



DB Engineering & Consulting GmbH
Umwelt, Geotechnik und Geodäsie
Büro Süd
Landsberger Straße 318
80687 München
Tel. 089 15908-150
Fax 089 15908-599

Geotechnischer Bericht

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

Bauvorhaben: Str. 4560 Kißlegg - Hergatz
Neubau EÜ Wangen im Allgäu, km 15,310

Leistungsphase: Vorplanung


Auftraggeber: DB Netz AG
I.NP-S-M-K(5)
Richelstraße 1
80634 München

Auftragsnummer: U-G000847

Bearbeiter: Dipl.-Ing. N. Scharun

Dieser geotechnische Bericht umfasst 29 Seiten und 12 Anlagen. Eine auszugsweise Veröffentlichung ist nicht zulässig.

München, 16.11.2017

i.A. 
f. Dipl.-Ing. K. Besser

i.A. 
Dipl.-Ing. N. Scharun

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	3
1.1	Unterlagen	3
1.2	Vorgang / Aufgabenstellung	5
1.3	Aufschlussarbeiten / Laboruntersuchungen	5
2	Darstellung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse	7
2.1	Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	7
2.2	Geologische Situation	7
2.3	Ergebnisse der Bohrungen und schweren Rammsondierungen	8
2.4	Hydrogeologische Verhältnisse	11
2.5	Kampfmittel	13
2.6	Baugrundmodell	13
2.7	Bodenrechenwerte	13
2.8	Rammfähigkeit des Untergrundes	14
2.9	Sickerfähigkeit des Untergrundes	15
2.10	Beurteilung der Betonaggressivität und Stahlaggressivität	15
3	Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen	16
3.1	Flachgründung	17
3.2	CSV-Verfahren	19
3.2.1	Rüttelstopfverfahren	20
3.3	Baugrubensicherung und Wasserhaltung	24
3.4	Angaben zum Spundwandverbau	26
3.5	Widerlagerhinterfüllungen	26
3.6	Bautechnische Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen und Eignung zur Verwendung als Hinterfüllmaterial	27
4	Zusammenfassung und Hinweise	28

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lage- und Aufschlussplan	1 Blatt
Anlage 3	Bohr- u. Sondierprofile	1 Blatt
Anlage 4	Bodenmechanische Laborergebnisse	41 Blatt
Anlage 5	Chemische Untersuchungen	6 Blatt
Anlage 6	Geotechnische Berechnungen	2 Blatt
Anlage 7	Fotodokumentation	11 Blatt
Anlage 8	Homogenbereiche	9 Blatt
Anlage 8.1	Darstellung Homogenbereich Erdarbeiten	1 Blatt
Anlage 8.2	Darstellung Homogenbereich Bohrarbeiten	1 Blatt
Anlage 8.3	Darstellung Homogenbereich Rammarbeiten	1 Blatt
Anlage 8.4	Zusammenstellung Laborversuche	1 Blatt

1 Allgemeines

1.1 Unterlagen

Zur Ausarbeitung dieses Berichtes standen folgende Unterlagen zu Verfügung:

- /U 1/ Angebot der DB Engineering & Consulting, Umwelt, Geotechnik und Geodäsie, Büro München vom 22.09.2016.
- /U 2/ Leistungsvereinbarung, LV-Nr: HÄ6GR025 vom 26.09.2016.
- /U 3/ Ingenieurbüro Vogler: Strecke 4560, Erneuerung EÜ km 15,310 (Wangen). Vorplanung. Vorabzug 08/2016.
- /U 4/ Schichtenverzeichnisse und Sondierprotokolle der Firma IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH, Freiberg, 10/2016.
- /U 5/ Laborergebnisse des GBS, Freiberg im Auftrag von IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH, Freiberg, 11/2016.
- /U 6/ Laborergebnisse von IBES Baugrundinstitut Freiberg GmbH, Freiberg, 11/2016.
- /U 7/ Geologische Karte Geologischen Karte von Baden Württemberg, Blatt 8325 Wangen im Allgäu, Maßstab 1:25000, herausgegeben vom Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Freiburg, 2008.
- /U 8/ Arbeitsblatt DWA-A 138 Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser, April 2005.

- /U 9/ Ril 836 Erdbauwerke und sonstige geotechnische Bauwerke planen, bauen und instandhalten, Fassung vom 31.01.2013, Ril 836.4106 Aktualisierung vom 01.12.2014.
- /U 10/ EA-Pfähle: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 2. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- /U 11/ EAB: Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 5. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- /U 12/ EAU: Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, 11. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2012.
- /U 13/ Grundbau-Taschenbuch, Teil 1-3, 6. Aufl., 2001.
- /U 14/ StMLU „Leitfaden zur Verfüllung von Gruben und Brüchen sowie Tagebauen“ (Eckpunktetapier), Dezember 2005.
- /U 15/ Mitteilungen der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20: „Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen“, November 2004.
- /U 16/ Bayerische DepV des Bayerischen Landesamtes für Umwelt: „Merkblatt für Errichtung, Betrieb und Überwachung von Deponien der Deponieklasse 0“, April 2009.
- /U 17/ Programm „GGU-Footing“, Berechnungen von Setzungen nach DIN 4019, Version 4.00, 30.08.2014, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Johann Buß.
- /U 18/ Die Bemessung von Rüttelstopfverdichtung, Heinz J. Priebe, GeTec Ingenieurgesellschaft für Informations- und Planungstechnologie mbH, Dezember 1995.
- /U 19/ Mail von Herrn Vogler, lbg.-Büro Vogler vom 29.11.2016.

Außerdem kommen die gegenwärtig gültigen Normen und Vorschriften des Erd- und Grundbaus zur Anwendung.

1.2 Vorgang / Aufgabenstellung

Auf der Bahnstrecke 4560 Kißlegg - Hergatz befindet bei km 15,248 ein Bahnübergang. Dieser soll beseitigt werden und stattdessen bei km 15,310 eine EÜ neu errichtet werden, welche als Wanderweg für Fußgänger bzw. als landwirtschaftliche Zufahrt genutzt werden soll. Der Streckenabschnitt (eingleisig, nicht elektrifiziert) verläuft in diesem Bereich auf einem ca. 4,0 m hohen Damm.

Die DB Engineering & Consulting GmbH, Umwelt, Geotechnik und Geodäsie, München, wurde auf der Grundlage unseres Angebotes /U 1/ vom 26.09.2016 mit der geotechnischen Bewertung des Baugrundes sowie der Empfehlung einer Gründung für die EÜ beauftragt /U 2/. Die Erkundung des Baugrundes und die Durchführung der Laboruntersuchungen werden vom AG direkt beauftragt und für die Bearbeitung des geotechnischen Berichtes zur Verfügung gestellt.

Im vorliegenden Geotechnischen Bericht werden Angaben zum Baugrund und zur Gründung des Ingenieurbauwerkes dargestellt.

1.3 Aufschlussarbeiten / Laboruntersuchungen

Die Aufschlussarbeiten wurden durch die Firma IBES, Freiberg im Oktober 2016 ausgeführt. Zur Erkundung des vorhandenen Baugrundes und zur Entnahme von gestörten und ungestörten Bodenproben wurden insgesamt 2 Rammkernbohrungen (BK) und 2 schwere Rammsondierungen (DPH) abgeteuft.

Die Lage der Aufschlüsse ist in Anlage 2 dargestellt. Die Baugrundprofile sind bezogen auf die Schienenoberkante in Anlage 3 aufgetragen. Dabei wurde SO = 0,0 m angenommen. Die Aufschlüsse stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

Tabelle 1: Lage der Aufschlüsse

Aufschluss -Art / -Nr.	Station [km]	Lage zum Gleis [m]	Ansatzpunkt		Endtiefe	
			[m SO]	[m NN]	[m u. AP]	[m NN]
BK 1	15,310	5,0 m br	-4,58	553,44	28,00	525,44
DPH 1	15,312	5,0 m br	-4,58	553,44	8,00	545,44
BK 2	15,310	12,0 m bl	-3,61	554,41	23,10	531,31
DPH 4	15,312	12,0 m bl	-3,61	554,41	11,50	542,91

(RKS): Rammkernsondierung, (DPH): Schwere Rammsondierung; (SO): Schienenoberkante; (bl): bahnlinks, (br): bahnrechts

Alle Ansatzpunkte der Aufschlüsse wurden auf Schienenoberkante (SO), NN-Höhen (mNN) und Gleisachse (GA) eingemessen. Die Entnahme von gestörten Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtwechsel. Insgesamt wurden 45 gestörte sowie 3 ungestörte Bodenproben entnommen.

Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse /U 4/ können bei Bedarf im Archiv der DB E&C GmbH, Baugrund eingesehen werden.

Alle entnommenen Bodenproben wurden nach DIN EN ISO 14688 spezifiziert. Zur genaueren Klassifizierung der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen Untersuchungen unterzogen worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 4 x Nass-/Trockensiebungen zur Bestimmung der Körnungslinien nach DIN 18 123
- 6 x Bestimmungen der Atterberg'schen Konsistenzgrenzen nach DIN 18 122
- 3 x Bestimmungen des Wassergehalts nach DIN 18121
- 3 x Kompressionsversuche nach DIN 18135
- 3 x direkter Scherversuche nach DIN 18137-3

Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Laborversuche sind in Anlage 4 dargestellt.

Die Durchführung der Laborversuche (Nasssiebungen, Bestimmung der Atterberg'schen Konsistenzgrenzen und die Bestimmung der Wassergehalte) erfolgten durch IBES, Freiberg.

Die Kompressionsversuche nach DIN 18135 und die Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit mit der Laborflügelsonde wurden durch die Technische Universität Bergakademie Freiberg ausgeführt. Die Probennahme der 3 ungestörten Stutzenproben erfolgte durch die Fa. IBES, Freiberg. Beim Einarbeiten des Bodenmaterials wurden Korngrößen mit Abmessungen größer 4 mm entfernt und durch feineres Bodenmaterial ersetzt, was zu gestörten Proben führten. Beim Ausbau der Proben nach dem Scheren stellte sich heraus, dass sich im Inneren der Probe ebenfalls Körner größer 4mm befanden, so dass die Versuchsergebnisse maßgeblich erhöhte Bruchspannungswerte zeigten. Daher sind diese Versuche nicht verwertbar.

2 Darstellung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse

2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse

Die neu zu errichtende Eisenbahnüberführung EÜ befindet sich in Wangen im Allgäu auf der Strecke 4560 Kißlegg - Hergatz bei km 15,310. Die Strecke ist in diesem Bereich eingleisig, nicht elektrifiziert und verläuft auf einem ca. 3,5 ...4,50 m hohen Damm. Im Bereich der geplanten EÜ sind Betonschwellen verlegt.

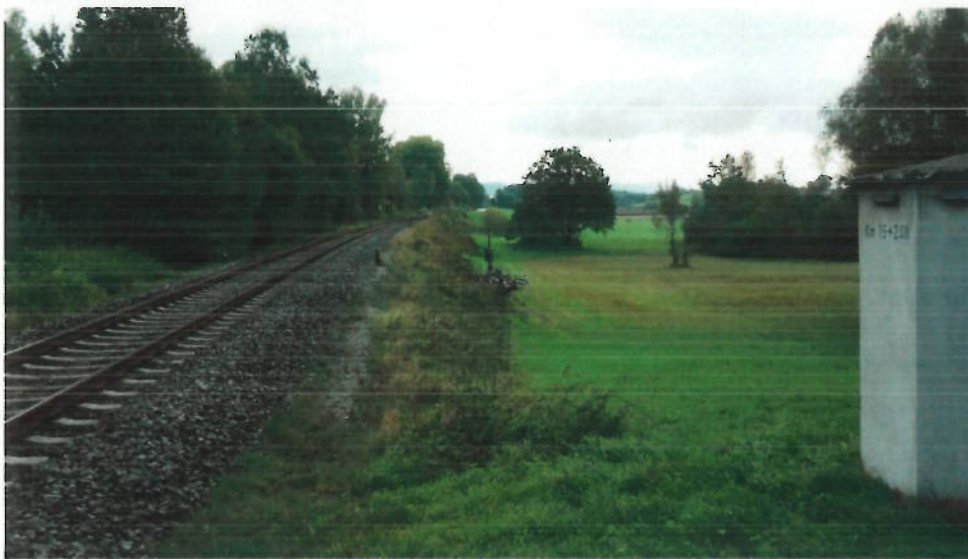


Abb. 1: geplante EÜ km 15,310, Blickrichtung aufsteigende Kilometrierung

2.2 Geologische Situation

Entsprechend der Geologischen Karte von Bayern, Blatt 8325 Wangen im Allgäu, Maßstab 1:25000, [U 7], befindet sich die EÜ km 15,310 im Bereich von überwiegend aus eiszeitlichen Ablagerungen in Form von Schotter- (Kies, sandig) und Moränenablagerungen. Untergeordnet stehen auch die jungen Ablagerungen der Oberen Süßwassermolasse (Ton/Schluff, Sande, Mergel) aus dem Tertiär an. Das Gebiet im Alpenvorland weist ein ausgeprägtes, Nord- Süd gerichtetes Fluss- bzw. Entwässerungssystem auf. Dementsprechend erstrecken sich die Ablagerungen ebenfalls in Nord-Süd Richtung wobei in den Niederungen und Tälern die jüngsten Ablagerungen in Form von Auesedimenten (Feinsande, Tone/ Schluffe) und Mooren bzw. Torfe anstehen.

In den Taleinschnitten im Bereich von Wangen ist vor allem mit bindigen Aueablagerungen zu rechnen.



Hn: Niedermoortorf; Seeton: Ton, Schluff, Sand

Abb. 3: Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Bayern, 1:25000 /U 7/

Der Untersuchungsbereich ist der Erdbebenzone 1 sowie zur Untergrundklasse S zuzuordnen. Die Erdbebenzone 1 umfasst Gebiete, denen gemäß des zugrunde gelegten Gefährdungsniveaus ein Intensitätsintervall von 6,5 bis < 7,0 zugeordnet ist. Der zugehörige Bemessungswert der Bodenbeschleunigung a_g beträgt in dieser Erdbebenzone $0,4 \text{ m/s}^2$. Bei der Untergrundklasse S handelt es sich um Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung.

2.3 Ergebnisse der Bohrungen und schweren Rammsondierungen

Zur Erkundung der anstehenden Bodenschichten wurden von der Firma IBES, Freiberg 2 Rammkernbohrungen (BK) sowie 2 schwere Rammsondierungen (DPH) am Dammfuss durchgeführt.

Die Bohrungen wurden entspr. Mail von Hrn. Scandolo vom 30.11.2016 mit Hilfe des Bohrverfahrens Rotary-Trockenbohrverfahren mit Drehschappe und Einfachkernrohr ausgeführt.

Dabei ist es erforderlich, dass das Bohrloch gegen Einsturz gesichert wird. Die Bohrlochstabilisierung erfolgt durch eine Verrohrung. Dieses ermöglicht die Entnahme von möglichst unverfälschten Bodenproben. Im Rahmen der Bohrüberwachung durch die DB E&C wurde bei der B2 die Verrohrung jedoch nur bis in eine Tiefe von 11,0 m u. AP ausgeführt. Inwieweit die Verrohrung bei der B1 bis zur Endteufe mitgeführt wurde, konnte nicht überprüft werden. Die Unterlagen bzw. das Deckblatt entspr. DIN 4022 für Bohrungen bezüglich der Verrohrung wurde uns von der Fa. Ibes nicht zur Verfügung gestellt.

Bei der Durchführung der schweren Rammsondierung werden jeweils die Schläge der genormten Sonde pro 10 cm Eindringtiefe gezählt. In feinkörnigen bzw. bindigen Böden wird der Rammwiderstand durch die mit der Tiefe zunehmende Mantelreibung beeinflusst. Aus diesem Grund lassen sich keine gesicherten Angaben über die Beziehung zwischen Schlagzahl und Konsistenz machen. Für die Bewertung der Konsistenz sind die Ergebnisse der Handspezifikation und der bodenmechanischen Laborversuche heranzuziehen.

Aus gutachterlicher Sicht ist die DPH 2 nicht verwertbar. Vermutlich wurde die DPH 2 im unmittelbaren Nahbereich zur B2 ausgeführt. Wie aus dem Bohrprotokoll ersichtlich ist, beträgt die Eindringtiefe allein durch das Eigengewicht des Gestänges bereits mehrere Meter. Besonders im Tiefenbereich 3,40 - 6,50 m u. AP steht halbfester Schluff an. Hier hätte der Rammwiderstand durch die Mantelreibung abgetragen werden müssen.

Im Zuge der durchgeführten Erkundungen und Untersuchungen wurde folgender Schichtaufbau festgestellt:

Auffüllung

- Es wurden keine Auffüllungen erbohrt.

