

## Geotechnischer Bericht

Bauvorhaben:           Strecke 4560 Kißlegg-Hergatz

Teilobjekt:             Sanierung Einschnittsböschung  
                              km 5,900 – 6,600 bahnlinks

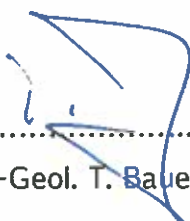
Auftraggeber:           DB Netz AG  
                              Regionalbereich Süd  
                              Produktionsdurchführung Augsburg  
                              (I.NP-S-D-AUG(IF))  
                              Viktoriastraße 3  
                              86150 Augsburg


Auftragsnummer:       D-BG00315P

Bearbeiter:             Dipl. Geol. R. D. Stoll

Dieser geotechnische Bericht umfasst 40 Seiten und 8 Anlagen und darf auszugsweise nicht veröffentlicht werden.

München, 13.3.2014

  
.....  
Dipl.-Geol. T. Bauer

  
.....  
Dipl.-Geol. R. D. Stoll

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1 Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1 Unterlagen	3
1.2 Vorgang / Aufgabenstellung	4
1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen Geotechnik	5
<b>2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse</b>	<b>7</b>
2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse	7
2.2 Geologische Situation	7
2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte	8
2.3.1 Bodenkennwerte und Zuordnungen	9
2.4 Erdbebenzonen	17
2.5 Hydrologische Verhältnisse	18
2.6 Kampfmittel	18
<b>3 Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse</b>	<b>19</b>
3.1 Baugrundmodell	19
3.2 Bodenrechenwerte	20
3.3 Rammfähigkeit	21
<b>4 Bautechnische Empfehlungen zur Böschungssanierung</b>	<b>22</b>
4.1 Bewertung der Böschungsstandsicherheit (Bestand)	22
4.1.1 Vorgaben und Berechnungsannahmen	22
4.1.2 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen	23
4.2 Variantenuntersuchung zum Sanierungskonzept	24
4.3 Bewertung der Sanierungsvarianten	26
4.3.1 Variante 1: Abflachung der Einschnittsböschung	28
4.3.2 Variante 2: Böschungssicherung durch HZV-Stützkörper am Böschungsfuß	29
4.3.3 Variante 3: HZV-Stützkörper am Böschungsfuß und Böschungsabflachung	32
4.3.4 Variante 4: Bohrpfahlwand am Böschungsfuß und Böschungsabflachung	32
4.4 Böschungsentwässerung	34
4.4.1 Bestandssituation	34
4.5 Empfehlung zur Sanierung der Böschungsentwässerung	34
4.5.1 Ableitung der Hang- und Schichtwässer durch Horizontalbrunnen	34

4.5.2	Oberflächenentwässerung	36
4.5.3	Begrünung	36
<b>5</b>	<b>Chemische und abfalltechnische Untersuchungen</b>	<b>36</b>
5.1	Beurteilung der Beton- und Stahlaggressivität	36
5.2	Abfalltechnische Untersuchungen	37
5.2.1	Allgemeines	37
5.2.2	Untersuchungsergebnisse	37
5.2.3	Verwertung / Entsorgung	38
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung / Schlussbemerkungen</b>	<b>39</b>

## **Anlagenverzeichnis**

Anlage 1	Abkürzungsverzeichnis	1 Blatt
Anlage 2	Lage- und Aufschlusspläne	2 Blatt
Anlage 3	Baugrundprofile	11 Blatt
Anlage 4	Bodenmechanische Laborversuche	208 Blatt
Anlage 5	Stand sicherheitsberechnungen	55 Blatt
Anlage 6	Chemische und abfalltechnische Untersuchungen	
Anlage 6.1	Betonaggressivität und Stahlkorrosivität (Wasser)	6 Blatt
Anlage 6.2	Ergebnisse der abfalltechnischen Untersuchungen	12 Blatt
Anlage 7	Ergebnisse der Wasserstandsmessungen	8 Blatt
Anlage 8	Fotodokumentation	55 Blatt

## **1 Einleitung**

### **1.1 Unterlagen**

Neben den gegenwärtig gültigen Normen, Richtlinien und Vorschriften für Erd- und Grundbau standen für die Erstellung dieses Geotechnischen Berichtes folgende Unterlagen zur Verfügung:

/U 1/ Leistungsvereinbarung KU000123-00(HÄ3RO147), DB Netz AG, vom 12.07.2013.

