



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
36.4130	P4130b161012_Strecke	CI/Mö	Esslingen	12.10.2016

Hermann-Hesse-Bahn
Reaktivierung der Bahnstrecke Weil der Stadt – Calw
km 26,1 - km 28,6
und
km 35,3 - km 47,7

- Geotechnisches Streckengutachten -

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, Weillstr. 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
1.5 Geotechnische Feldversuche - Testfelder zum Streckenbau	8
2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE	10
2.1 Morphologie und Vegetation	10
2.2 Baugrund	11
2.3 Hydrogeologie / Grundwasser	21
2.4 Umwelttechnische Untersuchungen (Schotteranalytik)	25
2.5 Geotechnische Besonderheiten	27
2.6 Schutzgebiete	28
3. BODENKENNWERTE	29
3.1 Klassifizierung für bautechnische Zwecke	29
3.2 Bodenkennwerte	31
3.3 Felsmechanische Kennwerte	33
3.4 Homogenbereiche	34
3.4.1 Allgemeines	34
3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten	34
3.4.3 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten	36
4. FOLGERUNGEN	37
4.1 Geotechnische Streckenbereiche und Schichtenverlauf	37
4.2 Erdplanum und Packlagen	39
4.3 Baugrube	43
4.4 Grundwasserhaltung	43
4.5 Nachbarbebauung	44
4.6 Zusammenfassende Bewertung	44
5. EMPFEHLUNGEN	45
5.1 Tragfähigkeit	45



5.2	Oberbau und Unterbauverbesserung	46
5.3	Geometrische Zwangspunkte	51
5.4	Bodenverbesserung	51
5.5	Erdbauwerke	52
5.6	Baugrube	52
5.7	Grundwasser	53
5.8	Kampfmittel	54
5.9	Umwelttechnik	54
5.10	Sonstige Empfehlungen	56

6. ANLAGEN

Anlage 1:	Übersichtslageplan 1 : 200.000 (2)
Anlage 2:	Lagepläne mit Erkundungspunkten 1 : 1.000 (14)
Anlage 3:	Längsschnitte mit Erkundung 1 : 1.000 (15)
Anlage 4:	Bohrdokumentation (1)
Anlage 4.1:	Zeichenerläuterung Baugrunderkundung (2)
Anlage 4.2:	Kernbohrungen (28)
Anlage 4.3:	Kleinrammbohrungen (56)
Anlage 4.4:	Sondierungen mit der schweren Rammsonde (81)
Anlage 5:	Chemische Analyseergebnisse (1)
Anlage 5.1:	Gegenüberstellungen Altschotter (8)
Anlage 5.2:	Laborprotokolle (28)



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.

Die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn verläuft in aufsteigender Kilometrierung von Weil der Stadt (km 26,1) nach Süden entlang des Würmtals. Ab km 28,6 ist eine neue Trassenführung mit Tunnel geplant (Planfeststellungsabschnitt Ostelsheim). Östlich von Ostelsheim steigt die Strecke durch den östlichen Voreinschnitt des Tunnels Forst an, nach dem Tunnel Forst erreicht Sie in Althengstett ihren Scheitelpunkt um von dort durch den Einschnitt "Im Hau" Richtung Calw-Heumaden abzufallen. Von dort folgt die Strecke zuerst dem Hang des Nagoldtals nach Norden um dann nach dem Tunnel Hirschau eine Kehrschleife auszubilden und von Norden her ins Nagoldtal abzustiegen.

Der Oberbau der Strecke soll vollständig erneuert werden, die Gleislage soll dabei im Regelfall nicht verändert werden. Das vorliegende geotechnische Streckengutachten soll als Grundlage für die Planung der Streckenbaumaßnahmen in den Abschnitten zwischen km 26,1 - km 28,6 (Weil der Stadt bis Planfeststellungsabschnitt Ostelsheim) und km 35,3 - km 47,7 (Ende Planfeststellungsabschnitt Ostelsheim bis Calw) dienen.

Bei der Hermann-Hesse-Bahn handelt es sich um eine NE-Bahn (nichtbundeseigene Eisenbahn). Es soll das entsprechende Regelwerk, insbesondere die Obri-NE für den Oberbau angewendet werden. Hilfsweise soll nach Abstimmung für bestimmte Fragestellungen das DB-Regelwerk (Ril 836) herangezogen werden [U 4].

Die Anlagen sollen im Regelfall für eine Nutzungsdauer von 25 Jahren geplant werden [U 4]. Die Bahnstrecke ist als Nebenbahn gemäß EBO klassifiziert. Die zulässige Geschwindigkeit ist mit 100 km/h definiert. Gem. § 40 EBO sind daher die Regelungen für Hauptbahnen der §§ 5, 6, 11, 15 Abs. 1, 16 Abs. 1 und 35 Abs. 4 einzuhalten. Die Hermann-Hesse-Bahn wird der Streckenklasse CE



zugeordnet. Aus dem Betriebsprogramm und den Daten zu den vorgesehenen Fahrzeugen (Stadler Regio-Shuttle RS1) ergibt sich eine rechnerische Streckenbelastung von ca. 8.000 t/d. Zur Sicherheit ist z.B. für die Berechnung der Restnutzungsdauer von einer Belastung von 10.000 t/d auszugehen [U 4].

Für die einzelnen Bauwerke und Objekte entlang der Strecke (Eisenbahnüberführungen, Tunnel, Böschungen, Haltepunkte und Durchlässe) liegen jeweils einzelne geotechnische Gutachten vor.

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. Bauvorhaben eine Baugrunderkundung durchzuführen und Empfehlungen für die Sanierung des Unterbaus zu erarbeiten. Das vorliegende Gutachten behandelt die Streckenbereiche km 26,1 - km 28,6 und km 35,3 - km 47,7, für den dazwischenliegenden Bereich (Abschnitt Planfeststellung Ostelsheim) erfolgen Angaben zum Unterbau in gesonderten Gutachten. Die Ingenieurbauwerke entlang der Strecke werden ebenfalls in einzelnen Bauwerksgutachten behandelt.

Im Rahmen der Streckenerkundung wurden auch umwelttechnische Untersuchungen des Gleisschotters ausgeführt.

1.3 Unterlagen

Es wurden die nachfolgend aufgeführten Unterlagen verwendet:

- [U 1] Geologische Karte von Baden-Württemberg, Blatt 7218, Calw, 1:25.000 mit Erläuterungen; Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Stuttgart, Ber. Auflage 1982.**
- [U 2] 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 3] **Hermann-Hesse-Bahn, Reaktivierung der Bahnstrecke Weil der Stadt – Calw, Streckenerkundung und Unterbauöstlicher Voreinschnitt Tunnel Forst und Einschnitt Im Hau.** Gutachterliche Stellungnahme. Dr. Spang GmbH, Esslingen, 11.08.2015.
- [U 4] **Besprechungsniederschriften Planungs-jour-fixe** zum Projekt Hermann-Hesse-Bahn. Mailänder Consult GmbH, Landratsamt Calw, Calw 2015 und 2016.
- [U 5] **Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg;** <http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/pages/map/default/index.xhtml>, Stand: 31.08.2016.
- [U 6] **Reaktivierung der Hermann-Hesse-Bahn von Calw nach Weil der Stadt, Baugrund- und Gründungsgutachten,** Ingenieurbüro Keutner, Stuttgart, 27.11.2013.
- [U 7] **Grundbautaschenbuch,** Karl Josef Witt, 7. Auflage; Ernst und Sohn, Berlin, 2009.
- [U 8] **Ingenieurgeologische Gefahren in Baden-Württemberg;** Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg i. Br., 2005.
- [U 9] **TM 2013-256 zur RIL 836.4105: Vliesstoffe zur Planmusverbesserung zum Einsatz im Bestandsnetz 8einbau direkt unter Schotter.** Fachtechnische Stellungnahme DB Netz AG. 30.11.2013
- [U 10] **Schotteranalayse,** baustofftechnische Schotteranalyse. Ingenieurgesellschaft Kärcher mbH & Co.KG., Weingarten. 14.01.2016
- [U 11] **Altschotteranalyse für den Abtrag des Bahndamms für die Umgehung Calw-Heumaden,** Therrien Umwelt Fachberatung. 2005.

1.4 Untersuchungen

Zur Bewertung der Baugrundverhältnisse im Untersuchungsbereich wurden eine Reihe von direkten und indirekten Aufschlüssen entlang der Strecke ausgeführt. Dies waren vertikale Kernbohrungen, Bohrsondierungen sowie schwere und mittelschwere Rammsondierungen, die von der Fa. Heinz



Burkhardt GmbH & Co. KG in den Jahren 2014, 2015 und 2016 ausgeführt wurden. Weiterhin wurden Archivaufschlüsse des IB Keutner von 2013 berücksichtigt. Eine Verdichtung des Bohrrasters in bestimmten Bereichen zu weiteren Minimierung der Kostenrisiken wurde vorgeschlagen und auf Wunsch des AG nicht ausgeführt.

Das Bohrgut wurde nach den Maßgaben der DIN EN ISO 14 688 und nach DIN 18 196 gruppiert sowie nach DIN 18 300 klassifiziert. Die Ergebnisse der Bohrgutaufnahmen sind gemäß DIN 4023 in Anlage 4.2 und 4.3 dargestellt. Die Ergebnisse der schweren Rammsondierungen sind gemäß DIN EN ISO 22 476-2 als Rammdiagramme in Anlage 4.4 enthalten.

Alle Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig eingemessen. Die Lage der Aufschlusspunkte ist in Anlage 2.1 dargestellt. Die Ansatzhöhen und Endteufen der Aufschlüsse sind den Bohr- und Rammprofilen in Anlage 4 zu entnehmen.

Darüber hinaus wurden 2015 und 2016 durch die Fa. Otto Morof, Tief- und Straßenbau GmbH entlang der Strecke der Hermann-Hesse-Bahn eine Reihe von Testfelder zur Prüfung der Tragfähigkeit des Unterbaus und zur Prüfung von verschiedenen Varianten des Tragschichtaufbaus hergestellt.

Es liegen weiterhin geotechnische Archivunterlagen aus früheren Projektphasen vor, die auch zur Beurteilung der geotechnischen Verhältnisse entlang der Strecke herangezogen wurden. Geotechnische Laborversuche wurden auftragsgemäß keine ausgeführt.

Alle verwendeten Aufschlüsse und Testfelder sind in den Tabellen 1.4-1 und 1.4-2 dargestellt.

Zur umwelttechnischen Einstufung wurden der Schotter aus allen Streckenbereichen in 14 Schottermischproben umweltsanalytisch untersucht und entsprechend deklariert. Die Analysenergebnisse sind in Anlage 6 dargestellt.

Art des Aufschlusses	Abkürzung	Anzahl [-]
Kernbohrungen	BK	19
Bohrsondierungen	BS	57
Sondierungen mit der schweren Rammsonde	DPH	82
Testfelder		14



Art des Aufschlusses	Abkürzung	Anzahl [-]
Schotterschürfe	SCH	58

Tabelle 1.4-1: verwendete Feldaufschlüsse im Untersuchungsbereich

1.5 Geotechnische Feldversuche - Testfelder zum Streckenbau

Im November 2015 waren durch die Fa. Otto Morof, Tief- und Straßenbau GmbH entlang der Strecke der Hermann-Hesse-Bahn 16 Testfelder zur Prüfung der Tragfähigkeit des Unterbaus und zur Prüfung von je zwei Varianten mit Tragschichtaufbau zur Planumsertüchtigung hergestellt worden.

Ziel der Erkundungen und Testfelder war erstens, den bestehenden Unterbau zu untersuchen und direkt zu beproben. Zweitens sollten verschiedene Varianten für den neu herzustellenden Oberbau in Kombination mit ggf. erforderlichen Maßnahmen zur Bodenverbesserung (Planumsertüchtigung) in Testfeldern hergestellt und in Bezug auf ihre Tragfähigkeit untersucht werden, um die Wahl einer Ausbauvariante für die weitere Planung zu unterstützen. Ein weiteres Ziel der Arbeiten war die Ermittlung von ggf. vorhandenen Packlagen.

In den Testfeldern wurden jeweils drei Teilbereiche hergestellt. In einem **Teilbereich A** wurde der Schotter ausgehoben und ein Planum in geeigneter Tiefe unter Schienenoberkante (SOK) hergestellt. In einem **Teilbereich B** wurde ein Liefermaterial Gesteinskörnung 0/32 (Kalksteinbruch) eingebaut, um ein Regelgefälle zum Entwässerungsgraben herzustellen. Darunter wurde ein Vliesstoff der Geotextil-Robustheitsklasse 5 (GRK 5) eingebaut. Im dritten **Teilbereich C** wurde ein Liefermaterial Gesteinskörnung 0/45 (Kalksteinbruch) mit einer Mindestschichtmächtigkeit von 20 cm auf einem Vliesstoff GRK 5 eingebaut.

Durch die Dr. Spang GmbH wurden in den 11 Testfeldern im Untersuchungsbereich jeweils 3 statische Plattendruckversuche (1 je Teilbereich) nach DIN 18134 und 12 dynamische Plattendruckversuche (4 je Teilbereich) nach TP BF-StB Teil B 8.3 ausgeführt. Entsprechend ZTV-E StB 09, Kap. 14.2.4 Methode M3 wurde aus den E_{vd} -Werten der dynamischen Plattendruckversuche mittels statistischer Methoden ein charakteristischer E_{vd} -Wert gebildet.



Die Lage der Testfelder wurde auf Grundlage der bereits erfolgten Aufschlüsse zur Streckenerkundung in Bereichen unterschiedlicher Geologie und Streckenlage festgelegt. Weiterhin wurde die Zugänglichkeit für Baufahrzeuge berücksichtigt.

Nr.	km	Name	Geologie	Trassenlage
1	26,4	Weil der Stadt/Spitalweiher	Auenlehm / evtl. Seesedimente	Damm
2	27,0	Weil der Stadt/Malersbuckel	Heilbronn-Fm., ausgelaugt	Einschnitt
3	27,6	Weil der Stadt/Steckental	Heilbronn-Fm., ausgelaugt	Anschnitt
4	35,40	östl. VE Forst	Heilbronn-Fm., ausgelaugt	Einschnitt
5	37,90	Bahnhof Althengstett	Unterer Muschelkalk / Verwitterungslehm	Damm
6	38,85	Lerchenweg/Althengstett	Unterer Muschelkalk / Verwitterungslehm	Damm
7	39,60	Thälesbach/Althengstett	Unterer Muschelkalk/ Bachsedimente	Damm
8	41,00	B 295	Rötton-Fm. / Oberer Buntsandstein	Damm
9	41,70	Heumaden	Verwitterungsschutt-Buntsandstein	Anschnitt
10	44,50	Fuchsklinge	Mittlerer Buntsandstein	Talfüllung
11	44,90	Welzberg	Mittlerer Buntsandstein	Damm

Tabelle 1.5-1: Lage der Testfelder im Untersuchungsbereich der Strecke

Im Nachlauf wurde an den Testfeldern 5, 6 und 7 im Bereich Althengstett ein weiterer, geänderter Aufbau geprüft. Dabei wurde kein Geotextil eingelegt und das Planum mit definiertem Brechkorngemisch (KG 1 entsprechend DBS 918 062) hergestellt.