Anstehende Böden rechts der Bahn (B 1):

- bis 0,35 m u. AP (553,09 mNN): Muttererde (Bodengruppe Mu),
- bis 1,0 m u. AP (552,44m NN): halbfester Schluff (Bodengruppe UL),
- bis 4,10 m u. AP (549,34 mNN): weicher, weich-steifer Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 5,70 m u. AP (547,74 mNN): halbfester Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 7,90 m u. AP (545,54 mNN): breiig-weicher, weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 8,65 m u. AP (543,69 mNN): sandiger Kies mit dichter Lagerung (Bodengruppe Gl),
- bis 9,75 m u. AP (543,69 mNN): schluffiger Kies mit dichter Lagerung (Bodengruppe GU*)
- bis 12,90 m u. AP (540,54 mNN): weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 13,40 m u. AP (540,04 mNN): halbfester Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 13,60 m u. AP (539,84 mNN): breiig-weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 14,10 m u. AP (539,34 mNN): steifer Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 18,30 m u. AP (535,14 mNN): breiig, breiig-weicher, weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 18,80 m u. AP (534,64 mNN): halbfest Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 28,00 m u. AP (525,44 mNN): weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM).

Anstehende Böden links der Bahn (B 2):

- bis 0,80 m u. AP (553,61 mNN): Muttererde (Bodengruppe Mu),
- bis 2,0 m u. AP (552,41 mNN): weich-steifer Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 3,40 m u. AP (551,01 mNN): schluffiger Kies mit lockerer Lagerung (Bodengruppe GU*),
- bis 6,50 m u. AP (547,91 mNN): halbfester Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 9,40 m u. AP (545,01 mNN): weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 11,30 m u. AP (543,11 mNN): steifer Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 12,30 m u. AP (542,11 mNN): weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 13,00 m u. AP (541,41 mNN): schluffiger Sand mit dichter Lagerung (Bodengruppe SU*),
- bis 19,10 m u. AP (535,41 mNN): breiig-weicher Schluff (Bodengruppe UL/UM),
- bis 23,10 m u. AP (531,31 mNN): schluffiger Sand mit mitteldichter Lagerung (Bodengruppe SU*),

Tabelle 2: Baugrundmodell

Schicht		Schicht- nummer	Frostep- findlichkeit ZTVE-StB 09	Durchläs- sigkeit [m/s]	Boden- gruppe lt. DIN 18196
an- stehende Böden	Mutterboden	1.1.1	F3	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	MU
	Sand, schluffig, kiesig; mitteldicht	3.2.2	F3	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	SU*
	Sand, schluffig, kiesig; dicht	3.2.3	F3	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	SU*
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig; breiig bis weich	4.4.1	F3	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	UL/UM
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig; steif	4.4.2	F3	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	UL/UM
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig; halbfest	4.4.3	F3	$10^{-8} \dots 10^{-10}$	UL/UM
	Kies, schluffig, sandig; dicht	5.2.3	F1	$10^{-2} \dots 10^{-4}$	GI
	Kies, schluffig, sandig; locker	5.4.1	F3	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	GU*
	Kies, schluffig, sandig; dicht	5.4.3	F3	$10^{-5} \dots 10^{-7}$	GU*

2.4 Hydrogeologische Verhältnisse

Die Bohr- und Sondierarbeiten im Untersuchungsbereich wurden im Oktober 2016 durch die Fa. Ibes, Freiberg durchgeführt.

Mit der Rammkernbohrung BK 1 wurde das Grundwasser am 13.10.2016 bei 10,08 m u. AP (543,36 m NN) angetroffen. Die Rammkernbohrung BK1 wurde nicht zur Grundwassermeßstelle ausgebaut. Der Ruhewasserspiegel wurde am 13.10.2016 bei 5,18 m u. AP (548,26 mNN) eingemessen. Es liegen gespannte Grundwasserverhältnisse vor.

Mit der Rammkernbohrung BK 2 wurde das Grundwasser am 07.10.2016 bei 4,25 m u. AP (550,16 m NN) angetroffen. Der Ruhewasserspiegel wurde ebenfalls bei 4,25 m u. AP (550,16 m NN) eingemessen.

Längerfristige Messreihen zum Grundwasserstand liegen uns derzeit nicht vor.

Unter Berücksichtigung möglicher Hochwassersituationen empfehlen wir von einem Bemessungswasserstand von 551,16 mNN auszugehen.

Tabelle 3: Darstellung der Wasserstände

Aufschluss	Datum	Grundwasser	Ruhewasserstand	Bemessungswasserstand
		angebohrt		
BK 1	13.03.2016	10,08 m u. AP (543,36 m NN)	5,18 m u. AP (548,26 mNN)	551,16 mNN
BK 2	07.10.2016	4,25 m u. AP (550,16 m NN)	4,25 m u. AP (550,16 m NN)	

Entsprechend den Information des Kartendienst Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg grenzt der Streckenabschnitt an keine Hochwassergefahrenfläche (HQ₁₀₀). Die Hochwassergefahrenflächen HQ₁₀₀ zeigen, welche Gebiete bei einem 100-jährlichen Hochwasser (mittleres Hochwasser) betroffen sind.

Auch grenzt der Untersuchungsabschnitt an keine Naturschutz- oder Landschaftsschutzgebiete an.

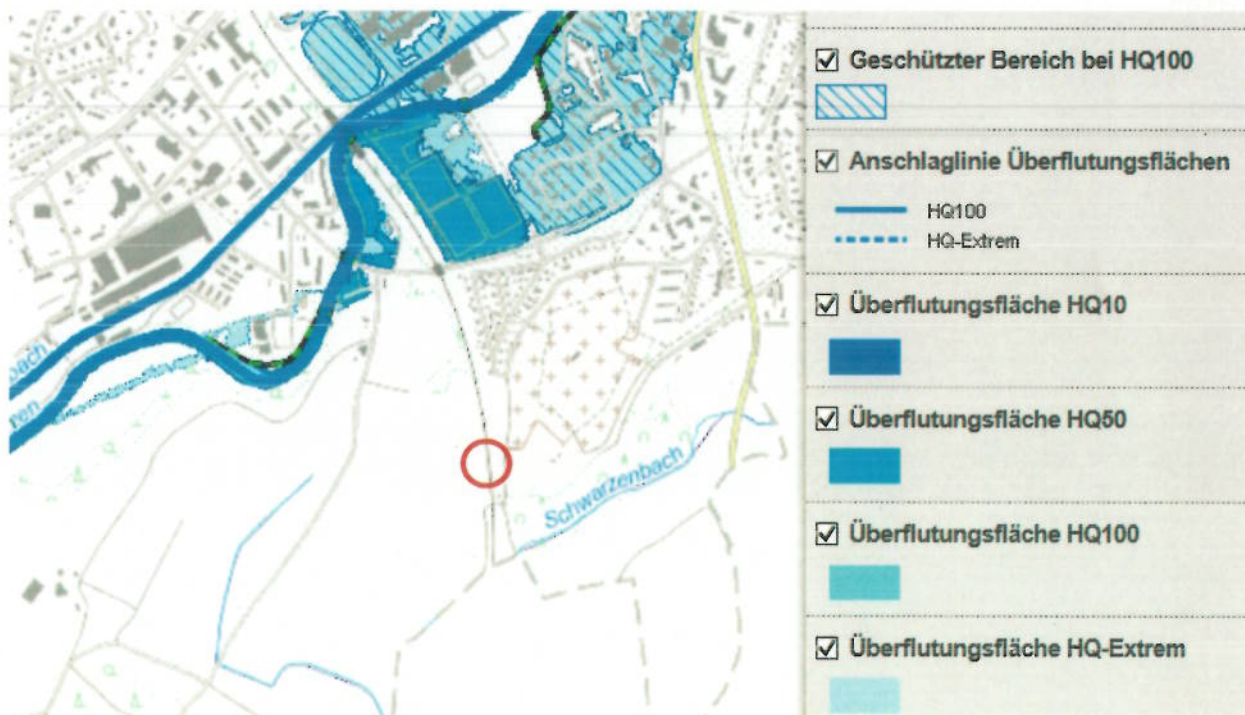


Abb. 4: Lage des Untersuchungsbereich in Randlage zur Überflutungsflächen HQ₅₀, HQ₁₀₀

2.5 Kampfmittel

Aufgrund der Auswertung der vorhandenen Luftbilder besteht im Untersuchungsbereich der Verdacht auf eine vorhandene Kampfmittelbelastung. Die Bohr- und Sondieransatzpunkte wurden daher im Vorfeld durch die Firma Geolog Fuß/Hepp GbR mittels Geomagnetik und Georadarverfahren untersucht. Es waren dabei keine Indikatoren für das Vorhandensein von Kampfmitteln nachweisbar.