/U 2/ Angebot der DB International GmbH, Baugrund; Büro München vom 13.05.2013.

/U 3/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Eder Brunnenbau GmbH, 09-12/2013.

/U 4/ Ergebnisse der Aufschlussarbeiten der Fa. Boley Geotechnik, 10/2013

/U 5/ Geologische Karte von Bayern, Maßstab 1 : 500.000, herausgegeben vom Bayrischen Landesamt für Umwelt, München.

/U 6/ Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25000, Blatt 8225 Kißlegg. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau. Freiburg i.Br. 2008.

- /U 7/ Laborergebnisse der DB International GmbH, Baugrund, November 2013.
- /U 8/ Laborergebnisse der FeBoLab GmbH, Westheim, November 2013.
- /U 9/ Schichtenverzeichnisse der Firma Eder Brunnenbau GmbH, Hebertsfelden Nov. 2013.
- /U 10/ Schichtenverzeichnisse der Firma Boley Geotechnik, München, November 2013.
- /U 11/ Ril 836 Erdbauwerke planen, bauen und instand halten, Fassung vom 01.02.2013.
- /U 12/ Programm „GGU-Stability“, Berechnung Böschungsbruch nach DIN 4084, Version 10.40, 01.02.2013, Copyright + Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Johann Buß.
- /U 13/ Bayer, Hans-Joachim: Brunnenbau im HDD-Verfahren. bbr – Fachmagazin für Leitungsbau, Brunnenbau und Geothermie 5/2006, S.42-49.
- /U 14/ EA-Pfähle Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 2. Auflage, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Verlag Ernst & Sohn, 2012
- /U 15/ DB International GmbH: Grundlagenermittlung Einschnitt Kißlegg Ostseite, , Strecke 4560 Kißlegg – Hergatz, km 6,500, T.016029099, Erläuterungsbericht. München 03,2014.

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

## **1.2 Vorgang / Aufgabenstellung**

Die DB Netz AG plant auf der Strecke 4560 Kißlegg-Hergatz im Bereich bahnlinks zwischen km 5,900 und km 6,600 eine Sanierung der instabilen Einschnittsböschung.

Die Maßnahme wird als „Böschungsbefestigung links der Bahn“ in den Systemen der DBAG geführt. Die Maßnahme wurde eingerichtet, weil es aus der lange andauernden Beobachtung des Bauwerks Hinweise darauf gibt, dass sich die Einschnittsböschung in Bezug auf die Standsicherheit nahe dem Grenzgleichgewicht befindet.

Die DB International GmbH, Baugrund, wurde auf der Grundlage unseres Angebotes vom 13.05.2013 /U 2/ von der DB Netz AG Augsburg am 12.07.2013 /U 1/ mit der Erkundung und geotechnischen Bewertung des Baugrundes, sowie der Ausarbeitung einer Sanierungsempfehlung für die Einschnittsböschung zwischen km 5,900-6,600 (bahnlinks) beauftragt.

Die Einschnittsböschung r.d.B. wurde bereits vor einigen Jahren saniert und ist als dauerhaft standsicheres und gebrauchstaugliches Bauwerk einzustufen. Grund für die Sanierung der Böschung r.d.B. waren Rutschungen, die wiederkehrend den Betrieb auf der Strecke beeinträchtigten und eine nicht ausreichende Standsicherheit aufzeigten. Bei der Sanierung auf der Westseite wurden auf der Grundlage einer geotechnischen Erkundung unter anderem Entwässerungseinrichtungen am Böschungsfuß, Stützscheiben in der Böschung und eine durchgehende Bohrpfahlwand am Böschungsfuß hergestellt.

Mit dem vorliegenden geotechnischen Bericht werden Vorschläge für eine dauerhafte Sanierung der Einschnittsböschung zwischen km 5,900-6,600 (bahnlinks) erarbeitet.