In einer dritten Untersuchungsreihe wurden im Bereich Ostelsheim im Frühjahr 2016 (km 33,0 im Planfeststellungsabschnitt Ostelsheim,) ein weiteres Testfeld hergestellt und geprüft. Dabei wurde das Testfeld über einen längeren Abschnitt von ca. 50 m hergestellt. Es wurde dabei ein Planum bei ca. 0,55 - 0,65 m u. SOK hergestellt und geprüft. Der darunter hergestellte Aufbau waren ca. 0,3 m Kies-Sand und eine funktionierende Tiefenentwässerung ca. 1,2 m u. SOK.



2. GEOTECHNISCHE VERHÄLTNISSE

2.1 Morphologie und Vegetation

Die Trasse der Hermann-Hesse-Bahn verläuft vom Bahnhof Weil der Stadt (km 26,1) nach Süden bis zur Querung der B 295 in Dammlage. Der Einschnitt der Bundesstraße unterbricht die historische Trasse. Südlich geht die Strecke dann über in eine Anschnittslage und folgt der Westflanke des Steckentals bis ca. km 28,6. Die Strecke soll dann in einem neu zu erstellenden Tunnel die Hacksbergsschleife abkürzen und in einer Rechtskurve auf den bestehenden Trassenverlauf nördlich von Ostelsheim einschwenken.

Bis km 35,3 verläuft die Strecke in Anschnitts- und Dammlage am Nordrand von Ostelsheim entlang. Die Strecke steigt kontinuierlich, nach dem Ortsende von Ostelsheim wird die L 183 in einem ebengleichen Bahnübergang gequert. Ab hier beginnt der östliche Voreinschnitt des Tunnel Forst der am Portal nach ca. 1,8 km eine Tiefe von ca. 40 m erreicht. Im Tunnel (km 36,4 bis km 37,1) steigt die Strecke weiter an. Nach dem westlichen Voreinschnitt (bis ca. km 37,4) geht die Strecke in Dammlage über und erreicht am Bahnhof Althengstett ihren Scheitelpunkt (ca. 512 mNN).

Die wieder abfallende Strecke folgt dann dem nördlichen Rand der Gemeinde Althengstett in einer langgezogenen Linkskurve in der der Damm niedriger wird um nach Querung des Tälesbachs (bei ca. km 39,6) und der K4310 bei km ca. km 39,7 in den ca. 1,4 km langen Einschnitt Im Hau einzuschwenken. Die jetzt kontinuierlich abfallende Strecke verlässt den Einschnitt bei ca. km 40,7 um in Dammlage und einer Rechtskurve bei Calw-Heumaden in nordwestliche Richtung zu wechseln. Die Strecke wurde hier durch die Neutrassierung der B 295 unterbrochen.

Nach dem Haltepunkt Calw-Heumaden folgt die Strecke in leichter Damm- und Anschnittslage der Talflanke um nach einem kurzen Voreinschnitt bei km 43,7 im Tunnel Hirsau den Welzberg zu unterqueren. Nach dem Nordportal des Tunnels bei km 44,3 vollführt die Strecke eine Kehrschleife um den Welzberg, in der die Strecke nach dem kurzen nördlichen Voreinschnitt in Damm und Anschnittslage immer an der Bergflanke geführt wird. Die Trasse folgt dann einer südlichen Richtung um ca. 60 m tiefer entlang der Ostflanke des Nagoldtals bei ca. km 47,5 den Haltepunkt Calw ZOB zu erreichen. Die Strecke fällt dann am Hang des Nagoldtals weiter ab um am ehemaligen Bahnhof Calw südlich der Innenstadt geländegleich mit der Nagoldbahn (ca. 350 mNN) zu enden.



Die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn verläuft im Untersuchungsbereich zwischen ca. 407 mNN im Bf Weil der Stadt mit Scheitel in Althengstett bei ca. 510 mNN bis ca. 350 mNN am Endpunkt in Calw.

Im direkten Streckenbereich außerhalb der Voreinschnitte zum Tunnel Forst und im Einschnitt „Im Hau“ besteht keine geotechnisch relevante Vegetation bzw. soll diese im Vorlauf zu den Bauarbeiten im sicherheitsrelevanten Bereich vollständig gerodet werden. Die Bebauung entlang der Strecken umfasst Stellwerke, Strom-, Signal- und Leuchtmasten, Straßen, Bahnübergänge, Haltepunkte, Brücken, sowie Industriebauwerke, Parkplätze, Sportanlagen und private Wohnhäuser. Die bestehende Bebauung reicht an einigen wenigen Punkten < 10 m an die Strecke heran.

Eine Beeinträchtigung von Bestandsbauwerken und -anlagen ist bei der Ausführung von Arbeiten zur Oberbauerneuerung und Unterbauertüchtigung nicht zu erwarten. Werden Rammarbeiten geplant oder ausgeführt ist dies im Einzelfall zu untersuchen und die Beeinträchtigung je nach Lage zu prüfen.

2.2 Baugrund

Die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn durchfährt zwischen Weil der Stadt und Calw die Formationen des Mittleren Muschelkalks, des Unteren Muschelkalks des Oberen Buntsandsteins und des Mittleren Buntsandsteins. Die im Untergrund anstehenden Schichten sind je nach Trassenlage und Topographie noch von verschiedenen Auffüllungen, Erdbauwerken, Deckschichten und tiefreichenden Verwitterungsdecken überlagert.

Die sedimentären Schichten fallen regional mit ca. 2 - 3° in südöstliche Richtung [U 3] ein. Zwischen Weil der Stadt und Calw quert die Strecke an vier Stellen größere Verwerfungen und Störungszonen. Alle folgen einer Nordwestlich-südöstlichen Orientierung parallel der Hauptrichtung des nördlich gelegenen Fildergrabensystems und der regionalen Großstrukturen. Die erste Störung verläuft quer zum Würmtal bei ca. km 27,5. Die zweite Großstruktur, der "Hengstetter Keupergraben" eine ca. 30 - 50 m breite Grabenbruchstruktur quert die Streck im Tunnel Forst ungefähr in dessen Mitte. Die im Tunnel gefassten ergiebigen Quellen stehen mit den Störungszonen in direktem Zusammenhang. Ein weitere Störungsschar befindet sich nach der geologischen Karte [U 1] im Bereich Althengstett, aufgrund der tiefgründigen Verwitterung und der mächtigen Deckschichten im diesem Bereich ist



diese geotechnisch für den Streckenbau nicht relevant. Ein letzte Störung, die Heumadener Verwerfung folgt dem Tal des Ziegelbachs bei Heumaden und wird nach der geologischen Karte [U 1] von der Strecke kurz vor dem Tunnel Hirsau zweimal gequert.

Schicht Nr.	Kurzzeichen	Bezeichnung	Schichtmächtigkeit [m]	Schicht-UK [m u. SOK]	Bodenbeschreibung	
					Kornverteilung/ Farbe	Konsistenz/ Lagerungsdichte
1a	Mu	Oberboden ²⁾	0,1 – 1,0	< 1,0	Sand/Schluff, schluffig, sandig, tonig, kiesig humos, braun, grau	weich - steif
1b	-	Auffüllung (gemischt-körnig) ²⁾	0 - > 5,0	0 - > 5,0	Kies, sandig, tonig, grau, rot	mitteldicht
1c	-	Auffüllung (Gleisschotter) ²⁾	0,3 - 0,4	0,3 - 0,4	Kies, dunkelgrau	locker
2a	-	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	0 - > 5,0	0 - > 5,0	Ton, kiesig / Kies, tonig, hellbraun	weich - halbfest / locker - mitteldicht
2b	-	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein ²⁾	0 - > 5,0	0 - > 5,0	Kies, sandig, schluffig, tonig, hellbraun-grau	halbfest-fest
2c	-	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	2,0 - > 5,0	ca. 2,0 - > 5,0	Ton, Schluffe, sandig, z.T. kiesig, z.T. organogen	weich
3	m6, mmD	Diemel-Fm. (Mittlerer Muschelkalk) ²⁾	8 - 10	0 - > 5,0	Dolomitstein, Kalkstein unverwittert, weiß-beige unverwittert, angewittert	Fels



Schicht Nr.	Kurz- zei- chen	Bezeichnung	Schicht- mächtigkeit [m]	Schicht- UK [m u. SOK]	Bodenbeschreibung	
					Kornverteilung/ Farbe	Konsistenz/ Lagerungs- dichte
4a/4b	m5, mmH	Heilbronn-Fm. - ausgelaugt (Mittlerer Muschelkalk) ²⁾	20 - 30	0 - > 5,0	Tonstein, Mergelstein, entfestigt, zer- setzt durchsetzt mit Dolomitstein-bän- ken braun-grau	weich-halb- fest (locker)
5	m4, mmK	Karlstadt-Fm. (Mittlerer Muschelkalk) ³⁾	8 - 12	0 - > 5,0	Dolomitstein, Kalkstein unverwittert, grau unverwittert, an- gewittert	Fels
6a	muF	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - ver- wittert - angewittert	4 - 6	0 - > 5,0	Mergelstein, Dolomitstein, entfestigt, verwit- tert, angewittert, hellbraun-grau	halbfest-fest (Fels/ verwittert)
6b	muF	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) unverwittert ⁴⁾	20 - 30	0 - > 5,0	Mergelstein, Dolomitstein unverwittert, grau	Fels
7a	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein), verwittert ²⁾	2 - 4	0 - > 5,0	Ton, Schluff san- dig, kiesig rot	weich-halb- fest (verwitterter Tonstein)
7b	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) unverwittert/ange- wittert	12	0 - > 5,0	Tonstein, Schluff- stein, Feinsandstein unverwittert, rot	Fels
8a	soP/sm /sVs	Sandsteine des Oberen und Mittle- ren Buntsand- steins verwittert ²⁾	1 - 4	0 - > 5,0	Sandstein, geringmächtige Tonstein-Zwi- schenlagen verwittert, ange- wittert, rot	Fels, verwittert



Schicht Nr.	Kurz- zei- chen	Bezeichnung	Schicht- mächtigkeit [m]	Schicht- UK [m u. SOK]	Bodenbeschreibung	
					Kornverteilung/ Farbe	Konsistenz/ Lagerungs- dichte
8b	soP/sm /sVs	Sandsteine des Oberen und Middle- ren Buntsand- steins unverwittert 2)	> 200	0 - > 5,0	Sandstein, geringmächtige Tonstein-Zwi- schenlagen unverwittert, rot	Fels

- 1) mittlere Schichtunterkante
2) nicht in allen Bohrungen erkundet
3) Schicht-UK nicht aufgeschlossen

Tabelle 2.2-1: Schematischer Baugrundaufbau und angetroffene Schichten im Streckenbereich

Schicht 1a - Mutterboden: Oberflächennah steht im Nahbereich der Strecke zum Teil Mutterboden in geringem, geotechnisch nicht relevanten Umfang an.

Schicht 1b - Auffüllungen (gemischtkörnig): Es wurden in den allermeisten Aufschlusspunkten im direkten Gleisbereich oberflächennah mindestens geringmächtige Auffüllungen, z.T. nur als Ausgleichsschicht angetroffen. Bei den Auffüllungen handelt es sich um feinsandige bis sandige, schwach bis stark schluffige, teilweise tonige Kiese oder schwach kiesige Schluffe und Sande. Die Auffüllungen bestehen auch aus kiesigen, feinsandigen, tonigen Schluffen, die inhomogen ausgebildet sind und Kalkstein-, Sandstein-, und Dolomitstein-Bruchstücke enthalten. Die Konsistenz der Schluffe reicht von weich und steif bis halbfest bzw. es liegt nach der Bodenansprache eine mitteldichte Lagerung vor. Das tonige Material weist teilweise auch weiche Konsistenzen auf. Die Farbe der Auffüllungen reicht von grau, gelbbraun, beige bis bunt.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 2 - 19$. Es ergibt sich eine lockere bis dichte 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 Gleiskörper wurde oberflächennah regelmäßig Gleisschotter in den Sondierungen angetroffen. Es handelt sich um grauen - graubraunen Kies / Steine, welche teilweise sandig und schluffig bzw. kiesig sind.



Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 2 - 15$. Es ergibt sich eine lockere bis mitteldichte Lagerung. In der Schicht 1c muss mit Rammhindernissen in Form von Grobkies und Steinen gerechnet werden.

Schicht 2a - Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk: Bei der als Verwitterungslehm auf Muschelkalk angesprochenen Schicht handelt es sich laut der Erkundungen um einen kiesigen, feinsandigen, tonigen Schluff bzw. um einen steinigen, sandigen, schwach schluffigen, schwach tonigen Kies. Das beige bis hellgraubraune Material ist teilweise inhomogen und erdfeucht und weist aus bodenmechanischer Sicht überwiegend Eigenschaften eines bindigen Bodens auf.

Die Schlagzahlen der schweren Rammsonde lagen zwischen $N_{10} = 1 - 24$. Durch den raschen Anstieg der Schlagzahlen beim Übergang zu Schicht 2b kann der Übergang zum angewitterten Festgestein grundsätzlich abgeschätzt werden. Das Material zeigt sich in den Kernbohrungen als brauner steifer bis weicher schluffiger Ton mit geringmächtigen, genesebedingten bankigen verwitterten-angewitterten Kalksteinzwischenlagen, hellbraune kiesige, sandige und tonige Schluffe, sowie hellbraun-beigen sandigen, kalkigen Kies durchsetzt mit Mergelstein-Bruchstücken in Stein- und Blockgröße. Das Material zeigt anhand der Bohrerergebnisse steife bis halbfeste, stellenweise auch weiche, nach unten hin auch feste Konsistenzen 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 2a (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 Unteren und Mittleren Muschelkalks, der nahezu vollständig in einen teilweise bindigen, teilweise gemischtkörnigen Boden übergegangen ist. Einzelne Restbänke in Form von Festgesteinslagen sind nicht auszuschließen.

Schicht 2b - Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein: Im Streckenbereich ab Calw-Heumaden wurde bis in eine Tiefe von 4 m unter Gelände stark verwitterter und entfestigter Verwitterungsschutt und Hangschutt des Buntsandsteins angetroffen. Es handelt sich bei Schicht 2b um in situ verwitterten, zum Teil abgerutschtes 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 2b (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. Einzelne Restbänke in Form von Festgesteinslagen sind nicht auszuschließen.