2.6 Baugrundmodell

Im Ergebnis der Baugrunderkundungen und der Laboruntersuchungen lässt sich für den Untersuchungsbereich ein übergreifendes Baugrundmodell entwickeln, welches für die Bewertung der Baugrundverhältnisse herangezogen werden kann. Dabei wurden die Böden in Schichten mit annähernd gleichen bodenphysikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften zusammengefasst.

Tabelle 4: Baugrundmodell

Schicht		Konsistenz /Lagerungs- dichte	Schicht- Nr.	Bodengruppe lt. DIN 18196
	Mutterboden	--	1.1.1	Mu
Sand	Sand, schluffig, kiesig;	mitteldicht	3.2.2	SU*
	Sand, schluffig, kiesig;	dicht	3.2.3	SU*
Schluff	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig;	breiig bis weich	4.4.1	UL/UM
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig;	steif	4.4.2	UL/UM
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig;	halbfest	4.4.3	UL/UM
Kies	Kies, schluffig, sandig;	dicht	5.2.3	GI
	Kies, schluffig, sandig;	locker	5.4.1	GU*
	Kies, schluffig, sandig;	dicht	5.4.3	GU*

2.7 Bodenrechenwerte

Den anstehenden Schichten können für die erdstatische Berechnung nach den durchgeführten Laborversuchen und unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten die in den Tabellen angegebenen folgende Bodenrechenwerte zugeordnet werden.

Tabelle 5: Bodenrechenwerte der anstehenden Böden

Schicht / Schicht-Nr.	Sand		Schluff			Kies		
	3.2.2	3.2.3	4.4.1	4.4.2	4.4.3	5.2.3	5.4.1	5.4.3
Bodengruppe nach DIN 18 196	SU*		UL/UM			GI	GU*	
Lagerungsdichte / Konsistenz	md	d	br - we	st	hf	d	lo	d
Wichte des feuchten Bodens γ_k [kN/m³]	18,0	19,0	18,0	19,0	20,0	22,0	19,0	21,0
Wichte unter Auftrieb γ'_k [kN/m³]	10,0	11,0	9,0	10,0	10,0	12,0	9,0	11,0
Wirksamer Reibungswinkel ϕ'_k [Grad]	30,0	31,0	23,0	25,0	28,0	35,0	28,0	32,5
Wirksame Kohäsion c'_k [kN/m²]	1,0	1,0	2,0	4,0	10,0	0,0	2,0	2,0
Steifemodul ¹⁾ $E_{s,k}$ [MN/m²]	15,0	30,0	2	5,0	10,0	50,0	15,0	40,0

¹⁾ Die Angaben für den Steifemodul $E_{s,100}$ in Tabelle 5 u. 6 gelten bei einer Spannung $\sigma=100$ kN/m², die Ermittlung des spannungsabhängigen Steifemoduls $E_{s,k}$ ergibt sich nach der Gleichung:

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

Der Parameter w ist in Abhängigkeit der Bodenart zu wählen:

Organische Böden: $w=0,85-1,0$; Tone: $w=0,85-1,0$; Schluffe: $w=0,80-0,95$; Sand/Kies: $w=0,50-0,70$

2.8 Rammfähigkeit des Untergrundes

Die Rammfähigkeit der erkundeten Böden ist in der nachfolgenden Tabelle 6 zusammengefasst. Eine Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Rammfähigkeit (z.B. nach DIN-Norm) gibt es nicht. Die nachfolgende Einschätzung der Tabelle 6 basiert auf der Grundlage der erkundeten Bodenarten, Lagerungsdichten bzw. Konsistenzen und den Erfahrungen des Baugrundgutachters.

Tabelle 6: Rammfähigkeit der Untergrundschichten

Schicht		Konsistenz/ Lagerungs- dichte	Schicht -Nr.	Rammfähigkeit
Sand	Sand, schluffig, kiesig;	mitteldicht	3.2.2	leicht bis mittelschwer
	Sand, schluffig, kiesig;	dicht	3.2.3	mittelschwer bis schwer
Schluff	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig;	breiig bis weich	4.4.1	leicht

Schicht		Konsistenz/ Lagerungs- dichte	Schicht -Nr.	Rammfähigkeit
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig;	steif	4.4.2	mittelschwer bis schwer
	Schluff, schwach kiesig, schwach sandig bis sandig;	halbfest	4.4.3	mittelschwer bis schwer
Kies	Kies, schluffig, sandig;	dicht	5.2.3	mittelschwer bis schwer
	Kies, schluffig, sandig;	locker	5.4.1	leicht
	Kies, schluffig, sandig;	dicht	5.4.3	mittelschwer bis schwer

Wir weisen darauf hin, dass in den sandigen und kiesigen Böden aufgrund der geologischen Entstehung mit Findlingen (Steine und Blöcke) gerechnet werden muss.

2.9 Sickerfähigkeit des Untergrundes

Nach DWA-A 138 „Planung, Bau und Betrieb von Anlagen zur Versickerung von Niederschlagswasser“ sind Böden für Versickerungsanlagen geeignet, deren Wasserdurchlässigkeit k_f im Bereich von 10^{-3} und 10^{-6} m/s liegen. Die Mächtigkeit des Sickerraums sollte bezogen auf den mittleren höchsten Grundwasserstand grundsätzlich min. 1 m betragen, um eine ausreichende Sickerstrecke für eingeleitete Niederschlagsabflüsse zu gewährleisten. Da der Sickerraum von min. 1 m im untersuchten Bereich aufgrund des hohen Grundwasserspiegels jedoch nicht vorhanden ist und die angetroffenen bindigen Böden einen k_f -Wert von $<10^{-6}$ m/s (Bemessungs- k_f : 10^{-8} m/s), ist eine Versickerung von Niederschlagswasser nicht möglich.

Wir empfehlen das anfallende Niederschlagswasser zu sammeln und gezielt abzuführen. Inwieweit das anfallende Wasser an eine Vorflut anzubinden ist, ist vom Planer zu überprüfen.

2.10 Beurteilung der Betonaggressivität und Stahlaggressivität

Zur Beurteilung der Betonaggressivität und Stahlaggressivität des Grundwassers wurde aus der Grundwassermessstelle BK1 GWM eine Wasserprobe entnommen und auf beton- und stahlgreifende Inhaltsstoffe nach DIN 4030 und DIN 50929 im Labor GBS, Freiberg /U 5/ mit dem nachfolgenden Untersuchungsergebnis untersucht:

- Das untersuchte Wasser ist nach DIN 4030 nicht betonangreifend. Es liegt unterhalb der Zuordnungswerte der Expositionsklasse XA1.
- Gemäß DIN 50929 Teil 3 ist die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in Wässern im Unterwasserbereich sehr gering bezüglich Mulden und Lochkorrosion und sehr gering bezüglich der Flächenkorrosion.
- Die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in Wässern ist an der Wasser/Luft-Grenze sehr gering bezüglich Mulden und Lochkorrosion und sehr gering bezüglich der Flächenkorrosion.
- Die Güte der Deckschichten auf feuerverzinkten Stählen ist sehr gut.

Die Prüfberichte der chemischen Analyse liegen in der Anlage 5 bei.

3 Gründungstechnische Schlussfolgerungen / Empfehlungen

Auf der Strecke 4560 Kißlegg - Hergatz soll bei km 15,310 eine neue Fußgängerunterführung errichtet werden. Ursprünglich gab es als Ausführung zwei Varianten: Ein Wellstahlbauwerk und ein Stahlbetonrahmen. Laut Herrn Vogler gilt das Wellstahlbauteil als Vorzugsvariante.

Im Hinblick auf die vorhandenen und erkundeten Bodenverhältnisse empfehlen wir ebenfalls aufgrund der geringeren Lasten ein Wellstahlbauwerk.

Entsprechend den Angaben von Herrn Vogler, Ingenieurbüro Vogler ist als Durchgangsprofil (Wellstahlbauteil) ein Stahlfertigteil WA8 der Fa. Vario-Sec vorgesehen. Die Gesamtlänge des Wellstahlbauwerkes beträgt 17,18m, die lichte Höhe im Scheitel 2,28 m und die Einzelstützweiten 3,594 m. das neue Bauwerk kreuzt die Gleise im Kreuzungswinkel von 100 gon (rechtwinklig).