### 1.3 Aufschlussarbeiten und Laboruntersuchungen Geotechnik

Die Aufschlussarbeiten wurden vom 23.09.2013 bis 17.12.2013 durch die Firmen Eder Brunnenbau GmbH, Hebertsfelden (Kernbohrungen) und Boley Geotechnik, München (Sondierungen) ausgeführt.

Um den Baugrund im Einschnittsbereich l.d.B. zu erkunden wurden in insgesamt 11 Profilen 9 Kernbohrungen (B) mit Zielteufen von jeweils 35 m sowie 29 Rammkernsondierungen (RKS) und 38 schwere Rammsondierungen (DPH) mit Zielteufen von jeweils 10 m durchgeführt. Alle 9 Kernbohrungen wurden zu Grundwassermessstellen (4,5“) ausgebaut. Die Aufschlüsse stellen sich im Einzelnen wie folgt dar:

Tabelle 1: Lage der Aufschlüsse (bahnlinks)

Profil	km Strecke 4560	Aufschluss- Nr.	Rechtswert	Hochwert	Ansatz- höhe [mNN]	Aufschlusstiefe		
						B [m]	RKS [m]	DPH [m]
1	5,9+25	B 201/DPH 1-1	3565321,794	5289986,041	652,5	32,0	10,0	10,0
		RKS/DPH 1-2	3565303,341	5289988,053	644,5		10,0	10,0
		RKS/DPH 1-3	3565290,107	5289987,596	638,3		9,0	10,0
2	6,0+02	B 202/DPH 2-1	3565332,004	5289915,887	659,0	35,0		8,8
		RKS/DPH 2-2	3565315,497	5289911,566	649,7		10,0	10,0
		RKS/DPH 2-3	3565296,806	5289909,936	642,8		10,0	10,0
		RKS/DPH 2-4	3565285,135	5289909,763	636,4		6,2	7,5
3	6,0+72	B 203/DPH 3-1	3565333,145	5289839,258	661,4	35,0		9,4
		RKS/DPH 3-2	3565317,411	5289837,153	652,5		9,5	9,5
		RKS/DPH 3-3	3565302,817	5289836,638	645,2		6,0	10,0
		RKS/DPH 3-4	3565283,984	5289838,035	635,0		5,0	8,4
4	6,1+29	B 204/DPH 4-1	3565331,446	5289790,066	659,4	35,0		10,0
		RKS/DPH 4-2	3565315,819	5289784,616	652,1		10,0	10,0
		RKS/DPH 4-3	3565300,588	5289783,380	643,8		6,8	5,6
		RKS/DPH 4-4	3565284,421	5289783,952	634,9		3,5	5,9
5	6,2+14	B 205/DPH 5-1	3565325,220	5289692,913	656,9	35,0		8,4
		RKS/DPH 5-2	3565311,311	5289695,598	649,3		3,9	7,7
		RKS/DPH 5-3	3565299,104	5289696,124	642,2		4,0	4,6
		RKS/DPH 5-4	3565287,062	5289697,553	635,5		6,8	7,9
10	6,2+68	RKS/DPH 10/1	3565317,990	5289641,841	655,8		10,0	10,0
		RKS/DPH 10/2	3565302,994	5289645,045	646,1		10,0	11,7
		RKS/DPH 10/3	3565284,392	5289643,504	633,5		4,6	4,8
6	6,3+37	B 206/DPH 6-1	3565314,541	5289569,727	654,4	35,0		10,0
		RKS/DPH 6-2	3565298,218	5289572,500	644,6		6,6	7,8
		RKS/DPH 6-3	3565281,677	5289574,361	633,5		5,6	9,9
7	6,3+72	B 207/DPH 7-1	3565313,616	5289533,028	657,0	35,0		6,4