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 3 - Dolomitstein und Kalkstein der Diemel-Formation, unverwittert – angewittert (Mittlerer Muschelkalk, m6, mmD, früher auch Obere Dolomit-Fm.): Im Bereich Weil der Stadt und im östlichen Voreinschnitt Tunnel Forst wurden in den Aufschlüssen gering verwitterte bis unverwitterte Festgesteine der Diemel-Formation angetroffen. Die hellgrauen, weißen bis beigen Dolomit- und Kalksteine werden auch als "Oberer Dolomit" bezeichnet. Die Formation hat eine Gesamtmächtigkeit von ca. 10 m. Nach oben hin nimmt der Verwitterungsgrad zu, und die Schicht geht in Residualtone der Schicht 2 über (Verwitterungslehm). Die Kalk- und Dolomitsteine sind zerfallen, insbesondere an Schichtfugen, die Festigkeit der Gesteine rangiert zwischen gering bis hoch, die Kornbindung ist überwiegend gut. Schichtweise treten Mergelsteine auf, die oberflächennah deutlich höhere Verwitterungsgrade zeigen.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 3 (Diemel-Formation, Mittlerer Muschelkalk, unverwittert - angewittert) eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R1-R3** und überwiegend **Verwitterungsgrad W1-W3**. Zwischengelagert sind deutlich stärker verwitterte und geringer feste Mergelsteinschichten. Bautechnisch handelt es sich um überwiegend schwach verwitterten Fels, der nach oben hin in mit Karbonatgesteinsblöcken und -kies durchsetzten Residual- und Verwitterungston/Verwitterungsschutt (Schicht 2) übergeht.



Schicht 4a/4b - ausgelaugte Heilbronn-Formation (Mergelstein, Tonstein verwittert, entfestigt mit Dolomitsteinbänken) (Mittlerer Muschelkalk, m5, mmH, früher auch Salinar-Fm.): Die Schicht 4 wurde in den Aufschlüssen im Bereich Weil der Stadt, Ostelsheim und in den Böschungen des Einschnitts "Im Hau" angetroffen. Die Mächtigkeit beträgt bis ca. 30 m.

Die sedimentären Schichten zeigen sich im Aufschluss als verwitterte und entfestigte Ton- und Mergelsteine, zum Teil als bindige Böden in steifer bis teilweiser weicher Konsistenz (Schicht 4a) durchsetzt mit Kies, Steinen und Blöcken als Resten von Karbonatgesteinslagen und -bänken (Schicht 4b), die zum Teil auch verstürzt und umgelagert als nicht verfestigte Schutt- und Blockmassen auftreten können.

Die inhomogenen Gesteine der ausgelaugten Heilbronn-Formation sind evaporitische Bildungen mit einem ursprünglich hohem gesteinsbildenden Anteil an Halit und Anhydrit (Steinsalz und Gips). Aufgrund oberflächennaher Auslaugungsprozesse wurden diese löslichen Minerale vollständig ausgelaugt. Die verwitterten Karbonatgesteine und Böden der Schicht 4 sind daher stark gestört in ihrer Lagerung, stark verwittert und zersetzt. Die ursprüngliche (nicht ausgelaugte) Mächtigkeit der Formation hat sich durch Auslaugung stark vermindert und auf ca. 1/3 der ursprünglichen Mächtigkeit reduziert.

Bei der Baugrundsicht 4a/4b handelt es sich um einen durch Verwitterungs- und Auslaugungsprozesse teilweise vollständig in einen überwiegend bindigen Boden mit hohem Grobkornanteil übergegangenen Fels. Auslaugungsprozesse traten schichtweise entsprechend der genesebedingten ursprünglichen Mineralzusammensetzung der evaporitischen Gesteine auf, dies führt durch Volumenverlust, Verstürzen und Verwitterung zu einer hohen Inhomogenität der ausgelaugten Formation. Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14°689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14°689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 4 (ausgelaugte Heilbronn-Formation, Mittlerer Muschelkalk) eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R0-R2** (einzelne Blöcke können R4 erreichen) und **Verwitterungsgrad W4-W5**. Bautechnisch handelt es sich um gemischtkörnigen bis bindigen Boden (Schicht 4a) durchsetzt mit grobkörnigen Gesteinsfragmenten und härteren, teilweise durchgehenden Karbonatgesteinsbänken verschiedener Mächtigkeit (Schicht 4b).

Schicht 5 - Karlstadt-Formation (Dolomitstein, Kalkstein, unverwittert - angewittert) (Mittlerer Muschelkalk, m4, mmK, früher auch Geislingen-Fm.): Im Streckenbereich Weil der Stadt und Be-



reich Tunnel Forst wurden in den in den Aufschlüssen hell- bis dunkelgraue stark kalkhaltige, dolomitische, massige bis dick gebankte unverwitterte Kalksteine und Dolomitsteine angetroffen. Unter-geordnete Bereiche von Klüften und Schichtfugen zeigten Zeichen höherer Verwitterung, dies stand meist mit wasserführenden Schichten in Zusammenhang. Die Unterkante der Schicht wurde nicht direkt aufgeschlossen.

Das Gestein ist meist dicht und zeigt geringe, mäßig hohe, schichtweise auch hohe Festigkeiten und eine überwiegend gute Kornbindung. Sedimentäre Strukturen sind als feinlamierte z. T. wellige Schichtung, teilweise deutlicher Bioturbation erkennbar.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14°689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14°689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 5 (Karlstadt-Formation, Mittlerer Muschelkalk, unverwittert) eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R4** und **Verwitterungsgrad W0**. Bautechnisch handelt es sich um frischen, überwiegend angewitterten bis unverwitterten Fels.

Schicht 6a - Dolomitstein und Mergelstein der Freudenstadt-Formation, verwittert - angewittert (muF, FDS-Fm., Unterer Muschelkalk): Bei Ostelsheim, Althengstett und Calw-Heumaden wurde ab ca. 4 - 5 m unter Ursprungsgelände bis in eine Tiefe von ca. 15 - 18 m in den Aufschlüssen stark bis mäßig verwitterte, angewitterte Festgesteine der Freudenstadt-Formation angetroffen. Die braunen verwitterten Mergelsteine und Dolomitsteine sind zerfallen, insbesondere an den welligen Schichtflächen. Ihre Festigkeit ist als gering bis mürbe einzustufen, die Kornbindung ist nur mäßig.

Der Übergang von Schicht 2a zu Schicht 6a bildet keine regelmäßig ausgebildete Ebene. Es ist in der Regel mit einem Übergangshorizont von 1 - 3 m Mächtigkeit mit lokalen Sprüngen des Verwitterungsgrades von verwittert-zersetzt zu angewittert-unverwittert und entsprechenden kleinräumigen Änderungen der Festigkeiten auszugehen. Die Schicht 6a ist nicht rammbar, die Rammsonde steht auf dieser Schicht rasch auf.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14 689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14 689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 6a (Unterer Muschelkalk, verwittert - angewittert) eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R1-R2** und **Verwitterungsgrad W1-W3**. Bautechnisch handelt es sich um einen stark bis schwach verwitterten Fels, der zum Teil auch als grobkörniger bis gemischtkörniger, steiniger, blockiger Kies mit bindigen Anteilen in dichter Lagerung bzw. fester Konsistenz anzusprechen ist.



Schicht 6b - Dolomitstein und Mergelstein der Freudenstadt-Formation, unverwittert (muF, FDS-Fm., Unterer Muschelkalk): Bei Ostelsheim, Althengstett und Calw-Heumaden wurde in den Aufschlüssen die Schicht 6b ab einer Tiefe von 15 - 18 m aufgeschlossen. Diese Tiefe des Verwitterungshorizont ist erfahrungsgemäß typisch in der Region für die Schichten des Unteren Muschelkalks unter alten, nicht durch Tiefenerosion beeinflussten Geländeoberflächen. Der Übergang vom verwitterten und angewitterten Gestein zum unverwitterten kann im kleinen Maßstab um mehrere Meter abweichen und ist an lokale Klüfte, sedimentäre Strukturen und die Topographie gebunden. Die Verwitterung des Muschelkalkgesteins geht aufgrund von Oxidationserscheinungen durch fließendes Wasser meist mit einem Farbumschlag von grauen Farbtönen zu braun-beigen Farben einher. Der Farbumschlag geht meist der Herabsetzung der Festigkeit durch Verwitterung voraus.

Bei den Festgesteinen der Schicht 6b handelt es sich um hell- bis dunkelgrauen Dolomitstein, Dolomitmergelstein und Mergelstein, der keine oder nur minimale Zeichen von Verwitterung zeigt. Das Gestein ist meist dicht und zeigt geringe, mäßig hohe, schichtweise auch hohe Festigkeiten und eine überwiegend gute Kornbindung. Die sedimentären Strukturen sind als feinlaminierter z. T. wellige Schichtung erkennbar. Zum Teil zerbricht das Gestein an den rauen bis ebenen Schichtflächen.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14 689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14 689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 6b (Unterer Muschelkalk, unverwittert) eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R3-R4** und **Verwitterungsgrad W0**. Bautechnisch handelt es sich um frischen, unverwitterten Fels.

Schicht 7a - Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein), verwittert: Bei Althengstett und ab dem Einschnitt "Im Hau" bei Calw-Heumaden stehen im Untergrund der Strecke die verwitterten Schichten der Rötton-Fm. des Oberen Buntsandsteins mit einer Gesamtmächtigkeit von ca. 4 - 5 m an. Bei den anstehenden verwitterten Schichten der Rötton-Fm. handelt es sich überwiegend um halbfeste - feste, tonige, teilweise schwach kiesige rote, braune, teils graue Schluffe.

Der verwitterte Buntsandstein der Rötton-Formation wurde als toniger, sandiger, Schluff bzw. verwitterter Sand- und Schluffstein angesprochen. Das zersetzte Material ist halbfest, teils 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 $N_{10} = 5 - 42$. 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 die Formation unverwittert in kleinen Bereichen eine grün-graue Färbung ansonsten ist sie als buntsandstein-typisch rote laminierte geschichtete, dichte, schluffige und feinsandige Tonsteine und dünnplattige tonige Feinsandsteine mit Bankmächtigkeiten bis 10 cm ausgebildet. Bei diesen Ton- und Schluffsteinlagen handelt es sich um veränderlich festen Fels. Die Sandsteine sind glimmerführend und zeigen eine überwiegend tonige bis quarzitisches Matrix. Die Schicht zeigt z.B. in den Bohrungen eine Mächtigkeit zwischen ca. 4 - 5 m.

Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14 689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrads (DIN EN ISO 14 689-1, Tab. 13) ergibt für die Schicht 7 (Rötton-Fm.) typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklassen R2-R4** und **Verwitterungsgrad W0-W1**. Bautechnisch betrachtet handelt es sich um angewitterten bis unverwitterten Fels.

Schicht 8a - Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins, verwittert: Der verwitterte Obere und Mittlere Buntsandstein besteht aus rotem, plattigem Sandstein mit teilweise stark tonigen Zwischenschichten. Der teilweise feinsandige Sandstein enthält tonige Lagen, und der grobkörnigere Sandstein führt Quarzgerölle. Die roten bis weißlichen Sandsteine zerfallen insbesondere an Tonsteinzwischenlagen diese sind selbst oft mürbe, z.T. komplett entfestigt und zu Ton zersetzt. 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 Gebirges ab.



Eine felstechnische Klassifizierung der Festigkeit (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 5) und des Verwitterungsgrades (DIN EN ISO 14689-1, Tab. 3) ergibt für die Schicht 8a typischerweise eine Einstufung in die **Festigkeitsklasse R0 - R1** und **Verwitterungsgrad W4 - W3**. Bautechnisch handelt es sich um verwitterten Fels.

Schicht 8b - Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins unverwittert (soP/sm): Die stratigraphisch tiefste Schicht bilden die dichten, unverwitterten, roten bis weißlichen Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins. Diese bilden den tieferen Untergrund der Strecke zwischen Calw-Heumaden und Endpunkt der Streck im Nagaoldtal.

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 W2 - W0**. Bautechnisch handelt es sich um unverwitterten Fels.

Der Untergrundaufbau stimmt grundsätzlich mit den stratigraphischen Angaben der geologischen Karte [U 1] überein.

2.3 Hydrogeologie / Grundwasser

Die Schichten des Unteren Muschelkalks bilden einen bis ca. 40 m mächtigen überwiegend schichtig gegliederten Kluft und/oder Karstgrundwasserleiter, Basis des Grundwasserleiters ist die untere Begrenzung der jeweils wasserleitenden Schicht. Die tiefsten dolomitischen Schichten des Unteren Muschelkalks stellen einen regionalen Grundwasserleiter dar, dessen Basis die Oberkante des als Grundwassergeringleiters einzuordnende Rötton-Formation des Oberen Buntsandsteins ist. Die Rötton-Formation trennt die regionalen Grundwasserstockwerke von Muschelkalk und Buntsandstein.

Der Obere Buntsandstein, der unterhalb des Muschelkalks lagert, kann sowohl als Grundwasserleiter als auch als Grundwassergeringleiter wirken. Der mäßig verwitterte bis unverwitterte Buntsandstein ist ein Kluftgrundwasserleiter. Die Durchlässigkeit ist hier abhängig von der Klüftigkeit des Gesteins und der Öffnungsweite der Klüfte. Bei ausgeprägter Klüftigkeit kann die Durchlässigkeit hoch sein. Weiterhin kann es zur Ausbildung von Schichtquellen kommen, da tonigere Bereiche im Buntsandstein Stauhorizonte bilden.



Der natürliche **Vorfluter** für die Ortslage Weil der Stadt bis km ca. 26,9 ist der ca. 7 km lange **Talackerbach**, welcher westlich von Simmozheim auf ca. 510 mNN entspringt und ca. 700 m weiter östlich der Bahnstrecke in die Würm mündet. Der lokale Vorfluter für den weiter südlich liegenden Streckenabschnitt bis zum Planfeststellungsabschnitt Tunnel Ostelsheim ist die **Würm**. Der Bereich Ostelsheim bis zum Tunnel Forst wird über den **Altbach** entwässert, der Bereich Althengstett über den **Tälesbach** Richtung Nagold. Ab dem Einschnitt "Im Hau" bildet der Ziegelbach, ab dem Tunnel Hirsau wieder der Tälesbach und **Nagold** den Vorfluter.

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

Der auf Grundlage der in den Aufschlüssen und beobachteten Grundwasserstände und Grundwasserverhältnissen festgelegte **Bemessungswasserstand für den Endzustand** liegt für alle Streckenbereiche aufgrund der im Projektgebiet angetroffenen teilweise bindigen Böden auf **Höhe GOK**. Soweit durch rückstaufreie Drainagemaßnahmen der Aufstau bzw. die Entwicklung von Wasserdruck an den jeweiligen Bauwerken/Bauteilen wirkungsvoll verhindert wird, kann der Bemessungswasserstand auf die jeweilige Rohroberkante der Drainage abgesenkt werden.