Hierzu sollen im Rahmen der Entwurfsplanung Angaben zu den Baugrundverhältnissen und zur Gründung gemacht werden. Lastangaben lagen zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung nicht vor.

Die Einbauvorschriften insbesondere der Rohrbettungsbereich sind zu beachten. Im Bettungsbereich muss der Boden den für die Tragfähigkeit des Rohres erforderlichen Bettungswiderstand besitzen, sowie die seitens der Statik geforderte Steifeszahl E_s von 30 MN/m² und den Bodenreibungswinkel von $\varphi = 28^\circ$. Unterhalb des Wellstahlbauwerkes ist entsprechend der Vorplanung, Ing.-Büro Vogler /U 19/ eine 0,924 m mächtige, mit Vlies ummantelte Schroppen-Kies-Sand-Gemischtschicht vorgesehen. Die Gründungssohle wird auf 552,147m NN festgelegt.

Es wurde daraufhin nur die Variante Flachgründung untersucht und keine Tiefgründung.

3.1 Flachgründung

Für die Bemessung der neuen Fundamente in der Endlage sind die zulässigen Bemessungswerte des Sohldruckwiderstandes erforderlich. Diese müssen so gewählt werden, dass:

- die Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 gewährleistet ist und
- keine bauwerksschädlichen Setzungen / Setzungsunterschiede eintreten,

Unter Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte nach EC7 und lotrecht mittiger Belastung wurden überschlägliche Grundbruch- und Setzungsberechnungen mit dem Programm Footing durchgeführt /U 17/.

Aus den Aufschlussprofilen ist ersichtlich, dass im Bereich links der Bahn bis max. 19,10 m u. SO (531,31 m NN) überwiegend nicht tragfähige, breiig bis weiche Schluffe lokal halbfeste Schluffe (Bodengruppe UL/UM) und lokal lockere bis dichte Kiese und Sande (Bodengruppe GU*, SU*) anstehen. Im Bereich rechts der Bahn wurden überwiegend nicht tragfähige breiig bis weiche, lokal geringmächtige halbfeste Schluffe sowie dicht gelagerte Kiese (Bodengruppe GI/GU*) bis in eine Tiefe von 28,0 m u. SO (525,44 mNN) angetroffen.

Gemäß /U 3/ ist nach derzeitigem Stand die Gründungssohle des Wellstahlbauwerks bei ca. 552,14 m NN geplant. Unterhalb dieser Kote stehen somit entsprechend den Erkundungsergebnissen noch ca. 2,81 m nicht tragfähige Böden (weiche Schluffe, Schichten 4.4.1) an.

Es wurden folgende Annahmen getroffen:

Tabelle 7: Eingabewerte für die Setzungsberechnung

Fundamentart:	Streifen/Plattenfundament (Endlage)
Fundamentlänge:	a = 17,20 m
Fundamentbreite:	b = 7,0 - 7,4 m
Gründungstiefe:	552,14 m NN
Grundwasser: (Bemessungswasserstand)	551,16 m NN
Bodenprofil:	BK 1 (br)
Vorbelastung:	50 kN/m ²

Im Bereich der o.g. Bodenverhältnisse innerhalb der Gründungssohle kann ein setzungsarmer und schadfreier Lastabtrag des Bauwerkes mittels Flachgründung nur mit bodenverbessernden Maßnahmen erfolgen. Zur Vergleichmäßigung des Setzungsverhaltens und Erhöhung der Trag-

fähigkeit empfehlen wir daher einen Bodenaustausch (GW/ GI) mit einer Mächtigkeit von 2,0 m bis in eine Tiefe von 550,16 m NN auszuführen.

Das einzubauende, erdfeuchte Kiespolster sollte aus einem Kies-Sand-Gemisch mit $U > 6$ bestehen. Es ist so zu verdichten, dass ein Verdichtungsgrad D_{pr} 100 % bzw. $E_{vd} \geq 35,0 \text{ MN/m}^2$ erreicht wird. Das Kiespolster ist lagenweise (30 cm pro Lage) einzubringen und zu verdichten.

Für das Kiespolster können dann die folgenden Bodenrechenwerte angesetzt werden:

- Wichte über Wasser: $\gamma_k = 22 \text{ kN/m}^3$
- Wichte unter Auftrieb: $\gamma'_k = 12 \text{ kN/m}^3$
- Reibungswinkel: $\varphi'_k = 35^\circ$
- Kohäsion: $c'_k = 0 \text{ kN/m}^2$
- Steifemodul: $E_{s,k} = 80 \text{ MN/m}^2$

Die Ergebnisse der durchgeführten Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen sind in der Tabelle 7 sowie in Anlage 6 zusammengestellt.

Hierbei wurde jeweils eine überschlägige Setzungsberechnung im Bereich der BK 1 mit Bodenaustausch (Kieskoffer 2,0 m) durchgeführt, da die tatsächlichen Lasten (u.a. Vertikalkomponenten der Lasten und Momente), Bauwerkskonstruktion bzw. bevorzugte Gründungsvariante nicht bekannt sind. Bei der Bemessung ist zu beachten, dass die Grundbruchsicherheit nach DIN 4017 gewährleistet ist und keine bauwerksschädlichen Setzungen und Setzungsunterschiede auftreten.

Tabelle 8: Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes bei Setzung $s=1,0 \text{ cm}$ für unterschiedliche Fundamentbreiten (Bodenaustausch 1,0 m)

Fundamentbreite	Bemessungswert des Sohldruckwiderstand $\sigma_{R,d} [\text{kN/m}^2]$ bei $s=1,0 \text{ cm}$	Bettungsmodul $k_s [\text{MN/m}^3]$
7,0 m	114,25	8,0
7,2 m	114,00	8,0
7,4 m	113,50	8,0

Die Zwischenwerte bzw. die Setzungen in Abhängigkeit von den Bodenpressungen und Fundamentbreiten können der Anlage 6, Blatt 1 entnommen werden.

Bei den Bemessungswerten des Sohldruckwiderstandes $\sigma_{R,d}$ ist zu beachten, dass in diesen Werten gegenüber dem aufnehmbaren Sohldruck die Teilsicherheitsbeiwerte für die ständigen Einwirkungen ($\gamma_G = 1,35$) und veränderlichen Einwirkungen ($\gamma_Q = 1,50$) nicht berücksichtigt sind. Um aus dem Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes $\sigma_{R,d}$ den aufnehmbaren Sohldruck σ zu ermitteln, muss dieser durch die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen $\gamma_{(G, Q)}$ gemäß folgender Gleichung dividiert werden:

$$\text{zul } \sigma = \sigma_{R,d} / \gamma_{(G, Q)} \text{ mit } \gamma_{(G, Q)} = V * \gamma_Q + (1-V) * \gamma_G$$

(V = Verhältnis Veränderliche (Q) / Gesamtlasten (G+Q))

Bei einem angenommenen Verhältnis $V = 0,5$ ergibt sich somit:

$$\gamma_{(G, Q)} = 0,5 * 1,5 + (1-0,5) * 1,35 = 1,425$$

$$\text{zul } \sigma = \sigma_{R,d} / 1,425$$

Mit den angegebenen Berechnungsannahmen wurde der Nachweis gegen Grundbruch für den vorgesehenen Fundamenttyp durchgeführt. Dieser Nachweis konnte durchgehend erfüllt werden. Die Zwischenwerte bzw. die Setzungen in Abhängigkeit von den Bodenpressungen und Fundamentbreiten können den entsprechenden Diagrammen der Anlage 6 entnommen werden.

Um eine Flachgründung entsprechend den angetroffenen Bodenverhältnissen zu realisieren, ist eine Umsetzung der Baumaßnahme mittels Flachgründung nur im Schutze eines Spundwandverbau aufgrund des hoch anstehenden Grundwassers und des erforderlichen bis zu 2,0 m dicken Gründungspolsters möglich. Da jedoch keine tragfähigen Böden bis in die erkundeten Tiefen erkundet wurden, ist ein Spundwandverbau nicht ausführbar. Daher ist eine Flachgründung aus technischen und wirtschaftlichen Erwägungen nicht zu empfehlen.