Profil	km Strecke 4560	Aufschluss- Nr.	Rechtswert	Hochwert	Ansatz- höhe [mNN]	Aufschlusstiefe		
						B [m]	RKS [m]	DPH [m]
		RKS/DPH 7-2	3565293,290	5289534,623	643,8		6,5	8,1
		RKS/DPH 7-3	3565278,502	5289538,308	633,9		10,0	10,0
8	6,4+23	B 208/DPH 8-1	3565301,854	5289478,199	655,6	35,0		9,5
		RKS/DPH 8-2	3565289,894	5289481,804	647,7		6,0	10,0
		RKS/DPH 8-3	3565280,105	5289484,634	640,4		7,4	6,0
		RKS/DPH 8-4	3565267,485	5289488,312	632,3		6,1	10,0
11	6,4+96	RKS/DPH 11/1	3565272,301	5289409,660	648,4		4,7	10,0
		RKS/DPH 11/2	3565260,170	5289412,852	640,3		7,3	10,0
		RKS/DPH 11/3	3565248,132	5289417,583	631,8		8,2	9,2
9	6,5+91	B 209/DPH 9-1	3565239,058	5289316,408	649,9	35,0		9,0
		RKS/DPH 9-2	3565224,918	5289320,944	640,4		4,8	4,6
		RKS/DPH 9-3	3565213,011	5289329,768	630,7		6,3	7,1

B ... Rammkernbohrung; RKS ... Rammkernsondierung; DPH ... schwere Rammsondierung;

Alle Ansatzpunkte der Aufschlüsse wurden lage- und höhenmäßig eingemessen. Die Entnahme von gestörten Bodenproben erfolgte je lfd. Meter bzw. bei Schichtwechsel. Insgesamt wurden aus den abgeteufte Aufschlüssen 270 gestörte sowie 36 ungestörte Bodenproben entnommen. Die einzelnen, auf Bohrmeisterangaben beruhenden, handschriftlichen Schichtenverzeichnisse können bei Bedarf im Archiv der DB International GmbH, Baugrund eingesehen werden.

Die Lage der Aufschlüsse ist in der Anlage 2, Blatt 1-2, dargestellt. Die Baugrundprofile sind höhenmäßig bezogen auf mNN in der Anlage 3, Blatt 1-11, aufgetragen.

Alle entnommenen gestörten Bodenproben wurden nach DIN EN ISO 14688 spezifiziert. Zur genaueren Klassifizierung der Bodenarten in Bodengruppen nach DIN 18196 und Bodenklassen nach DIN 18300 sind ausgewählte Bodenproben bodenphysikalischen Untersuchungen unterzogen worden.

Im Einzelnen wurden ausgeführt:

- 35 x kombinierte Sieb-/Schlammanalyse nach DIN 18123
- 91 x Nasssiebung nach DIN 18 123
- 60 x Bestimmung der Atterberg'schen Zustandsgrenzen nach DIN 18 122.
- 60 x Wassergehalt nach DIN 18121
- 36 x direkter Scherversuch, 3 Einzelversuche, bindiger Boden
- 24 x Bestimmung der undrainierten Scherfestigkeit (Laborflügelsonde)
- 14 x Bestimmung des Kalkgehaltes (nach Scheibler)

Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Laborversuche sind in Anlage 4 zusammengestellt.

## **2 Darstellung und Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse**

### **2.1 Beschreibung der örtlichen Verhältnisse**

Der Untersuchungsbereich befindet sich ca. 700m südlich des Weilers Wallmusried auf der Strecke 4560 Kißlegg-Hergatz im Bereich bahnlinks zwischen km 5,900 und km 6,600. Die Bahntrasse befindet sich im o.g. Abschnitt in Einschnittslage mit einer max. Einschnittstiefe von ca. 26 m.

Die Nord-Süd verlaufende, eingleisige und nicht elektrifizierte Bahnlinie durchschneidet im Untersuchungsgebiet ein kuppig-hügeliges Gelände ehemaliger Gletscherablagerungen. Die höchsten Erhebungen erreichen eine Höhe von ca. 660 - 670 mNN, in den eingetieften, meist abflusslosen Senken befindet sich die Geländehöhe auf ca. 640 - 650mNN.



Abb. 1: Strecke 4560 Kißlegg-Hergatz, Einschnittsböschung km 6,600

### **2.2 Geologische Situation**

Entsprechend den Angaben der geologischen Karte [U 5], [U 6] befindet sich das Untersuchungsgebiet im Bereich eines würmeiszeitlichen Rückzugs-Moränengürtels mit stark ausgeprägtem Höhenrelief. Nach dem Abschmelzen des Eises in den Eiszerfallsgebieten entstanden unregelmäßige, kuppig-hügelige Formen aus geschichteten, fluvioglazialen Ablagerungen.

