände abzuböschten, hierbei ist der mehr als 1,25 m über der Sohle anstehende Bereich der Erdwand mit einem Winkel von $\leq 45^\circ$ zu böschten, es ist eine mindestens steife Ausbildung des Bodens Voraussetzung. Andernfalls wird ein Verbau nach DIN 4124 erforderlich.



Am oberen Rand von Baugruben ist ein mindestens 0,6 m breiter Schutzstreifen freizuhalten der nicht befahren und belastet werden darf. Mit Fahrzeugen, Baumaschinen oder Baugeräten sind Sicherheitsabstände von der Grabenböschung von 1,0 m bis 12 t Gesamtgewicht und 2,0 m bei über 12 t Gesamtgewicht einzuhalten.

Für die Notwendigkeit und Bemessung von Verbauwänden gelten die Hinweise in Kap 5.2.1 entsprechend.

5.3 Wasserhaltung / Abdichtung

Die Baugrubensohle liegt oberhalb des Bauwasserstands. Während der Bauzeit ist jedoch im gesamten Zeitraum mit Sicker-, Schicht- und Oberflächenwasser zu rechnen. Für diesen Fall ist eine offene (Rest-) Wasserhaltung erforderlich. Auch wenn die hier angetroffenen Grundwasserverhältnisse im Allgemeinen als unbedenklich betrachtet werden können, kann es in den Bereichen von austretendem Schichtwasser beim Aushub zu einem Bodenentzug durch Ausspülung kommen.

Das Erdplanum für eine Flachgründung ist mit einem geeigneten Quergefälle ($\geq 3\%$) idealerweise in einem Dachprofil herzustellen, um eine funktionierende Planumsdrainage zu gewährleisten. Während der Bauzeit sind Vorkehrungen zu treffen um zufließendes Oberflächenwasser zuverlässig und schadlos abzuleiten. Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Ableitung von Tag- und Niederschlagswasser Nebenleistung nach DIN 18 299 ist.

5.4 Sonstige Empfehlungen

Es wird darauf hingewiesen, dass der Verwitterungsschutt, Hangschutt (Schicht 2b) bei Wassersättigung und Lagerungsstörung (z. B. dynamische Belastung durch Baufahrzeuge) aufweichen kann und von Bodenklasse 4 in Bodenklasse 2 übergehen kann.

Als Verdichtungskontrollen beim Erdplanum und Planum PSS / FSS sind baubegleitend statische Plattendruckversuche sowie weitere Feld- und Laborversuche als Fremdüberwachung durchzuführen und um die Übereinstimmung mit den Anforderungen der RStO 12 zu prüfen. Vor Herstellung



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

Es wird empfohlen für die Felsböschung, zwischen Hermann-Hesse-Bahn und Nagoldbahn, einen Standsicherheitsnachweis zu führen und hierbei die eingeleiteten Kräfte durch die Fundamente des Bahnsteigs und des Fußgängerstegs zu berücksichtigen, um mögliche Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen ergreifen zu können.

Ebenfalls wird empfohlen für die Felsböschung östlich des Gleisfelds einen Standsicherheitsnachweis zu führen und eine Gefährdung durch Steinschlag zu bestimmen und etwaige Sicherungsmaßnahmen zu ergreifen.

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

Grundsätzlich sind die Folgerungen und Empfehlungen im Rahmen der Entwurfsplanung erneut zu prüfen, wenn ausreichend detaillierte Planunterlagen vorliegen (z.B. Angaben zu Bauwerkslasten).

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

(gezeichnet)

Dipl.-Ing. Christian Spang
(Geschäftsführer)

i.A.

Dipl.-Geol., MSc ETH Burkhard Cless
(Projektgeologe)

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