3.2 CSV-Verfahren

Beim CSV-Verfahren (Coplan-Stabilisierungs-Verfahren bzw. combined-vertical-soil-stabilisation) wird ein Gemisch aus Sand und hydraulischem Bindemittel im Verdrängungsverfahren in den zu verbessernden Boden eingebracht.

Untergrundverbesserungen bei denen, wie beim CSV-Verfahren, der anstehende Untergrund durch Einbringen engstehender Pfähle oder Säulen, in der Regel als schwimmende Gründung, in seinen Scherverhalten anisotrop verbessert wird, sind gemäß Ril 836.4202 (1) als Verpfählungen einzustufen. Verpfählungen innerhalb des Stützbereiches gemäß Ril 836.2001 bedürfen der UiG und ZiE. Das CSV-Verfahren ist jedoch nur in bindigen und organischen Böden mit einer Konsistenz geringer als „halbfest“ einsetzbar. Geringe Sandgehalte und geringmächtige Sandschichten stellen kein Hindernis dar. Die Säulen können auch schräg eingebaut werden, um Horizontalkräfte abzutragen. Die maximale Einfahrtiefe beträgt ca. 7,0m bis 11,0m.

Im Vorfeld einer Dimensionierung der Bauausführungsplanung kann aufgrund von Erfahrungs- und Literaturwerten von einem Abstand der CSV-Säulen (Durchmesser 0,18 m) von rd. 0,2m ausgegangen werden.

Erfahrungsgemäß benötigen die CSV-Säulen 2 bis 4 Wochen um im Baugrund auszuhärten und die volle Tragfähigkeit zu erreichen. In dieser Anfangsphase muss die Beanspruchung der CSV-Säulen gering gehalten werden. Auf der OK CSV-Säulen wird eine, z.B. mittels Geogittern zu realisierende, lastverteilende Schicht erforderlich. Der uneingeschränkte Fahrbetrieb darf erst vier Wochen nach Fertigstellung der letzten CSV-Säule aufgenommen werden. Bis dahin sollte die Fahrgeschwindigkeit auf 80 km/h begrenzt werden, um die dynamischen Einwirkungen gering zu halten.

Im Bereich der B2 wurde in einer Tiefe von 3,40 – 6,50 m halbfeste Schluffe erkundet. Die halbfesten bindigen Böden eignen sich nicht für das CSV-Verfahren. Des Weiteren steht der Bemessungswasserstand ab Kote 551,16 m NN an (Grundwasser wurde bei 550,16 m NN erkundet), so dass eine Ausführung des CSV-Verfahren hier nicht möglich ist.

Daher raten wir von einer Bodenverbesserung durch das CSV-Verfahren ab.

3.2.1 Rüttelstopfverfahren

Alternativ zur Ausführung eines mächtigen Bodenaustausch ist eine Bodenverbesserung durch Herstellung von Rüttelstopfsäulen (RSV) möglich. Es handelt sich dabei um ein Tiefenverdichtungsverfahren bei denen lockere oder weiche Böden für bautechnische Belange verbessert werden. Der beim Rüttlerhub austretende Kies oder Schotter wird beim Andrücken verdichtet

und seitlich in den Boden verdrängt. Die Verdichtung und die seitliche Verdrängung des so eingebrachten Materials geschieht lagenweise im Pilgerschrittverfahren.

Somit entsteht eine Schotter- oder Kiessäule, die den anstehenden kohäsiven Boden durch die höhere Steifigkeit des eingebauten Zugabematerials verbessert und die Tragfähigkeit des Bodens erhöht. Zwischen der Schottersäule und dem umgebenden Boden entsteht somit eine Verbundtragwirkung. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass der Boden unmittelbar nach Ausführung belastbar ist und aufgrund der Verdrängung des Bodens nur geringer Aushub bzw. Bodenabfall anfällt und ggf. entsorgt werden müsste.

Die Anordnung der Verdichtungspunkte unter Flächenlasten erfolgt dabei in Form von gleichseitigen Dreiecken. Unter Streifen- und Einzellasten werden die Verdichtungspunkte meist konzentriert. Gründungstechnisch ist ein durch Stopfverdichtung verbesserter Boden wie ein normaler, ausreichend tragfähiger und verformungsarmer Boden zu betrachten. Eine Bemessung der Bodenverbesserung des anstehenden Bodens durch Rüttelstopfsäulen lässt sich nach der Methode von J. Heinz Priebe /U 18/ näherungsweise ermitteln. Auf den Einbau einer lastverteilenden Schicht zwischen den freigelegten Köpfen und des Wellstahlbauteils kann verzichtet werden, da entsprechend den Einbaubedingungen unterhalb des Wellstahlbauwerks eine 0,924 m mächtige, mit Vlies ummantelte Schroppen-Kies-Sand-Gemischtschicht vorgesehen ist.

Da die Rüttelstopfsäule aufgrund des hohen Porenraums eine Drainierung des Wassergesättigten Bodens herbeiführen, sind kurzfristige Setzungen des umliegenden Bodens und Dammbauwerks nicht auszuschließen.

Es ist nicht auszuschließen, dass Torfinsen angetroffen werden. Daher empfehlen wir geotextilummantelte Rüttelstopfsäulen, um die Formstabilität der Rüttelstopfsäulen zu gewährleisten.

Wir empfehlen folgende Vorgehensweise:

1. Aushub der Auffüllungen bis zur Gründungssohle von 552,14 m NN.
2. Schaffen eines Arbeitsplanums für das Rüttelstopf-Gerät aus ca. 0,2 - 0,3 m starker Tragschotterschicht.
3. Herstellen der geotextilummantelte Rüttelstopfsäulen. Hier ist zu bemerken, dass die obersten 0,4 - 0,5 m der Rüttelstopfsäulen verfahrensbedingt nur unzureichend verdichtet werden.
4. Verdichten des Planums und der obersten 0,4 - 0,5 m der Rüttelstopfsäulen.

5. Verlegen eines knotenstabilen, gestreckten Geogitters unter Beachtung der Verlegeanleitung.
6. Einbringen des in den Einbaubedingungen erforderlichen Kieskoffers unterhalb des Wellstahlbauteils.

Bei der Wahl des Geogitters ist darauf zu achten, dass kein Zugfestes Vlies, sondern ein echtes Gitter zum Einsatz kommt, sodass Sickerwasser ungehindert abfließen kann.

Bei der empfohlenen Vorgehensweise für die Herstellung der Rüttelstopfsäulen wird von folgenden Anhaltswerten ausgegangen:

- Niveau der lokal tragfähigen Schicht (Schicht 5.3.2, 5.4.3): 6,60 m
- Einbindetiefe Stopfsäulen in die Kiesschicht: 0,50 m
- Gründungstiefe: 7,10 m

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Länge der Rüttelstopfsäulen von ca. 7,10 m. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese Angaben auf punktuellen Untersuchungen beruhen. Der Untergrund kann sich zwischen diesen Untersuchungsstellen ändern, sodass die angegebenen Werte nur als Anhaltswerte dienen können.

Ein gängiges Raster der Stopfsäulen ist in der Regel ein gleichschenkliges Dreieck mit einer Kantenlänge von 1,00 m. Der Säulenradius sollte dabei 0,6 m nicht unterschreiten. Als Füllmaterial sollten Kiese oder Schotter mit einem Winkel der inneren Reibung von ca. 38° verwendet werden.

Setzungsberechnungen

Für die Setzungsberechnung wurden unter Berücksichtigung des spannungsabhängigen Steifemodul E_s die Verbesserung/ Erhöhung der Bodenkennwerte unter Annahme eines Dreiecksraster von 1,0 m und einem Säulendurchmesser von 0,6 m nach Priebe /U 18/ ermittelt. Demnach können folgende Bodenkennwerte angesetzt werden:

Schicht	Raumgewicht RSV γ_{RSV} [kN/m ³]	Reibungswinkel RSV ϕ_{RSV} [°]	Kohäsion RSV c'_{RSV} [kN/m ²]	Steifezahl RSV E_{RSV} [kN/m ²]	Grundwert Verbesserung n_0
4.4.1	18,0	29,41	1,19	5,85	3,003
4.4.3	20,0	31,71	6,35	26,40	3,003

Die hier gemachten Angaben dienen einer Einschätzung im Rahmen der Vorbemessung. Die o.g. überschlägigen Werte sind nach Eingang der Bauwerkspläne und -lasten durch den Statiker überprüfen bzw. ergänzen zu lassen.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Randbedingungen kann aus gutachterlicher Sicht eine Flachgründung des Bauwerks auf Rüttelstopfsäulen empfohlen werden.