Der **Bauwasserstand** kann basierend auf den in den ausgeführten Aufschlüssen angetroffenen hydrogeologischen Verhältnissen entsprechend Anlage 2.3 und Tab. 2.3-1 angesetzt werden. Es ist bis zur GOK mit Stau- und Schichtwässern zu rechnen. Für einzelne Bauwerke wurde ggf. abweichende Bauwasserstand definiert, diese gelten jeweils nur in den einzelnen Bauwerksbereichen.

Bau- und Bemessungswasserstände in den jeweiligen Streckenbereichen sind in Tabelle 2.3-1 dargestellt.

km von	km bis	Bemessungs-Wasserstand	Bau-Wasserstand
26,10	27,75	6,0 m u. GOK	6,0 m u. GOK
27,75	35,25	PfA Tunnel Ostelsheim	
35,25	37,60	= GOK	= GOK
37,60	38,20	= GOK	7,0 m u. GOK



km von	km bis	Bemessungs-Wasserstand	Bau-Wasserstand
398,2	39,20	= GOK	4,0 m u. GOK
39,20	40,00	= GOK	4,0 – 0,0 m u. GOK
40,00	40,75	= GOK	= GOK
40,75	42,85	= GOK	2,5 m u. GOK
42,85	40,00	= GOK	6,0 m u. GOK
40,00	43,45	= GOK	5,0 m u. GOK
43,45	43,80	= GOK	5,0 – 0,0 m u. GOK
43,80	44,30	= GOK	= GOK
44,30	45,20	= GOK	0,0 – 17,0 m u. GOK
45,20	47,80	= GOK	17,0 m u. GOK

Tabelle 2.3-1: Bau- und Bemessungswasserstände nach Streckenbereichen

Wasseranalysen auf **Betonaggressivität** des Grundwassers nach DIN 4030 und **Stahlaggressivität** nach DIN 50 929 im Untersuchungsgebiet liegen aus früheren Untersuchungen vor. Demnach und nach unseren Erfahrungen mit den Wässern und Böden im Untersuchungsbereich ist in der Regel 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.

Die beschriebenen Abschnitte der Hermann-Hesse-Bahn liegen außerhalb von Wasserschutzgebieten. Stromabwärts liegen nach [U 5] die WSG "Siechenhäusle - ZV Döffingen-Dätzingen-Schafhausen" und "Hinter dem Berg, Knappshalde ZV Renninger Gruppe". Eine Hochwassergefährdung der Strecke ist im Untersuchungsgebiet nicht zu erwarten.

Hinsichtlich der **Durchlässigkeit** sind die im Baufeld angetroffenen Schichten nach DIN 18 130 aufgrund von durchgeführten Laborversuchen zur Bestimmung der Korngrößenverteilung sowie von Erfahrungs- und Literaturwerten wie folgt einzustufen:



Schicht Nr.	Bezeichnung	Durchlässigkeit k_f [m/s]	Durchlässigkeit nach DIN 18 130
1a	Oberboden	1×10^{-8} bis 1×10^{-4}	stark durchlässig bis schwach durchlässig
1b	Auffüllung (gemischtkörnig)	1×10^{-7} bis 1×10^{-3}	stark durchlässig bis schwach durchlässig
1c	Gleisschotter	$> 1 \times 10^{-3}$	stark durchlässig
2a	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	1×10^{-8} - 1×10^{-5}	durchlässig bis schwach durchlässig
2b	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein ²⁾	1×10^{-7} bis 1×10^{-5}	durchlässig bis schwach durchlässig
2c	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	1×10^{-10} bis 1×10^{-6}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
5	Karlstadt-Fm. (Mittlerer Muschelkalk)	1×10^{-6} - 1×10^{-4} (Kluftgrundwasserleiter)	durchlässig bis stark durchlässig
6a	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - verwittert - angewittert	1×10^{-9} - 1×10^{-6} (schichtig gegliederter Kluft-/Karst-grundwasserleiter)	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
6b	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - unverwittert	1×10^{-7} - 1×10^{-5} (schichtig gegliederter Kluft-/Karst-grundwasserleiter)	durchlässig bis schwach durchlässig
7a	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) verwittert	1×10^{-12} bis 1×10^{-8}	sehr schwach durchlässig
7b	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) unverwittert	1×10^{-10} bis 1×10^{-7}	schwach durchlässig bis sehr schwach durchlässig
8a	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins verwittert	1×10^{-7} bis 1×10^{-5}	durchlässig bis schwach durchlässig
8b	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins unverwittert, angewittert	$\leq 5 \times 10^{-6}$, auf Klüften höher	schwach durchlässig (Kluftgrundwasserleiter)

Tabelle 2.3-2: Durchlässigkeiten

Durch die Wechsellagerung von verschiedenen durchlässigen Schichten und der Genese der Festgesteine ist von einem anisotropischen Verhalten der Durchlässigkeiten auszugehen. Die horizontale Durchlässigkeit ist daher in diesen tendenziell auch um mehrere Größenordnungen größer einzuschätzen als die vertikale (\geq Faktor 10). Auch die an Klüfte gebundene Durchlässigkeit in Festgesteinsschichten kann lokal 2- 3 10er Potenzen höher liegen als die angegebenen Werte.



2.4 Umwelttechnische Untersuchungen (Schotteranalytik)

Im Zuge der Streckenerkundung wurde durch die Heinz Burkhardt GmbH & Co. KG Schotterproben für umweltanalytische Untersuchungen genommen. Entsprechend der für Altschotter relevanten Richtlinien Ril 880.4010 und dem Merkblatt zur Verwertung von Gleisschotter in Baden-Württemberg wurden daraus Mischproben gebildet. Organoleptische Auffälligkeiten bei der Probennahme gab es keine. Die Schottermischproben wurden durch die Agrolab Labor GmbH untersucht. Gegenüberstellungen der Ergebnisse mit den Werten der Ril 880.4010 und der Landesrechtlichen Zuordnungswerten sind in Anlage 6.1 dargestellt, die vollständigen Ergebnisse der Laboranalysen sind in Anlage 6.2 dargestellt. Die Einzelproben und Mischprobenbildung sind in Tabelle 2.4-1 zusammengestellt.

In der Übersicht wurden weiterhin Daten aus der Auswertung der Therrien Umwelt Fachberatung von 2005 [U 11] für den Abtrag des Bahndamms für die Umgehung Calw-Heumaden und Ergebnisse der chemischen Schotterbeprobung aus dem Streckengutachten des IB Keutner von 2013 [U 6] berücksichtigt.

Wir weisen darauf hin, dass der Untersuchungsumfang durch das IB Keutner [U 6] für die Gesamtstrecke nicht ausreichend ist. Außerdem entspricht die im Gutachten für die Mischprobe im Einschnitt Im Hau vorgenommene Zuordnung zur LAGA-Klasse Z2 nicht den Regelwerken (danach > Z2).

Bereich	Schurf bei km	Einzelprobe	Mischprobe
26,10 - 26,85	26,220	A1	MP1-A
	26,420	A2	
	26,600	A3	
	26,748	A4	
26,85 - 27,75	26,950	A5	MP2-A
	27,120	A6	
	27,280	A7	
	27,550	A8	
	27,750	A9	
34,85 - 36,95	34,950	B1	MP1-B
	35,150	B2	
	36,470	B3	
	36,714	B4	
	36,870	B5	



DR. SPANG

Projekt: 36.4130

Seite 26

12.10.2016

Bereich	Schurf bei km	Einzelprobe	Mischprobe
36,95 - 38,45	37,070 37,790 37,470 38,115 38,337	B6 B7 B8 B12 B13	M2-B
38,45 - 39,10	38,538 38,560 38,796	B14 B18 B19	MP3-B
39,10 - 39,85	39,276 39,487 39,570	B23 B24 B27	MP4-B
39+60 - 41+05	39+60 - 41+05	IB Keutner, Einschnitt Im Hau	MP2 Keutner
39,85 - 41,90	41,154 41,442 41,574 41,801	B30 B38 B39 B40	MP5-B
41+20	Umgehung Calw- Heumaden, Ther- rien [U 11]	-	Plutonische Altschotter, 0 - 0,6 m
41+20	Umgehung Calw- Heumaden, Ther- rien [U 11]	-	Kalkschotter, 0,6 - 1,0 m
41,90 - 43,05	42,112 42,325 42,533 42,737 42,937	B42 B43 B44 B45 B46	MP6-B
43,05 - 43,80	43,116 43,304 43,505 43,705	B47 B48 B49 B50	MP7-B
43,80 - 44,50	43,905 44,105 44,305 44,437	B52 B53 B54 B56	MP8-B
44,50 - 45,55	44,637 44,832 45,032 45,232 45,432	C3 C4 C5 C6 C7	MP1-C



Bereich	Schurf bei km	Einzelprobe	Mischprobe
45,50 - 46,55	45,632	C8	MP2-C
	45,872	C9	
	46,110	C10	
	46,232	C11	
	46,432	C12	
46,55 - 47,10	46,632	C13	MP3-C
	46,832	C14	
	47,010	C15	
47,10 - 47,80	47,220	C22	MP4-C
	47,370	C24	
	47,526	C25	
	47,643	C27	

Tabelle 2.4-1: Einzelproben und Mischprobenbildung umweltchemische Analytik Gleisschotter

Neben den hier dargestellten Ergebnisse der chemischen Analytik liegt eine baustofftechnische Schotteranalyse der IG Kärcher mit Datum vom 14.01.2016 vor [U 10]. Demnach kann ein Großteil des vorhandenen Schotters nach Reinigung wiederverwendet werden.

2.5 Geotechnische Besonderheiten

Nach DIN EN 1998-1/NA liegt das Projektgebiet in der **Erdbebenzone 1** und der Untergrundklasse R (Gebiete mit felsartigem Untergrund). Das Projektgebiet ist in die Baugrundklasse B (mäßig verwitterte Festgesteine) einzugruppieren.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im **Frosteinwirkungsgebiet I und II** (Ril 836.4101 A04) bzw. **Forsteinwirkungszone I und II** nach RStO 12 (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen). Die Grenze liegt am Rand des Nagoldtals bei Calw-Heumaden. Aufgrund der oberflächennahen frostempfindlichen Böden sollte auf eine frostsichere Mindestgründungstiefe von 1,0 m geachtet werden.

Leitungen und Kabel sind im Baubereich tlw. vorhanden und müssen vorlaufend umverlegt werden bzw. sie sind zu sichern. Es ist eine Beweissicherung von betroffenen Leitungen erforderlich.

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



Schichten	Beschreibung
1b - Auffüllungen (gemischtkörnig)	leicht bis mittelschwer rammbär, mit Rammhindernissen ist zu rechnen
1c - Gleisschotter	leicht bis schwer rammbär
2a - Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	leicht bis mäßig rammbär, mit Rammhindernissen ist zu rechnen
2b - Verwitterungsschutt	mittelschwer rammbär, mit Rammhindernissen ist zu rechnen
2c - Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen	leicht bis mittelschwer rammbär
5 - Karstadt-Fm. (Mittlerer Muschelkalk)	nicht rammbär ¹⁾
6a - Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - verwittert - angewittert	nicht rammbär ¹⁾
6b - Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - unverwittert - angewittert	nicht rammbär ¹⁾
7a - Rötton, verwittert	schwer rammbär ¹⁾
7b - Rötton unverwittert/angewittert	schwer bis nicht rammbär ¹⁾
8a - Sandstein, verwittert	schwer bis nicht rammbär ¹⁾
8b - Sandstein, unverwittert	nicht rammbär ¹⁾

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

Tabelle 2.5-1: Rammpbarkeit der Bodenschichten

Bei mittelschwer und schwer rammbaren Böden sowie Böden die Rammhindernisse enthalten können (vg. Tab. 2.5-1) ist bei Rammarbeiten davon auszugehen, dass die Arbeiten ggf. nicht ohne Zusatzmaßnahmen (z.B. Lockerungs- und Austauschbohrungen) möglich sind. Dies ist im Zuge der weiteren Planung und bei der Ausschreibung zu beachten.

2.6 Schutzgebiete

Die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn liegt zum Teil in Schutzgebieten: dies sind das Landschaftsschutzgebiet "Heckengäu - Weil der Stadt", Naturschutzgebiet "Hacksberg und Steckental", FFH-



Gebiet "Gäulandschaft an der Würm", der Naturpark "Schwarzwald Mitte/Nord", das Naturschutzgebiete "Würm-Heckengäu" sowie das FFH-Gebiet "Calwer Heckengäu" und weiterhin Biotope der Offenland- und Waldbiotopkarierungen entlang der Strecke.