Die Ergebnisse der durchgeführten Grundbruchberechnungen und Setzungsabschätzungen sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes bei Setzung $s=1,0$ cm für unterschiedliche Fundamentbreiten (Rüttelstopfsäulen)

Fundamentbreite	Bemessungswert des Sohldruckwiderstand $\sigma_{R,d}$ [kN/m ²] bei $s=1,0$ cm	Bettungsmodul k_s [MN/m ³]
7,0 m	106,50	7,5
7,2 m	106,25	7,5
7,4 m	106,00	7,5

Um aus dem Bemessungswert des Sohldruckwiderstandes $\sigma_{R,d}$ den aufnehmbaren Sohldruck σ zu ermitteln, muss dieser durch die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen $\gamma_{(G, Q)}$ gemäß folgender Gleichung dividiert werden:

$$\text{zul } \sigma = \sigma_{R,d} / \gamma_{(G, Q)} \text{ mit } \gamma_{(G, Q)} = V * \gamma_Q + (1-V) * \gamma_G$$

(V = Verhältnis Veränderliche (Q) / Gesamtlasten (G+Q))

Bei einem angenommenen Verhältnis $V = 0,5$ ergibt sich somit:

$$Y_{(G, Q)} = 0,5 * 1,5 + (1-0,5) * 1,35 = 1,425$$

$$\text{zul } \sigma = \sigma_{R,d} / 1,425$$

Mit den angegebenen Berechnungsannahmen wurde der Nachweis gegen Grundbruch, Gleiten sowie Kippen für den vorgesehenen Fundamenttyp durchgeführt. Dieser Nachweis konnte durchgehend erfüllt werden. Die Zwischenwerte bzw. die Setzungen in Abhängigkeit von den Bodenpressungen und Fundamentbreiten können den entsprechenden Diagrammen der Anlage 6 entnommen werden.

3.3 Baugrubensicherung und Wasserhaltung

Für die Flachgründung des Bauwerks auf einem Bodenaustausch sind Baugruben mit Tiefen von bis zu 3,29 m unter Gelände erforderlich. Baugruben bis 1,25 m Tiefe können nach DIN 4124 senkrecht ausgehoben werden. Tiefere Baugruben müssen geböscht oder verbaut werden. Unbelastete Böschungen bis 5,00 m Höhe über dem Grundwasser können nach DIN 4124 unter 45° ohne gesonderten Nachweis hergestellt werden. Bei belasteten oder höheren Böschungen sowie Böschungen unter Grundwasser ist die Standsicherheit nachzuweisen. Ohne rechnerischen Nachweis der Standsicherheit darf der maximale Böschungswinkel von 45° für die erkundeten gemischtkörnigen Böden nicht überschritten werden. Für die Herstellung der Baugruben sind die weitergehenden Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 zu beachten. Die Herstellung der Baugrube ohne Verbau ist nur mit entsprechender Wasserhaltung zu realisieren.

Demnach müssen die Baugruben geböscht oder verbaut werden.

Anhand der durchgeführten Bohrungen ist für den Bereich des EÜ-Bauwerks im Bauzustand ein Grundwasserspiegel in einer Tiefe von ca. 2,28 m unter Gelände (551,16 m ü NN) anzusetzen. Der Bemessungswasserstand liegt bei 551,16 m NN. Die Aushubtiefe für einen möglichen Bodenaustausch liegt somit ca. 1,0 m unterhalb des Grundwasserspiegels. Im Untersuchungsbereich stehen überwiegend feinkörnige Böden an, die je nach Kornzusammensetzung Durchlässigkeiten von k_f -Wert $1 \cdot 10^{-9}$ m/s (Schicht 4.4.x) aufweisen. Genaue Angaben zur Durchlässigkeit der anstehenden Böden werden in Tabelle 2 behandelt. Die feinkörnigen Böden sind sehr

wasserempfindlich und neigen bei dynamischer Belastung in Verbindung mit Wasser zur Verflüssigung. Die Voraussetzung für eine fachgerechte Herstellung des Bodenaustauschs ist die Herstellung einer trockenen Baugrube. Entsprechende Wasserhaltungsmaßnahmen (Pumpensumpf mit GW-Absenkung bis mind. 0,5 m unter Baugrubensohle) sind ggf. durchzuführen.

Das Grundwasser wurde innerhalb der B1 in einer Tiefe von 10,08 m u. AP (543,36 m NN) angebohrt und stieg bis auf 518 m u. AP (548,26 m NN) an. Der Bemessungswasserstand wird mit 551,16 m NN angegeben. Es handelt sich um gespannte Grundwasserverhältnisse.

Zur Entwässerung der Baugrube kann eine offene Wasserhaltung angewendet werden. Beim Verfahren der offenen Wasserhaltung wird das der Baugrube zufließende Grund-/Schicht- und Oberflächenwasser in offenen Gräben oder in Dränen gesammelt, dem Pumpensumpf zugeleitet und hier abgepumpt. Während des Baugrubenaushubs müssen die Gräben (bzw. Dräne) und der Pumpensumpf der jeweiligen Aushubtiefe folgend ständig tiefer gelegt werden, sodass gewährleistet wird, dass durch den Absenkrichter ein GW Absenkung von mind. 0,5 m unter Baugrubensohle erfolgt. Die Förderung des so aufgefassten Wassers übernehmen meistens Tauchpumpen. Bei der Anwendung dieses Verfahrens ist die Auflassung der Baugrube im Pilerschrittverfahren zu empfehlen.

Als Alternative kann aufgrund des hohen Grundwasserspiegels bei überwiegend gering durchlässigen Böden (k_f -Wert $\leq 10^{-6}$ m/s) die Grundwasserabsenkung mittels einer Unterdruckentwässerung (Vakuumverfahren) ausgeführt werden. Beim Vakuumverfahren werden Filter im Spülverfahren bis zu Tiefen von 8,00 m eingespült und mit Vakuumpumpen betrieben. Diese Vakuumpumpen erzeugen innerhalb des Rohrsystems einen Unterdruck. So kann der natürliche atmosphärische Druck das Wasser automatisch zu diesem Unterdruckbereich hintreiben und eine trockene Baugrube gewährleistet werden.

Gerade im Hinblick auf die spätere Ausführung und Ausschreibung empfehlen wir eine Fachfirma bei der Wahl des geeigneten Verfahrens hinzuzuziehen.

Unabhängig von einer funktionierenden Wasserhaltung sind Auswaschungen und Ausspüllungen an den Böschungen bei Starkregenereignissen bei den vorliegenden wasserempfindlichen Böden nicht auszuschließen.

Für die Herstellung der Baugruben sind die weitergehenden Forderungen, Empfehlungen und Hinweise der DIN 4124 zu beachten.

Es ist zu bedenken, dass sich das Baufeld bei Ausführung einer geböschten Grube aufgrund der Tiefe stark vergrößern würde. Dieser Sachverhalt ist gerade im Hinblick auf die Baustelleneinrichtung zu berücksichtigen.

3.4 Angaben zum Spundwandverbau

Da kein tragfähiger bzw. nur geringmächtiger tragfähiger Untergrund erkundet worden ist, raten wir von einem Spundwandverbau ab.

3.5 Widerlagerhinterfüllungen

Mit dem Neubau der EÜ müssen auch die Hinterfüllungen gemäß den Forderungen der Ril 836 bzw. dem „Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerken“ der FGSV ausgebildet werden.

So sind nach Ril 836 die Bauwerkshinterfüllungen so auszubilden, dass Setzungen am Übergang zwischen Kunstbauwerk und Erdbauwerk infolge:

- Konsolidierung des Untergrundes,
- Eigenverformung der Hinterfüllung und
- Verkehrsbelastung minimiert werden.

Die Hinterfüllmaterialien sollen gemäß Ril 836, Modul 836.4106, Bild 2 /U 9/ aus wasserdurchlässigen, grobkörnigen, weit- oder intermittierend gestuften Kiessanden (GW, GI, SW, SI nach DIN 18196) mit einem Verdichtungsgrad $D_{pr} \geq 1,0$ bestehen. Um dies zu erreichen, sollen sie im erdfeuchten Zustand in Lagen von $d \leq 0,30$ m eingebaut und verdichtet werden. Die Verdichtung ist im Zuge der Bauausführung kontinuierlich nachzuweisen. Das einzubauende Material ist auf seine Eignung hin im Vorfeld der Baumaßnahme zu prüfen. Zur Qualitätssicherung im Hinterfüllbereich ist der Prüfumfang gemäß Ril 836.4106, Absatz 9 einzuhalten.