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.	Kurzzeichen	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frostempfindlichkeit ²⁾	Verdichtbarkeit ³⁾
			DIN 18 196	DIN 18 300 ¹⁾	DIN 18 301 ¹⁾		
1b	-	Auffüllung (gemischtkörnig) ²⁾	GW, GU, GU*, TL, UL	3 - 5 (6 - 7) ³⁾	BN 1 - BN 2, BS 1 - BS 4	F1 - F3	V1 - V3
1c	-	Auffüllung (Gleisschotter) ²⁾	GE, GW	3 - 4	BN 1 BS 1	F1	V1
2a	-	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	UL, TL, TM, TA, GT, GU*	3 - 5 (2) ⁷⁾	BN 1 - BN 2, BB 2 - BB 3, BS 1 - BS 4	F2 - F3	V2 - V3 ₈₎
2b	-	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein ²⁾	GU*, GU, GT*, SU*, SU TL, TM, UL, UM	3 - 5 (2) ⁷⁾ (6) ⁴⁾	BN 1 - BN 2, BB 2 - BB 3, BS 1 - BS 4	F1 - F3	V1 - V3
2c	-	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	UL, TL, TM, TA, GT, GU*, OU, OT	3 - 5 (2) ⁷⁾	BB2 - BB 3, (BS 1 - BS 2) (BO 1)	F2 - F3	V1 - V3 ₃₎
3	m6, mmD	Diemel-Fm. (Mittlerer Muschelkalk)	(Dst, Mst) / Dst, Mst ⁵⁾ , GT	6 - 7	FV 2 - FV6 FD 2 - FD 3	Fels (V1)	Fels (F2)



Schicht Nr.	Kurzzeichen	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frostempfindlichkeit ²⁾	Verdichtbarkeit ³⁾
			DIN 18 196	DIN 18 300 ¹⁾	DIN 18 301 ¹⁾		
4a	m5, mmH	Heilbronn-Fm. - ausgelaugt (Mittlerer Muschelkalk)	((Tst, Mst, Dst)), (Tst, Mst, Dst) ⁵⁾ GU*, UL, TL, TM	5, 6 (2) ⁷⁾	BB 2 - BB4, BS 1 - BS 4, FV 1	F3	V2 - V3
4b	m5, mmH	Kalk- und Dolomitsteinbänke in Heilbronn-Fm. - ausgelaugt (Mittlerer Muschelkalk)	(Dst), Dst, GU, GU*	6 - 7	FV 2 - FV 6, BS2 - BS 4	Fels (V2-V3)	Fels (F2-F3)
5	m4, mmK	Karlstadt-Fm. (Mittlerer Muschelkalk)	Dst, Mst ⁵⁾	7	FV 2 - FV6 FD 2 - FD 3	Fels	Fels
6a	muF	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - verwittert - angewittert	((Dst, Mst)) / (Dst, Mst) / GU*, TM, TL, TA	5 / 6	FV 1 - FV 3, FD 1 - FD 2	F2 - F3	V2 - V3 ⁶⁾
6b	muF	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) unverwittert	Mst, Dst ⁵⁾	6 - 7	FV 4 - FV 6, FD 1 - FD 3	Fels	Fels
7a	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) verwittert	UL, UM, TL, TM, SU*, ((Tst)), ((Ust)), ((Sst)) (Tst), (Ust), (Sst) ⁵⁾	5, 6	BN 2, BB 2 - BB 4, BA 1 - BS 4, (FV 1 - FV 3, FD 1) BS 1	F2 - F3	V2 - V3 ⁶⁾
7b	so4	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) unverwittert/ angewittert	Tst, Ust, Sst ⁵⁾	6 - 7	FV 4 - FV 6, FD 2 - FD 3	Fels	Fels
8a	soP/s m/sV s	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins verwittert	GU*, GU, GT*, SU*, SU, GW, ((Sst)), ((Tst)), (Sst), (Tst) ⁵⁾	4 - 6	BN 2, BB 2 - BB 4, BS 1 - BS 4, FV 2 - FV 3, FD 1 - FD 3	F1 - F2	V1 - V2



Schicht Nr.	Kurzzeichen	Bezeichnung	Klassifizierung nach			Frostempfindlichkeit ²⁾	Verdichtbarkeit ³⁾
			DIN 18 196	DIN 18 300 ¹⁾	DIN 18 301 ¹⁾		
8b	soP/s m/sV s	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins unverwittert/ angewittert	Sst, Tst ⁵⁾	6 - 7	FV 5 - FV 6, FD 2 - FD 3	Fels	Fels

1) gemäß DIN 18 3xx:2012-09

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

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

4) Bodenklasse 6 und 7 bei entsprechendem Steinanteil und Schutt

5) Bezeichnung nach DIN 4023

6) teilweise nicht verdichtbar

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

Tabelle 3.1-1: Bodenklassifizierung

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

3.2 Bodenkennwerte

Auf der Basis der Archivunterlagen und von umfangreichen Erfahrungen mit den im Projektgebiet anstehenden Böden lassen sich die in Tabelle 3.2-1 zusammengestellten Bandbreiten der Bodenkennwerte als charakteristische Kennwerte angeben. Die Kennwerte gelten für das Baugrundmodell gemäß DIN 4020. Lokale Abweichungen sind möglich.

Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden	Wichte unter Auftrieb	Reibungswinkel	Kohäsion	Undrainierte Kohäsion	Steifemodul
		cal γ_k [kN/m ³]	cal γ'_k [kN/m ³]	cal ϕ'_k [°]	cal c'_k [kN/m ²]	cal $c_{u,k}$ [kN/m ²]	cal $E_{s,k}$ ¹⁾ [MN/m ²]
1b	Auffüllung (gemischtkörnig) ²⁾	18 - 19	10	25 - 30	2	5 - 10	5 - 15



Schicht Nr.	Bezeichnung	Wichte feuchter Boden cal γ_k [kN/m ³]	Wichte unter Auftrieb cal γ'_k [kN/m ³]	Reibungswinkel cal ϕ'_k [°]	Kohäsion cal c'_k [kN/m ²]	Undrainierte Kohäsion cal $c_{u,k}$ [kN/m ²]	Steifemodul cal $E_{s,k}^{1)}$ [MN/m ²]
1c	Auffüllung (Gleisschotter) ²⁾	18	10	37,5	-	-	40 - 60
2a	Hanglehm, Verwitterungslehm auf Muschelkalk	20	10,5	25	10	35	8 - 12
2b	Verwitterungsschutt, Hangschutt auf Buntsandstein ²⁾	20	10,5	27,5	5	10 - 20	8 - 15
2c	Schwemmlehm, Tallehm, Aueablagerungen, z.T. organische Anteile und organogene Schluffe	18,5	8,5	22,5 - 25	5 - 10	5 - 30	5 - 10
4a	Heilbronn-Fm. - ausgelaugt	22,5	12,5	25	10	35	10 - 300
4b	Kalk- und Dolomitsteinbänke in Heilbronn-Fm. - ausgelaugt (Mittlerer Muschelkalk) ²⁾	25	15	27,5	5	35	15
6a	Freudenstadt-Fm. (Unterer Muschelkalk) - verwittert - angewittert	26,5	16,5	27,5	15	35	25
7a	Rötton-Fm. (Oberer Buntsandstein) verwittert	21	11	27,5	15	35	25
8a	Sandsteine des Oberen und Mittleren Buntsandsteins verwittert	25,5	15,5	30	5	10 - 50 ²⁾	50-150

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

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

Tabelle 3.2-1: Charakteristische Kennwerte



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

3.3 Felsmechanische Kennwerte

Nach und unseren Erfahrungen mit den im Baufeld anstehenden Gesteinen lassen sich für das Festgestein folgende Rechenwerte angeben.

Schicht-Nr.	Formation	Felsart	Wichte feuchtes Gebirge γ_k [kN/m ³]	Reibungs- Winkel $\varphi_{k'}$ [°]	Kohäsion $c_{k'}$ [kN/m ²]	Einax. Druckfestig- keit Ge- stein $\sigma_{c,k}$ [MN/m ²]	E-modul Gebirge $E_{s,k}$ [MN/m ²]
3	mmD	Kst, Dst	26,5	30	≥ 0	50 (25 - 100) ²⁾	1.000 - 5.000
4b	mmH	Dst	26,5	30	≥ 0	40 (25 - 100) ²⁾	1.000 - 5.000
5	mmK	Kst, Dst	26,5	35	≥ 0	50 (30 - 120) ²⁾	1.000 - 5.000
6a	muF	((Mst, Dst)) / (Mst, Dst)	26,5	30	≥ 0	1 - 30 ²⁾	20 - 500
6b	muF	Mst, Dst	26,5	35	≥ 0	50 (30 - 120) ²⁾	200 - 5.000
7b	soR	Tst, Ust, Sst	26,5	35	≥ 0	5 - 50 ²⁾	400 - 5.000
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: Felsmechanische Kennwerte

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



3.4 Homogenbereiche

3.4.1 Allgemeines

Boden und Fels ist gemäß den Normen der VOB/C (Ausgabe 2015) in Homogenbereiche einzuteilen, die für die Ausschreibung verwendet werden sollen. Ein Homogenbereich ist dabei ein begrenzter Bereich, bestehend aus einzelnen oder mehreren Boden- oder Felsschichten, der für die in den einzelnen Gewerken einsetzbaren Baugeräte vergleichbare Eigenschaften aufweist. Die Homogenbereiche sind somit ggf. gewerkespezifisch festzulegen und hängen von den einsetzbaren Baugeräten ab. Da die geplanten Bauverfahren zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch nicht festgelegt waren, erfolgt eine vorläufige Einteilung auf Basis der im Gutachten vom 10.09.2015 empfohlenen Verfahren die im Zuge des Planungsprozesses bis zur Ausschreibung zu überprüfen und ggf. zu überarbeiten ist.

Umwelttechnische Untersuchungen des Aushubsbereichs wurden nur für den Gleisschotter ausgeführt, umweltrelevante Inhaltsstoffe werden daher bei der Einteilung der Homogenbereiche mangels Daten nur hier berücksichtigt.

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

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

3.4.2 DIN 18 300 Erdarbeiten

Für die Festlegung der Homogenbereiche für Erdarbeiten (DIN 18 300) wird davon ausgegangen, dass der Aushub mit einem Bagger hoher Leistungsklasse ausgeführt wird, der Boden nicht auf der Baustelle zwischengelagert und vor Ort nicht wieder eingebaut wird. Daher berücksichtigen die Homogenbereiche nur das Lösen, nicht den Wiedereinbau und die Verdichtung. Sollte ein Wiedereinbau vorgesehen werden, sind die Homogenbereiche anzupassen.



Die Homogenbereiche beziehen sich auf die für die im Zuge der Erneuerung des Streckenoberbaus und der oberen Bereiche des Unterbaus zu erwartenden Erdarbeiten mit Eingriffen bis max. ca. 1,0 - 1,5 m u. GOK, darüber hinausgehende Erdarbeiten sind nicht berücksichtigt. In den nachfolgenden Tabelle 3.4.2-1 und 3.4.2-2 ist die Zuordnung der in diesem Gutachten angegebenen geologischen Schichten zu Homogenbereichen für Erdarbeiten, sowie die zusammengefassten Eigenschaften der Homogenbereiche angegeben.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche	
	Gleisschotter	Erd-A
Schicht Nr.	1c	1b, 2a, 2b, 2c, 3a, 4a, 6a, 4a, 7a, 8a
ortsübliche Bezeichnung	Gleisschotter	Auffüllung, Hanglehm, Verwitterungslehm, Verwitterungsschutt, Hangschutt, Verwitterungsschutt, Rötton, Buntsandstein, verwittert-angewittert
umweltrelevante Einstufung	Z1.1 - Z 2	n.a.
Bodenart, Korngrößenverteilung	G, s'-s, u'-u, t'-t	G, s'-s, u'-u, t'-t / S, g'-g*, u'-u, t'-t / U, g'-g*, s'-s, t'-t / T, g'-g*, s'-s, u'-u enggestuft, weitgestuft bis intermittierend
Massenanteil		
Steine [%]	< 20	< 40
Blöcke [%]	< 10	< 20
große Blöcke [%]	< 5	< 10
natürliche Dichte [g/cm ³]	1,6 - 2,2	1,5 - 2,3
undrainierte Scherfestigkeit c_u [kN/m ²]	-	0 - 60
Wassergehalt w_n [%]	5 - 10	5 - 40
Plastizität $I_P^{1)}$	-	leicht plastisch - mittelpastisch
Konsistenz $I_C^{1)}$	-	weich - halbfest
bezogene Lagerungsdichte $I_D^{1)}$	locker - mitteldicht	locker - mitteldicht
organischer Anteil $v_{gl}^{1)}$	nicht organisch - schwach organisch	nicht organisch - schwach organisch
Bodengruppe	GT, GU, GU*, GW, GE, GI, A	TA, TM, TL, UA, UM, UL, UM, SU, SU*, ST, ST*, GT, GU, GU*, GW, GE, GI, A

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 688-2

Tabelle 3.4.2-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten in Boden



Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Erd-C
Schicht Nr.	3, 4b, 5, 6a, 6b, 7b, 8b
ortsübliche Bezeichnung	Mittlerer Muschelkalk, Unterer Muschelkalk, Rötton, Buntsandstein, unverwittert
Benennung von Fels ¹⁾	Mst, Dst, Kst, Tst, Ust, Sst
Dichte [g/cm ³]	2,0 - 2,6
Verwitterung und Veränderungen, Veränderlichkeit ¹⁾	frisch - verfärbt nicht veränderlich bis veränderlich
einaxiale Druckfestigkeit [MN/m ²]	10 - 150
Trennflächenrichtung, Trennflächenabstand, Gesteinskörperform	Fallrichtung: 0° - 360° Fallwinkel: 0° - 10° Trennflächenabstand: 10 mm - 1500 mm Gesteinskörper ¹⁾ : tafelförmig

1) Begriffe nach DIN EN ISO 14 689-1

Tabelle 3.4-2: Homogenbereiche gemäß DIN 18 300 für Erdarbeiten im Festgestein

3.4.3 DIN 18 320 Landschaftsbauarbeiten

Oberboden ist nach DIN 18 320 als eigener Homogenbereich auszuweisen. Der Oberboden ist vor Beginn der Arbeiten abzuschieben und ist zur Rekultivierung zu verwerten. Soweit Oberboden im Baufeld ansteht ist dieser wie folgt einzustufen.

Eigenschaft / Kennwert	Homogenbereiche
	Oberboden
Bodengruppe nach DIN 18 196	OU / OH
ortsübliche Bezeichnung	Mutterboden
Bodengruppe nach DIN 18 915	1a
Massenanteil	
Steine [%]	< 10
Blöcke [%]	< 5
große Blöcke [%]	< 5

Tabelle 3.4.3-1: Homogenbereiche gemäß DIN 18 320 für Oberboden



4. FOLGERUNGEN

4.1 Geotechnische Streckenbereiche und Schichtenverlauf

Da die Strecke der Hermann-Hesse-Bahn verschiedene geologische Formationen durchfährt und einer abwechslungsreichen Topographie folgt, wurden für die geotechnische Bearbeitung und den Entwurf des neuen Oberbaus entlang der Strecke Bereiche mit ähnlichen geotechnischen Eigenschaften gebildet. Diese orientieren sich einerseits an der Untergrundgeologie und andererseits an der Lage der Strecke (Einschnitt, Anschnitt, Damm, Tunnel, etc.)

Die einzelnen geotechnischen Streckenbereiche nach den Ergebnissen der Erkundung sind in Tabelle 4.1-1 dargestellt.

von Strecken-km	bis Strecken-km	Lage	Streckenbereich	dominierende Geologie	Schicht Nr.
26,10	26,38	Damm	Damm Bf Weil der Stadt	Dammschüttung auf Mittlerem Muschelkalk	1b über 4a/b, 5 und 6
26,38	26,41	Damm	Damm Querung Taläckerbach	Dammschüttung auf See-/Auensedimenten	1b über 2c
26,41	27,75	Damm/ Anschnitt/ Einschnitt	östl. Würmtalhang, Heilbronn-Fm.	Mittlerer Muschelkalk, Heilbronn-Fm.	4a/4b
27,75	35,10	PfA Tunnel Ostelsheim			
35,20	35,90	Einschnitt	östl. Voreinschnitt Tunnel Forst Unterer Muschelkalk	Unterer Muschelkalk, Freudenstadt-Fm.	6a/6b
35,90	36,40	Einschnitt	östl. Voreinschnitt Tunnel Forst Karlstadt-Fm.	Unterer Muschelkalk, Karlstadt-Fm.	5
36,40	37,07	Tunnel	Tunnel Forst	Unterer Muschelkalk, Hengstetter Keupergraben	6b
37,07	37,60	Einschnitt	westl. Voreinschnitt Tunnel Forst	Unterer Muschelkalk	6b



von Strecken-km	bis Strecken-km	Lage	Streckenbereich	dominierende Geologie	Schicht Nr.
37,60	39,50	Damm	Damm Althengstett	Dammschüttung auf tiefgründig verwittertem Mittlerem Muschelkalk und Rötton-Fm.	1b auf 2a, 6a, 7a
39,50	39,70	Damm	Querung Tälesbach Althengstett	Dammschüttung auf Auensedimenten	1b auf 1c
39,70	40,00	Einschnitt	Einschnitt "Im Hau"	tiefgründig verwitterte Freudenstadt-Fm.	2a, 6a
40,00	40,45	Einschnitt	Einschnitt "Im Hau"	gering verwitterte Freudenstadt-Fm.	6a, 6b
40,45	40,90	Einschnitt	Einschnitt "Im Hau", Rötton-Formation	Rötton-Fm.	7b
40,90	41,50	Damm	Damm Heumaden	Dammschüttung auf tiefgründig verwitterter Rötton-Fm.	1b auf 7a
41,50	43,76	Anschnitt/ Einschnitt	Nordhang Ziegelbachtal Heumaden Nagoldtal	Oberer und Mittlerer Buntsandstein	2b, 7b, 8b
43,76	44,32	Tunnel	Tunnel Hirsau	Mittlerer Buntsandstein	8b
44,32	44,60	Anschnitt/ Damm	Querung Tälesbachtal	Dammschüttung/Auffüllung auf Schwemmschutt/ Schwemmlehm	1b auf 1c
44,60	45,60	Damm	Welzberg Nordhang	Hangschutt / Mittlerer Buntsandstein	1b, 2b, 8b
45,60	47,80	Anschnitt/ Einschnitt	Rampe Nagoldtal Osthang	Mittlerer Buntsandstein	1b, 8b

Tabelle 4.1-1: Geotechnische Streckenbereiche im Verlauf der geplanten Trasse

Die Ergebnisse der Erkundung, die im abzusichernden Tragbereich von 2,0 m (nach Ril 836) ange-
troffenen und zu erwartenden Baugrundsichten, vorwiegende Bodenarten die Einschätzung der
Tragfähigkeit, Frostepfindlichkeit und hydrologischen Randbedingungen sind in Anlage 3 darge-
stellt. Basierend auf dieser Zusammenfassung sind auch entsprechende Empfehlungen zu Ober-
bauausführungen gegeben.



4.2 Erdplanum und Packlagen

Die Untersuchungen zeigen, dass die Tragfähigkeit und die Frostsicherheit des bestehenden Unterbaus entlang der Strecke sehr unterschiedlich ausgeprägt sind. Diese Eigenschaften sind für alle Streckenbereiche zusammen mit der jeweiligen Lage, den oberflächennah anstehenden Baugrundsichten und den hydrogeologischen Randbedingungen im Detail in der Anlage 3 dargestellt.

Die Tragfähigkeit des Unterbaus war entsprechend den Mindestanforderungen an das Planum für eine Bestandstrecke nach den Anforderungen für die Tragfähigkeit an ein Erdplanum angelehnt an Ril 836.4101 zu prüfen.

In den Testfeldern entlang der Strecke wurden zum Teil Packlagen bzw. Lagen von Grobschotter und Steinen unterhalb des ausgehobenen Gleisschotters angetroffen. Diese Lagen haben Mächtigkeiten zwischen ca. 0,5 und 1,0 m u. SOK. Ausgeprägte Packlagen wurden nicht durchweg in allen Testfeld-Aufschlüssen angetroffen, in den Sondierungen mit Kleinrammbohrungen und den Rammsondierungen konnten keine Hinweise auf Packlagen festgestellt werden. In einigen Bereichen konnten durchgehende Packlagen festgestellt werden, die die hohe Tragfähigkeit begründen. In einigen Bereichen ist die hohe Tragfähigkeit auf die Entwicklung einer Durchmischungszone von Gleisschotter und bindig-gemischtkörnigen Böden im Erdplanum (Schottersäcke) zurückzuführen. In wenigen Bereichen konnten jedoch keine ausreichend hohen Tragfähigkeiten nachgewiesen werden. Es handelt sich hier um Bereiche, in denen feinkörnige Bachsedimente, Verwitterungslehme und im Untergrund ggf. organische Materialien auftreten.

Aufgrund dieser Aufschlusssituation ist keine zuverlässige Interpolation über das durchgehende Vorhandensein oder die Tiefenlage von Packlagen über Streckenbereiche möglich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass Packlagen stets auftreten können und möglicherweise auch kleinräumig bei ungünstigen Unterbaubedingungen eingebaut wurden.

Der direkte Vergleich der Werte der statischen und dynamischen Plattendruckversuche (E_{v2} zu E_{vd}) zeigt, dass in allen Testfeldern in der Regel unmittelbar unter der Oberfläche (Ergebnisse der dynamischen Plattendruckversuche) eine höhere Tragfähigkeit nachgewiesen werden könnte als in tieferen Schichten (Ergebnisse der statischen Plattendruckversuche). Dies bestätigt das Vorliegen entweder von Packlagen oder von Schichten aus eingedrücktem Grobmaterial (Schotter), der sich z.B. als Schottersack im Laufe der Zeit gebildet hat. In der Regel sind Schottersäcke in den bindigen



Boden eingetieft, die relativ hohe Durchlässigkeit der Schotter führt in bindigen Böden zu Stauwasser, das nicht abfließen kann. Durch den Vorgang der Bildung von Schottersäcken wird zwar die oberflächennahe Steifigkeit des Baugrunds erhöht, an der Basis des Schottersacks wird aber kontinuierlich durch dynamische Belastung Wasser in das Erdplanum eingearbeitet, was zu einer langfristigen Herabsetzung der Tragfähigkeit in immer tieferen Bereichen führt. Bei den ausgeführten Testfeldern folgt daraus lokal ggf. eine ausreichende Tragfähigkeit, im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit der Strecke sind derartige Sackbildungen aber kritisch zu bewerten.

Plattendruckversuche auf dem Erdplanum					
Testfeld	km	E_{v2} [MN/m ²]	Verhältnis E_{v2}/E_{v1}	$E_{vd,k}^{1)}$ [MN/m ²]	Kommentar
1	26,40	93,7	2,58	21	Packlage
2	27,00	105	4,16	47	Packlage
3	27,60	60,3	2,79	48	Packlage
4	35,40	27,5	2,26	46	$E_{v2} < 40 \text{ MN/m}^2$
5	37,90	141,2	2,45	51	Packlage
6	38,86	9,8	1,64	30	$E_{v2} < 20 \text{ MN/m}^2$
7	39,60	14,2	2,85	20	$E_{v2} < 20 \text{ MN/m}^2$
8	41,00	47,8	2,28	30	
9	41,70	52,8	2,30	36	
10	44,50	46,5	2,67	22	
11	44,90	43,2	2,27	23	

1) charakteristischer Wert, statistisch ermittelt aus einer Versuchsreihe

Tabelle 4.2-1: Ergebnisse der Feldversuche zur Ermittlung der Tragfähigkeit in den Testfeldern

In den durchgeführten statischen Plattendruckversuchen konnte auf dem freigelegten Erdplanum in 8 von 11 Testfeldern ein Wert von $E_{v2} > 40 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen werden. In 1 Testfeld (km 35,4) wurden Werte von $E_{v2} = 20 - 40 \text{ MN/m}^2$ nachgewiesen. In 2 Testfeldern wurden niedrigerer Werte von $E_{v2} = 14,2 \text{ MN/m}^2$ und $E_{v2} = 9,8 \text{ MN/m}^2$ ermittelt. Tendenziell ergaben sich in Bereichen, in denen für die Herstellung des Planums tiefer (relativ zur SOK) ausgehoben wurde, geringere Tragfähigkeiten im Planum.



Die Ergebnisse der Testfelder zum Streckenoberbau zeigten, dass ein Eingriff in die z.T. vorhandene Packlage die nachweisbare Tragfähigkeit deutlich verschlechtert. Es soll daher nach Festlegung des Bauherrn die Oberkante einer eventuell vorhandenen Packlage im Regelfall als Planum dienen. Gegebenenfalls ist dazu im Zuge der weiteren Planung die Gradienten entsprechend anzuheben, um den o.g. Aufbau herstellen zu können.

In der folgenden Tabelle 4.2-2 sind die grundlegenden geotechnischen Eigenschaften der oberflächennahen Schichten im Bereich der Strecke dargestellt.

von km	bis km	Länge [m]	Tragfähigkeit	Trassenlage	Baugrundschicht im Planum	Bodenart (vorherrschend)	Frostempfindlichkeit ¹⁾
26,120	26,380	260	mittel	Damm	4a	G, t, u	F2
26,380	26,410	30	gering	Damm	5	G, t, u	F2-F3
26,410	26,670	260	gering	Damm	4a	T, U	F2-F3
26,670	27,280	610	gering	Einschnitt	4a	G, t, u/T, U	F2-F3
27,280	27,750	470	mittel	Anschnitt	4a	G, t, u	F2
27,75	35,25	PFA Tunnel Ostelsheim					
35,200	35,900	700	mittel	Einschnitt	6a	G, t, u	F2
35,900	36,400	500	gut	Einschnitt	5/6a	Fels	F1-F2
36,400	37,066	666	gut	Tunnel	vorw. 6a	Fels	F1-F2
37,066	37,600	534	mittel	Einschnitt	6a	Fels	F2-F3
37,600	38,350	750	mittel	Damm	6a	G, t, u	F2-F3
38,350	38,700	350	gering	Damm	2a/2c	G, t, u	F2-F3
38,700	39,000	300	mittel	Damm	2a/2c	G, t, u	F2-F3
39,000	39,500	500	mittel	Damm	2a/2c	G, t, u	F2
39,500	39,700	200	gering	Damm	2c	T, U/Org	F3
39,700	40,000	300	eher gering	Damm	6a	G, t, u	F2



von km	bis km	Länge [m]	Tragfähigkeit	Trassenlage	Baugrundschicht im Planum	Bodenart (vorherrschend)	Frostempfindlichkeit ¹⁾
40,000	40,450	450	gut	Einschnitt	6a/6b	Fels	F1
40,450	40,900	450	mittel	Einschnitt	7b	T, U	F2
40,900	41,500	600	eher gering	Damm	7a/8a	T, U	F3
41,500	42,100	600	mittel	Damm	7a/8a	G, t, u	F1-F2
42,100	42,850	750	mittel	Einschnitt	8b	G, t, u	F1
42,850	43,100	250	gut	Einschnitt	8b	G, t, u	F1
43,100	43,500	400	mittel	Ein-/Anschnitt	8b/2b	G, t, u	F1
43,500	44,350	850	gut	Tunnel/Einschnitt	8b	Fels	F1
44,350	44,600	250	gering	Damm	2b	T, U	F2-F3
44,600	45,300	700	gut	gelände-gleich/ Anschnitt/ Damm	8b	G, t, u	F1
45,300	45,600	300	mittel	Ein-/Anschnitt	8b/2b	G, t, u	F1
45,600	47,800	2200	gut	Anschnitt	8b/2b	G, t, u	F1

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

Tabelle 4.2-2: Grundlegende Baugrundverhältnisse in den einzelnen Streckenbereichen.

Die Übersicht zeigt, dass die Tragfähigkeit insbesondere in den Abschnitten km 23,410 bis km 27,280 (900 m), km 38,750 bis km 38,700 (350 m), km 39,500 bis km 40,000 (500 m), km 40,900 bis km 41,500 (600 m) und km 44,350 bis km 44,600 (250 m) gering ist. In diesen Bereich treten im Planum bindige Böden oder gemischtkörnige Böden mit überwiegend bindiger Matrix auf, die un-



günstige Tragfähigkeitseigenschaften, hohes Setzungspotential und schlechte Verdichtbarkeit aufweisen. Insbesondere in diesen Bereichen werden Zusatzmaßnahmen zur Verbesserung der Tragfähigkeit und zur Herabsetzung des Instandhaltungsaufwands der Strecke erforderlich.

Die im Untergrund der Strecke angetroffenen, überwiegend gemischtkörnigen, teils anteilig bindigen und bereichsweise rolligen Böden und Baugrundsichten zeigen außer in den oben genannten Bereichen i.d.R. eine gute bis mittlere Tragfähigkeit und sind als Unterbau für die geplanten Streckenbauarbeiten im Regelfall ohne Zusatzmaßnahmen geeignet.

Nach den Ergebnissen der Erkundung zeigen damit ca. 20 % der untersuchten Strecke geringe Tragfähigkeiten, die einen höheren Aufwand für den Oberbau bzw. einen Eingriff in den Unterbau zur Sanierung erfordern.

4.3 Baugrube

Zur Herstellung des Planums für den Oberbau und für Bodenverbesserungen müssen Baugruben hergestellt werden. Die Ausführung der Arbeiten hat entsprechend DIN 4124 zu erfolgen. Aufgrund der gegebenen Platzverhältnisse können Baugruben voraussichtlich geböscht erstellt werden. Ein Verbau wird erforderlich, wenn die Abstände entsprechend DIN 4124 zu Verkehrsflächen oder anderen Bauwerken nicht eingehalten werden können.

Der **Aushub** der Maßnahmen für die Streckenerneuerung erfolgt überwiegend in den Bodenklassen 3 bis 5 nach DIN 18 300:2012.

4.4 Grundwasserhaltung

Der Bauwasserstand liegt im Streckenbereich überwiegend unter den geplanten Baugrubensohlen. Das Auftreten von unterschiedlich stark ausgeprägten Schichtwässern ist in möglich. Für Erdarbeiten und Baugruben oberhalb des Bauwasserstands ist auf Grund der geringen Durchlässigkeiten, des geringen Dargebots und der daher geringen anfallenden Wassermengen mindestens eine **offene Rest-Wasserhaltung** mittels Pumpensämpfen **vorzuhalten**.



Auch wenn die hier angetroffenen Verhältnisse im Allgemeinen als unbedenklich betrachtet werden können, kann es in den Bereichen von austretendem Schichtwasser beim Aushub zu einem Bodenentzug durch Ausspülung kommen. In diesem Fall ist ein Auflastfilter auf den entsprechenden Böschungsflächen erforderlich.

4.5 Nachbarbebauung

Ein Einfluss der geplanten Baumaßnahmen zum Streckenbau kann sich auf benachbarte Bauwerke, Stützwände, Bahnsteige, Tunnel, etc. auswirken. Ohne Verkehr auf der Strecke und geringe Aushubtiefen < ca. 1,0 m sind aus geotechnischer Sicht keine größeren Beeinträchtigungen zu erwarten. Dies ist im Zuge der Planung im Einzelfall zu prüfen und entsprechende Sicherungsmaßnahmen für den Bestand sind zu treffen.