Gemäß Ril 836.4106, Absatz 6 ist zwischen unterschiedlichen bzw. nicht gleichzeitig eingebrachten Schüttstoffen eine Verzahnung entsprechend Modul 836.4103 nach ZTV E-StB 09 Absatz 4.3.1.2 herzustellen.

Entsprechend der Übersicht der Ril 836, Modul 836.4106, Bild 7 /U 9/ gelten für die in diesem Projekt anstehende Baumaßnahme für die bauliche Ausbildung der Übergänge zwischen den Erd- und Kunstbauwerken die Ausführungen wie in Bild 7 sowie Bild 9 (aus Ril 836.4106A01,

Bild 2 und Bild 6 /U 9/) dargestellt (Aufbau Hinterfüllung, Schotteroberbau, Bauen im Bestand, $v < 160 \text{ km/h}$).

Ausbildung Widerlager ohne Verbau:

Die Breite des Hinterfüllbereiches muss auf OK der Hinterfüllung mindestens 5,0 m bzw. $2 \cdot H$ (Auffüllhöhe) betragen, wobei der größere Wert maßgebend ist. Eine Verzahnung mit der bestehenden Dammschüttung ist in einer Neigung $\leq 1:1$ auszuführen.

Alternativ kann die Hinterfüllung als qualifizierte Bodenverbesserung nach Ril 836.4101 A01 und Ril 836.4101 A07 ausgeführt werden, wobei abweichend davon für den Boden durchgehend die Werte $q_{u,28d} \geq 0,7 \text{ MPa}$ und $D_{pr} \geq 0,98$ nachzuweisen sind (Siehe Ril 836.4106A01, Bild 1, Zone II /U 9/).

Eine schematische Darstellung für die Ausführung der Hinterfüllung bei bestehenden Strecken enthält Abb. 7.

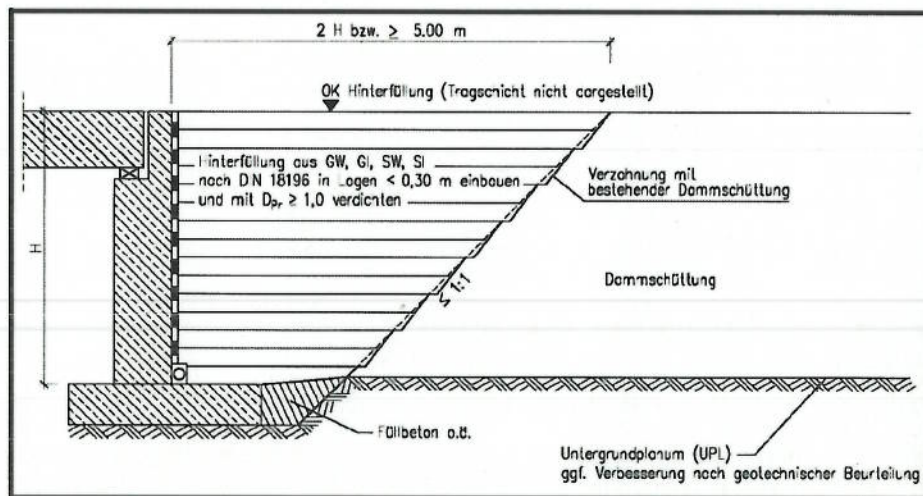


Abb. 7: Hinterfüllung bei bestehenden Strecken mit $v < 160 \text{ km/h}$ /U 9/

3.6 Bautechnische Wiederverwendbarkeit der Aushubmassen und Eignung zur Verwendung als Hinterfüllmaterial

Die im Zuge der Baumaßnahme eventuell auszuhebenden Böden sind für eine Wiederverwendung (z.B. Herstellung Hinterfüllbereiche entsprechend Ril 836.4106) nicht geeignet.

Die bei der Bauausführung anfallenden fein- und gemischtkörnigen Böden können jedoch in Bereichen ohne besondere Anforderungen an Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Frostepfindlichkeit usw. als Auffüllmaterial o.ä. eingesetzt werden. Fremdbestandteile wie Wurzeln, Bauschutt oder Schlacke sind vor einer Wiederverwendung der Böden auszusondern. Aufgeweichte bindige Böden sind vor Wiedereinbau gesondert zu behandeln (z.B. Zumischung von Grobkorn, Austrocknung mit Branntkalk).

Die ausgehobenen Bodenmaterialien sind allgemein für die Herstellung der Hinterfüllbereiche nicht geeignet.

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

4 Zusammenfassung und Hinweise

Im vorliegenden Geotechnischen Bericht werden die Baugrundverhältnisse für den geplanten Neubau der Fußgängerunterführung, geplant als Wellstahlbauwerk auf der Strecke 4560 Kißlegg - Hergatz bei km 15,310 dargestellt und gründungstechnische Empfehlungen gegeben. Abfalltechnische Untersuchungen sind nicht Bestandteil dieses Berichtes.

Die Erkundung des Baugrundes und die Durchführung der Laboruntersuchungen werden vom AG direkt beauftragt und für die Bearbeitung des geotechnischen Berichtes zur Verfügung gestellt. Die Bohrungen wurden mit Hilfe des Bohrverfahrens Rotary-Trockenbohrverfahren mit Drehschappe und Einfachkernrohr ausgeführt. Dabei ist es erforderlich, dass das Bohrloch mit Hilfe einer Verrohrung gegen Einsturz gesichert wird. Im Rahmen der Bohrüberwachung durch die DB E&C wurde bei der B2 die Verrohrung jedoch bis zur Endtiefe ausgeführt. Daher können die Bodenproben verfälscht sein.

Aus gutachterlicher Sicht ist die DPH 2 nicht verwertbar. Vermutlich wurde die DPH 2 im unmittelbaren Nahbereich zur B2 ausgeführt. Wie aus dem Bohrprotokoll ersichtlich ist, beträgt die Eindringtiefe allein durch das Eigengewicht des Gestänges bereits mehrere Meter.

Im Gründungsbereich der EÜ km 15,310 wurden links der Bahn bis 23,10 m u. AP (531,31 mNN) sowie rechts der Bahn bis 28,0 m u. SO (525,44 mNN) überwiegend nicht tragfähige, weiche-breiige und weiche Schluffe (Bodengruppen UL/UM), lokal halb feste Schluffe (UL/UM) und Kiese und Sande (Bodengruppe GI, GU*, SU*) angetroffen.

Mit der Rammkernbohrung BK 1 wurde das Grundwasser am 13.10.2016 bei 10,08 m u. AP (543,36 m NN) angetroffen. Der Ruhewasserspiegel wurde am 13.10.2016 bei 5,18 m u. AP (548,26 mNN) eingemessen. Es liegen gespannte Grundwasserverhältnisse vor.

Mit der Rammkernbohrung BK 2 wurde das Grundwasser am 07.10.2016 bei 4,25 m u. AP (550,16 m NN) angetroffen. Unter Berücksichtigung möglicher Hochwassersituationen empfehlen wir von einem Bemessungswasserstand von 551,16 mNN auszugehen.

Die Ausführung der Gründung der Fussgängerunterführung bei km 15,310 als Flachgründung ohne bodenverbessernde Maßnahmen ist aufgrund der angetroffenen Baugrundverhältnisse (Gründungspolster bis zu 2,0 m erforderlich) aus technischen und wirtschaftlichen Erwägungen nicht zu empfehlen. Wir empfehlen Rüttelstopfsäulen (Dreiecksraster 1,0 m, Säulendurchmesser 60 cm).

Das untersuchte Grundwasser ist nicht betonangreifend nach DIN 4030. Die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Eisenwerkstoffen ist sehr gering bezüglich Mulden und Lochkorrosion und sehr gering bezüglich der Flächenkorrosion.

Die punktförmig durchgeführten Bodenuntersuchungen geben einen guten Überblick über die vorhandenen Untergrundverhältnisse, sie schließen jedoch Abweichungen in Teilbereichen nicht aus.

Wir empfehlen uns einzuschalten, wenn sich Abweichungen von den Untersuchungsergebnissen ergeben bzw. planungstechnische Änderungen durchgeführt werden, die Einfluss auf die Gründung des Bauwerks haben können.

Unsere beauftragten Leistungen für dieses Objekt sind hiermit abgeschlossen.

aufgestellt durch:



Dipl.-Ing. N. Scharun