Bei Einhaltung der Maßgaben der DIN 4123 und DIN 4124 zu Abständen sind Gefährdung und Beeinträchtigungen für die anderen angrenzenden Flächen und Bauwerke gering. Ausnahme hierfür sind erschütterungsintensive Arbeiten (z.B. Rammen, Verdichten, etc.). In diesen Fällen sind gesonderte Betrachtungen erforderlich.

4.6 Zusammenfassende Bewertung

Die Gründungsverhältnisse werden in der Tabelle 4.8-1 zusammenfassend beurteilt. Insgesamt ist abhängig von den zu erwartenden Lasten von überwiegend mittleren Gründungsverhältnissen auszugehen.

Baugrundeigenschaften	günstig	mittel	ungünstig	Bemerkungen
Tragfähigkeit	(x)	x	(x)	je nach Streckenbereich
Frostempfindlichkeit	(x)	x	(x)	je nach Streckenbereich
Verdichtungsfähigkeit	x	x	(x)	je nach Streckenbereich
Wiedereinbaufähigkeit	n.a.	n.a.	n.a.	nicht untersucht
Lösbarkeit	(x)	x		Oberflächennah i.d.R. Lockergesteinsböden, Auffüllungen



Baugrundeigenschaften	günstig	mittel	ungünstig	Bemerkungen
Grundwasserstand	(x)	x		Bau- und Bemessungswasserstand unter GOK, Schichtwasser
Bodenbelastung	n.a.	n.a.	n.a.	nur Schotter untersucht, Wiederverwertung vorgesehen und möglich
Besonderheiten:				
Morphologie		x		bestehende Bahnstrecke
Nachbarbebauung		x		

Tabelle 4.6-1: Klassifizierung der Baugrundverhältnisse.

Es ist mit durchschnittlichen Baugrundverhältnissen ohne besonders ungünstige Grundwasserverhältnisse zu rechnen. Die Strecke wird als Bauwerk in die **geotechnische Kategorie GK 2** nach Normenhandbuch EC 7 eingeordnet.

5. EMPFEHLUNGEN

5.1 Tragfähigkeit

Für den bestehenden Unterbau der Hermann-Hesse-Bahn wurden durch den Auftraggeber, ausgehend von den Erkenntnissen aus der Planungsbesprechung vom 05.08.2015 [U 4], über die gesamte bestehende Strecke die Anforderungen für Verbesserung mit Schotteroberbau für Belastungen $\leq 30.000 \text{ Lt/d}$ - angelehnt an Ril 836.2013 - festgelegt (Tabelle 5.1-1, 1. Zeile).

Entsprechend Ril 836.2013 bestehen für den Unterbau die folgenden Regelanforderungen für eine Verbesserung der Strecke mit Schotteroberbau und Erhalt des bestehenden Unterbaus:

Einstufung Geschwindigkeit Gleisbelastung [Lt/d]	Abzusichernder Tragbereich (Tiefe u. SO)	Regelwerte E_{v2}/E_{vd} OK Schutzschicht (OFTS) [MN/m ²]	Regelwerte E_{v2}/E_{vd} Planum [MN/m ²]
$v \leq 80 \text{ km/h}$ $\leq 30.000 \text{ Lt/d}$	1,5	40/30	(20/20) ¹⁾



Einstufung Geschwindigkeit Gleisbelastung [Lt/d]	Abzusichernder Tragbereich (Tiefe u. SO)	Regelwerte E_{v2}/E_{vd} OK Schutzschicht (OFTS) [MN/m²]	Regelwerte E_{v2}/E_{vd} Planum [MN/m²]
80 km/h $\leq v \leq$ 160 km/h > 30.000 Lt/d	2,0	50/35	(30/20)

- 1) Bei Befahren des Planums mit schweren Transportfahrzeugen ist ein $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ auf dem Planum erforderlich, damit keine Schädigung des Planums eintreten kann (z.B. tiefe Spurrillen). Bei aufweichungsgefährdeten Böden ist zur Aufrechterhaltung des Baubetriebs eine Bodenverbesserung des Planums mit Bindemittel sinnvoll, um die Tragfähigkeit des Planums auch nach Niederschlägen zu gewährleisten.

Tabelle 5.1-1: Anforderungen an den Verformungsmodul nach Ril 836.4104A01.2013 für Verbesserung der Strecke mit Schotteroberbau

Im abzusichernden Tragbereich müssen bindige Böden eine mindestens weiche Konsistenz ($I_c > 0,6$) aufweisen, und rollige Böden mindestens locker ($D > 0,2$) gelagert sein.

Die Regelanforderungen an Schutzschichten bei **Verbesserung** entsprechend Ril 836.2013 sind in der Tabelle 2 angegeben. Aufgrund der zu erwartenden Gleisbelastungen durch das geplante Betriebsprogramm wurde durch den Bauherrn die Anforderung an die Gleisbelastung entsprechend Tab. 5.1-2 Spalte 1 für eine Belastung $\leq 30.000 \text{ Lt/d}$ festgelegt.

5.2 Oberbau und Unterbauverbesserung

Der Oberbau der Strecke soll nach Festlegung des Bauherren nicht durchweg mit einem einheitlichen voll-mineralischen Oberbau entsprechend Ril 836 bzw. Obri-NE hergestellt werden. Stattdessen soll der Oberbau jeweils angepasst an die geotechnische-hydrogeologische Situation aufgebaut werden. Dabei werden die Hinweise der TM2013-256: Vliesstoffe zur Planumsverbesserung zum Einsatz im Bestandsnetz (Einbau direkt unter Schotter) [U 9] herangezogen.

Auf das Kriterium der Frostsicherheit zur Bemessung des Oberbaus wird durch den AG bewusst verzichtet. Die dadurch gegebenenfalls eingeschränkte Haltbarkeit des Oberbaus und der erhöhte Unterhaltungsaufwand werden vom Bauherrn in Kauf genommen [U 4].

Der Einsatz von Vliesstoffen/Geotextilien als Ersatz für eine mineralische Planumsschutzschicht (PSS) ist mit bestimmten Einschränkungen verbunden. Ein PSS-Ersatzstoff kann nicht alle Funktionen der PSS erfüllen, insbesondere der Frostschutz des Unterbaus und der Schutz des Unterbaus



vor Durchfeuchtung durch die abdichtende Funktion der PSS können durch Ersatzstoffe nicht wie beim Einsatz einer mineralischen PSS erreicht werden.

Die geotechnischen und hydrologischen Randbedingungen und Anwendungsfälle entsprechend TM 2013-256 I.NVT 4, Tab.1 für die einzelnen Streckenabschnitte sind im Streckenband (Anl. 3) dargestellt.

Für den Streckenbau wird davon ausgegangen, dass die Entwässerung entlang der gesamten Strecke erneuert bzw. hergestellt wird, um den Oberbau und den abzusichernden Tragbereich sicher und dauerhaft zu entwässern. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass dies bereits im Vorlauf der Herstellung des neuen Oberbaus erfolgt.

Für den Oberbau der Strecke wurden in Abstimmung mit Bauherrn, Planer, zukünftigem Betreiber und dem Sachverständigen für Geotechnik die folgenden Varianten für die Ausführung des Oberbaus und der Unterbausanierung entwickelt [U 4]. Diese in Tabelle 5.1-3 dargestellten Varianten ergaben sich aus den Ergebnissen der Erkundung und den Ergebnissen der Tragfähigkeitsprüfungen in den Testfeldern.

Variante A - Regelaufbau für Hermann-Hesse-Bahn - Schotter/Geotextil (PSS-Ersatzstoff)			
			Anforderung Mindesttragfähigkeit
Aufbau	≥ 20 cm	Gleisschotter	$E_{v2} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ und $E_{v2} / E_{v1} \geq 2,3 / E_{vd} \geq 30 \text{ MN/m}^2$
	Geogitter/Geotextil/ Geokunststoff entspr. TM2013-256 I.NVT 4		
Erdplanum Ausgleichsschicht zur Herstellung Quergefälle auf freigelegtem bestehen- dem Erdplanum/Packlage (z.B. aus Korngemisch 0/32, GW)			
Anwendung	unter geotechn./hydrol. Randbedingungen entspr. TM2013-256 I.NVT 4, Tab.1 : Regelanwendung, eingeschränkte Anwendung und Anwendungsgrenze wenn Frostsicherheit tendenziell F1 - F2 und Tragfähigkeit des Unterbaus gegeben		



Variante B - Aufbau mit mineralischer PSS			
			Anforderung Mindesttragfähigkeit
Aufbau (Mindestdicke frostsicherer Aufbau ≥ 40 cm)	≥ 20 cm	Gleisschotter	$E_{v2} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ und $E_{v2} / E_{v1} \geq 2,3 / E_{vd} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ OK PSS
	≥ 20 cm ¹⁾	PSS - KG1	$E_{v2} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ und $E_{v2} / E_{v1} \geq 2,5 / E_{vd} \geq 15 \text{ MN/m}^2$ Erdplanum
	Geogitter/Geotextil/ Geokunststoff entspr. TM2013-256 I.NVT 4 (optional)		
Anwendung	unter geotechn./hydrol. Randbedingungen entspr. TM2013-256 I.NVT 4, Tab.1 : Anwendungsgrenze wenn Frostsicherheit tendenziell F2 - F3 und Tragfähigkeit des Unterbaus gegeben		
Variante C - Aufbau mit mineralischer PSS auf Bodenverbesserung			
			Anforderung Mindesttragfähigkeit
Aufbau (Mindestdicke frostsicherer Aufbau ≥ 35 cm)	≥ 20 cm	Gleisschotter	$E_{v2} \geq 40 \text{ MN/m}^2$ und $E_{v2} / E_{v1} \geq 2,3 / E_{vd} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ OK PSS
	≥ 20 cm	PSS - KG1	$E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2 / E_{vd} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ ²⁾ OK Bodenverbesserung
30 cm ³⁾ Bodenverbesserung			
Anwendung	unter geotechn./hydrol. Randbedingungen entspr. TM2013-256 I.NVT 4, Tab.1 : wenn Tragfähigkeit des Unterbaus NICHT gegeben		

- 1) Entspr. Ril 836. 4101A05 Bild A 5.2 sind mindestens 0,2 m Schutzschicht einzubauen
 2) Bei qualifizierter Bodenverbesserung kann von $E_{v2} = 30 \text{ MN/m}^2$ bzw. $E_{vd} = 20 \text{ MN/m}^2$ ausgegangen werden.
 3) Bei einer Mindestdicke der qualifiziert verbesserten Schicht von 30 cm sind 10 cm als frostsicherer Aufbau anrechenbar.

Tabelle 5.2-1: Regelaufbau Schutzschichten bei **Verbesserung/Erneuerung** (Schotteroberbau)
entsprechend Ril 836.4104A02.2013 und TM2013-256 I.NVT 4



Die Empfehlungen für den Streckenoberbau in den einzelnen Streckenabschnitten sind im Streckenband (Anl. 3) dargestellt. Demnach kann ein Oberbau der Variante A nach Tab. 5.2-1 unter den im Weiteren genannten Einschränkungen für ca. 69 % der untersuchten Strecke (ohne PFA Ostelsheim). Der Aufbau nach Variante B wird dann für ca. 21 %, und der Aufbau nach Variante C für ca. 10 % anfallen.

Die vorstehenden Massenangaben stehen unter dem Hintergrund der DIN-gemäßen aber dennoch naturgemäß stichprobeartigen Baugrunderkundung. Für die Ausschreibung empfehlen wir Sicherheitszuschläge bei den Varianten B und C zu Lasten von Variante A, da naturgemäß die Bewertung vor Ort im Zuge der Bauausführung auch durch Witterungs- und Baueinflüsse schlechter ist als prognostiziert.

Es ist bei allen in Tab. 5.2-1 beschriebenen Oberbauvarianten zu berücksichtigen, dass beim Aufbau auf nicht frostsicheren Böden (F2/F3-Böden) aufgrund der nicht gewährleisteten Frostsicherheit, die Frostsicherheit nur durch eine entsprechende Dicke des frostsicheren Aufbaus (hier 55 cm) erreicht werden kann. Bei Verringerung dieser Aufbaustärke ist von einem erhöhten Instandhaltungsaufwand auszugehen.

Für einen Streckenneubau werden höhere Anforderungen an die Tragfähigkeit des Unterbaus gerichtet, die die Dauerhaftigkeit der Strecke verbessern.

Bei der Wahl des Kriteriums für die im Planum erforderliche Tragfähigkeit von $E_{v2} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ und $E_{vd} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ ist zu beachten, dass bei Befahren des Planums mit schweren Transportfahrzeugen ein höherer Wert von mindestens $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ auf dem Planum erforderlich ist, damit keine Schädigung des Planums eintreten kann (z.B. tiefe Spurrillen). Bei aufweichungsgefährdeten Böden ist zur Aufrechterhaltung des Baubetriebs eine Bodenverbesserung des Planums mit Bindemittel sinnvoll, um die Tragfähigkeit des Planums auch nach Niederschlägen zu gewährleisten.

Entsprechend Ril 836.2013 werden für gefahrene Geschwindigkeiten von $v > 80 - 160 \text{ km/h}$ und Gleisbelastungen $> 30.000 \text{ Lt/d}$ erforderliche Tragfähigkeiten von $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$ und $E_{vd} \geq 20 \text{ MN/m}^2$ gefordert. Diese Werte wurden im Hinblick auf die langfristige Haltbarkeit des Unterbaus festgelegt. Niedrigere Werte der Tragfähigkeit führen zu Setzungen und demzufolge zu einem höheren Instandhaltungsaufwand.



Für eine Ausgleichsschicht wie auch für die PSS 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. Grundsätzlich empfiehlt sich der Einbau einer Planumsschutzschicht (PSS). Aufgrund der teilweise wasserempfindlichen und gering durchlässigen Böden empfehlen wir den Einsatz einer Schutzschicht aus Korngemisch 1 (KG 1 nach DBS TL 918062) für einen wasserundurchlässigen Unterbau. Die Schutzschichten sind in einer Mindeststärke von 30 cm einzubauen, bevor sie dynamisch verdichtet werden. Eventuell eingesetzte Geogitter sind seitlich hochzuziehen und um die Frostschutzschicht zu schlagen.

Für den Einbau einer Ausgleichsschicht aus Mineralgemisch 0/32 mit Mächtigkeit $< 0,2$ m ist das Material **nur statisch zu verdichten**. Eine dynamische Verdichtung führt ansonsten zu einer Herabsetzung der Tragfähigkeit. Das Material ist nach ZTVE-StB 09, Ziffer 4.3.2, auf $D_{pr} = 100\%$ zu verdichten.

Sofern der Einbau der Planumsschutzschicht bzw. des Bodenaustausches nicht unmittelbar nach dem Aushub erfolgt, ist das Planum zum Schutz gegen Niederschläge abzudecken. Es ist gegebenenfalls auch gegen Frost zu schützen. Das Planum darf nicht dynamisch verdichtet werden. Das Erdplanum darf nicht befahren werden und es darf nur rückschreitend gearbeitet werden. Ein Verlässen von bindigen Bodenschichten durch Niederschlagswasser ist zu vermeiden, aufgeweichte und aufgelockerte Bereiche sind abzutragen.

Der Einbau von Ausgleichs-, Trag- und Schutzschichten 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 18 196: GW, SW, GI, SI) entsprechend den weiteren planerischen Vorgaben einzusetzen. Das Planum ist mit einem geeigneten Quergefälle ($\geq 3\%$) idealerweise in einem Dachprofil herzustellen, um eine funktionierende Planumsdrainage zu gewährleisten. Die Drainage des Planums ist entsprechend anzulegen und an die Streckenentwässerung anzuschließen.

Aufgrund der teilweise bindigen und bindig-gemischtkörnigen Böden ist ein Befahren des Planums im Zuge der Streckenbauarbeiten dringend zu vermeiden. Die bindigen Böden können bei Wassersättigung, Lagerungsstörung und insbesondere dynamischer Belastung aus Baustellenverkehr empfindlich gestört werden und in ungünstige Konsistenzen übergehen. Dabei ist mit erheblichen Verlust von Tragfähigkeit zu rechnen und somit in Folge ein umfangreicher Bodenaustausch erforderlich.



Ein Vernässen von bindigen Bodenschichten durch Niederschlagswasser ist zu vermeiden, aufgeweichte und aufgelockerte Bereiche sind abzutragen.

Im Bereich von bindigen und gemischtkörnigen Böden mit erheblichem bindigen Anteil sind, falls die Baustellenlogistik in Gleisachse erfolgen soll, Baustraßen aus geeignetem rolligen Material und ggf. unterlegtem Vlies anzulegen. Das ungeschützte Planum ist auf keinen Fall zu befahren. Dies ist in der weiteren Planung und Ausschreibung zu beachten.

5.3 Geometrische Zwangspunkte

In Abschnitten, in denen aufgrund der Streckengeometrie Zwangspunkte vorliegen (Ingenieurbauwerke, BÜs, Haltepunkte, etc.) wird voraussichtlich ein Eingriff in die tragfähigen Schichten unter dem Planum erforderlich, um die geplante Schienenlage zu erhalten. Für diese Bereiche sollte ein Aufbau angelehnt an Obri-NE bzw. Ril 836 hergestellt werden.

Zur Herstellung des Planums sollte ein Bodenaustausch von mind. 0,4 m im Bereich des Bestandsplanums durch den Einsatz einer Frostschutzschicht aus frostfreiem, gut verdichtbarem, rolligem, steinfreiem Material (Bodenklasse nach DIN 18 196: GW, SW, Gl, SI, z.B. Korngemisch 0/45 oder 0/32) erfolgen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass Tragfähigkeit, Filterstabilität, Frostsicherheit und Entwässerung auch in Bereichen erhalten werden, in denen in den bestehenden vorverdichteten und z.T. mit Packlagen ausgebauten Unterbau eingegriffen wird.

Für die Gründung der Strecke und Straße im Bereich von Bahnübergängen (BÜs) sollen Gleistragplatten eingesetzt werden [U 4]. Es werden in diesen Bereichen erhöhte Anforderungen an die Tragfähigkeit und Frostsicherheit der Tragschicht und des Erdplanums gestellt. Im unmittelbaren Bereich von Bahnübergängen wird daher ein Bodenaustausch bzw. eine kombinierte Frostschutz- und Tragschicht von 0,8 m aus geeignetem, gut verdichtbarem, frostfreiem Material unter dem geplanten Oberbau (Bodengruppe GW nach DIN 18196, z.B. Brechkorngemisch 0/45 oder 0/32) erforderlich.

5.4 Bodenverbesserung

In Abschnitten, in denen keine ausreichend hohe Tragfähigkeit nachgewiesen werden kann (vgl. Streckenband Anl. 3), wird eine qualifizierte Bodenverbesserung erforderlich. Die Anlage von Testfeldern und Ausführung von Feldversuchen vor Festlegung des einzusetzenden Produkts (erst nach



Ausschreibung und Wahl durch AN) sollte zu einem späteren Zeitpunkt vor der Ausschreibung durchgeführt werden. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das Mischungsverhältnis zur Bindemittelstabilisierung abhängig vom eingesetzten Produkt ist. Für Eignungsprüfungen sind die entsprechenden Vorlaufzeiten, Laborversuche und deren Auswertung, Lieferung von Prüfkargen in der Ausschreibung und Bauzeitenplanung zu berücksichtigen.

Grundsätzlich ist ein hydraulischer Mischbinder zu bevorzugen. Eine qualifizierte Bodenverbesserung ist in Bodenbereichen mit ausgeprägt plastischen Tonen (Bodengruppe TA nach DIN 18 196) und quellfähigen Ton nicht möglich. Diese Böden sind im Untersuchungsbereich jedoch bisher nicht aufgetreten.

Ein Laborprogramm zur Bestimmung der idealen Bindemittel-Beimischung sollte Proctorversuche, Untersuchungen zum Wassergehalt des Ausgangsmaterials und Prüfungen der Druckfestigkeit verschiedener Mischungsverhältnisse beinhalten. Dabei ist zu beachten, dass die Druckfestigkeit nach DIN 4207 erst nach 28 Tagen abschließend bestimmt werden kann.

5.5 Erdbauwerke

Die Herstellung von neuen Erdbauwerken im größeren Umfang ist im Zuge der Wiederinbetriebnahme der Hermann-Hesse-Bahn nicht geplant. Für Fragestellungen zu bestehenden Bauwerken, Böschungen, Dämmen und Einschnitten liegen eine Reihe von Einzelgutachten der Dr. Spang GmbH vor.

5.6 Baugrube

Außerhalb der Gleisbereiche und Einflussbereich sonstiger Bebauung bzw. Leitungen können Baugruben voraussichtlich, voll **geböscht ohne Verbau** ausgeführt werden. Hierbei ist in den überwiegend gemischtkörnigen Böden ein Winkel von $\leq 45^\circ$ nicht zu unterschreiten und es ist eine mindestens steife Ausbildung von bindigen Böden Voraussetzung. Es darf zu keiner Zeit eine Gefährdung für vorhandene Bauwerken bestehen. Es ist aber auch dann, solange der Böschungswinkel größer als der Reibungswinkel (siehe Tabelle 3.2-1) ist, nicht gänzlich auszuschließen, dass es zu lokalen Ausbrüchen kommt. In bindigen Böden sind hergestellte Böschungen mit Planen, bzw. Kunststoff-folie vor Durchnässung zu schützen.



Der **Aushub** der Maßnahme erfolgt überwiegend in den Bodenklassen 3 bis 5 nach DIN 18 300:2012. Für den **Wiedereinbau** für Hinterfüllungen und Grabenfüllungen ist der Aushub aufgrund der mäßigen Verdichtbarkeit nur **bedingt geeignet**.

Das Erdplanum ist mit einem geeigneten Quergefälle ($\geq 3\%$) entsprechend der geplanten Entwässerung herzustellen, um eine funktionierende Planumsdrainage zu gewährleisten. Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Ableitung von Tag- und Niederschlagswasser Nebenleistung nach DIN 18 299 ist.

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. Bei den Aushub- und Erdarbeiten ist zu beachten, dass überwiegend bindige Böden bei Wassersättigung und gleichzeitiger Lagerungsstörung (z. B. durch Befahren) von Bodenklasse 4 in Bodenklasse 2 nach DIN 18 300 übergehen können und dann nicht mehr einbaufähig sind bzw. nur mit Mehrkosten entsorgt werden können. Der Aushub sollte deshalb nur bei trockener, frostfreier Witterung ausgeführt werden. In Bereichen bindiger Böden in der Aushubsohle ist weiterhin ein Vernässen zu verhindern. Aufgelockerte, aufgeweichte und vernässte Bereiche der Aushubsohle sind zu beseitigen. Der Aushub und Bereinigung der endgültigen Sohle sollte in diesen Bereichen nach Möglichkeit, um Auflockerungen zu vermeiden, mit einem Tieflöffelbagger mit gerader Schneide erfolgen.

Für die **Verfüllung von Arbeitsräumen** ist gemäß 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. Bei der Hinterfüllung des Bauwerkes sind weiterhin das „Merkblatt für den Einfluss von Hinterfüllungen auf Bauwerke“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswegebau (1994), die ZTV E-StB 09, Kapitel 10 und die Ril 836, Module 4101 und 4106 zu beachten.

5.7 Grundwasser

Für die Herstellung von Baugruben zum Streckenbau ist voraussichtlich eine offene Wasserhaltung ausreichend. Anfallendes Schicht-, Stau- und Sickerwasser ist zusammen mit dem Niederschlagswasser in Pumpensümpfen zu fassen und abzuführen. Das Erdplanum für eine Flachgründung ist mit einem geeigneten Quergefälle ($\geq 3\%$) idealerweise in einem Dachprofil herzustellen, um eine



funktionierende Planumsdrainage zu gewährleisten. Es wird hier darauf hingewiesen, dass die Ableitung von Tag- und Niederschlagswasser Nebenleistung nach DIN 18 299 ist.

Soweit der hydraulische Grundbruch maßgebend ist, kann ein entsprechend bemessener Auflastfilter hergestellt werden.

5.8 Kampfmittel

Für den gesamten Streckenbereich liegt eine multitemporale Luftbildauswertung des Kampfmittelräumdiensts Baden-Württemberg vor. Im Untersuchungsbereich entlang der Strecke liegen insbesondere im Bereich östlicher Voreinschnitt Tunnel Forst, östlich des Bf Althengstett und im Bereich südlich HP Calw ZOB eine Reihe von Verdachtspunkten.

5.9 Umwelttechnik

Typische Verschmutzungen und Belastungen mit Schadstoffen im Gleisschotter von Bahnstrecken sind in der Regel Feinanteil aus Abrieb und Absplinterung des Schotters, Rückstände von Ladungsverlusten und Zugtoiletten, Abfälle verschiedener Art, aufgestiegenes Unterbaumaterial, Humus und Pflanzenreste, aliphatische Kohlenwasserstoffe (Mineralöl) aus Treibstoff- und Schmiermittelverlusten, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) aus Rückständen des Dampflokbetriebs und aus Tränkmitteln für Holzschwellen (Teeröl), Schwermetalle, z. B. aus dem Abrieb des Bahnbetriebs sowie Rückstände von Herbiziden. Maßgebliche Schadstoffe sind dabei PAK und Herbizide.

Die Ergebnisse der umweltanalytischen Untersuchungen der Mischproben sind in Tab. 5.9-1 dargestellt.

Bereich	Mischprobe	Zuordnung nach Ril 880.4010 und Tab. 2 Verwertung von Gleis- schotter in BW	einstufungsrelevanter Parameter ¹⁾
26,10 - 26,85	MP1-A	Z 1.2	Σ PAK ₁₆ , Glyphosat
26,85 - 27,75	MP2-A	Z 1.1	-



Bereich	Mischprobe	Zuordnung nach Ril 880.4010 und Tab. 2 Verwertung von Gleis- schotter in BW	einstufungsrelevanter Parameter ¹⁾
34,85 - 36,95	MP1-B	Z 1.2	Bromazil
36,95 - 38,45	MP2-B	Z 1.2	Σ PAK ₁₆
38,45 - 39,10	MP3-B	Z 1.1	-
39,10 - 39,85	MP4-B	Z 1.1	-
39+60 - 41+05	39+60 - 41+05	IB Keutner, Einschnitt Im Hau	MP2 Keutner
39,85 - 41,90	MP5-B	Z 1.2	Σ PAK ₁₆
41+20	Umgehung Calw-Heu- maden, Therrien [U 11]	Z 1.1	-
41+20	Umgehung Calw-Heu- maden, Therrien [U 11]	Z 1.1	-
41,90 - 43,05	MP6-B	> Z 2	Σ PAK ₁₆
43,05 - 43,80	MP7-B	Z 2	Σ PAK ₁₆
43,80 - 44,50	MP8-B	Z 2	Σ PAK ₁₆
44,50 - 45,55	MP1-C	Z 1.2	Σ PAK ₁₆
45,50 - 46,55	MP2-C	> Z 2	Σ PAK ₁₆
46,55 - 47,10	MP3-C	> Z 2	Σ PAK ₁₆
47,10 - 47,80	MP4-C	Z 1.2	Σ PAK ₁₆

1) im Gesamtschotter ,für Einstufungen > Z 1.1

Tabelle 5.9-1: Einzelproben und Mischprobenbildung umweltchemische Analytik Gleisschotter

Die geplante Wiederverwertung als Bettungsmaterial im Gleisbau ist einer Entsorgung vorzuziehen.

Die abfallrechtliche Einstufung von Gleisschotter erfolgt gemäß der Abfallverzeichnisverordnung (AVV) in Verbindung mit den aktualisierten Vollzugshinweisen für Spiegeleinträge des Umweltministeriums Baden-Württemberg. Der Gleisschotter der gesamten Streck ist demnach im Entsorgungsfall als Abfall unter dem Abfallschlüssel "17 05 08: Gleisschotter mit Ausnahme desjenigen, der unter



17 05 07 fällt" zu entsorgen. Grenzwerte für besonders überwachungsbedürftige Abfälle werden in keiner Analyse erreicht.

Für die Wiederverwertung bietet sich die mechanische Aufbereitung durch Absieben (Klassierung) und eine anschließende Verwertung bzw. Beseitigung der Behandlung der verbleibenden, höher belasteten Feinfraktion an. Entsprechende Behandlungs- und Zwischenlagerflächen für das ausgebaut und behandelte Schottermaterial sollten daher im Zuge der weiteren Planung und Ausschreibung berücksichtigt werden. Weiterhin wird auf [U 10] verwiesen.

5.10 Sonstige Empfehlungen

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.

Der anstehende Baugrund und die Gründungssohle ist gemäß Normenhandbuch EC 7-1, Abs. 4.3(1)P durch uns zu kontrollieren und abzunehmen. Bei Abweichung der Bodenverhältnisse von den in diesem Bericht beschriebenen Verhältnissen sind wir umgehend zu verständigen.

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

Grundsätzlich sind die Folgerungen und Empfehlungen sowie die Einteilung der Homogenbereiche im Rahmen der weiteren Planung erneut zu prüfen, wenn detaillierte Planunterlagen vorliegen.

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



DR. SPANG

Projekt: 36.4130

Seite 57

12.10.2016

(gezeichnet)

Dipl.-Ing. Christian Spang
(Geschäftsführer)

i.A.

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

- 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