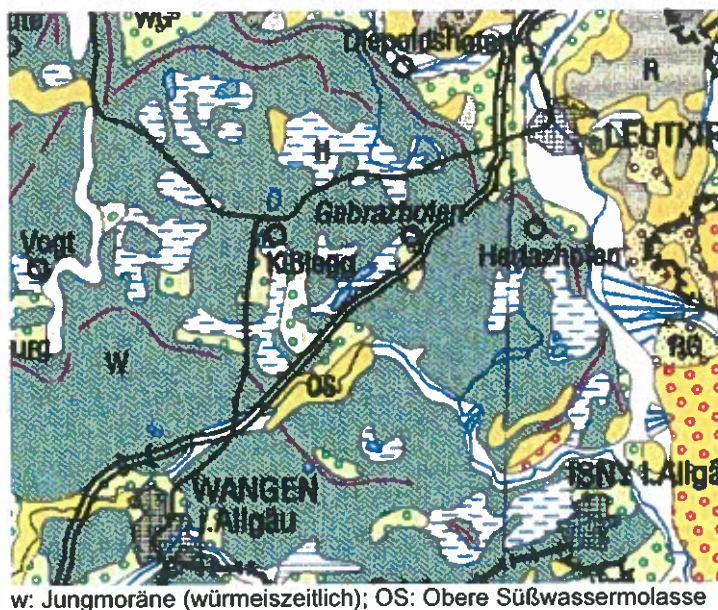
Die quartären Ablagerungen bestehen aus geschichteten, teilweise gut sortierten Schmelzwasserkiesen und -sand, die in Gletschertunneln bzw. unter dem Eis abgesetzt wurden.

Mit fortschreitendem Eistrückzug wurden die Schmelzwasserablagerungen von einer weitgehend kiesig-schluffigen Abschmelzmoräne überlagert. Diese, überwiegend schlecht sortierten Kiese

enthalten neben einem hohen Feinkornanteil meist auch hohe Beimengungen an schlecht gerundeter Steinfraction.

Die tiefere Untergrund wird im Untersuchungsgebiet durch die tertiären Ton-/Mergelsteine und Konglomerate der Oberen Süßwassermolasse (Miozän) aufgebaut. Im Zuge der Erkundungsarbeiten im untersuchten Streckenabschnitt wurde der tertiäre Untergrund nicht aufgeschlossen.

Abb. 2: Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Bayern /U 5/



Die oben beschriebenen geologischen Verhältnisse wurden durch die durchgeführten Aufschlussarbeiten bestätigt.

### 2.3 Baugrundverhältnisse - Schichtenaufbau und Kennwerte

Anhand der durchgeführten Untersuchungen lässt sich kein einheitliches Schichtenprofil darstellen.

Im oberen Drittel der Einschnittsböschung wurden überwiegend grob- und gemischtkörnige Moränenablagerungen in Form von schwach schluffigen und schluffigen Kiesen und Sanden mit wechselnden Stein- u. Blockanteilen (Bodengruppen GU, GT, SU ST, SU\*, ST\*, GU\*, GT\*) angetroffen.

Darunter folgen fein- und gemischtkörnige Schmelzwassersedimente in Form von Schluffen und Tonen (Bodengruppe UL, TL) mit wechselnden Einschaltungen von schwach schluffigen und schluffigen Sanden und Kiesen (Bodengruppen GU, GT, SU ST, SU\*, ST\*, GU\*, GT\*).

### 2.3.1 Bodenkennwerte und Zuordnungen

Den erkundeten Böden lassen sich die in den folgenden Tabellen aufgeführten Kennwerte (Laboruntersuchungen an ausgewählten, repräsentativen Einzelproben sowie Kennwerte aufgrund regionaler Erfahrungswerte) zuordnen:

Zur Ermittlung der Scherparameter der anstehenden feinkörnigen Böden wurden des Weiteren an insgesamt 36 ungestört entnommenen Bodenproben Scherversuche im Rahmenschergerät durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind ebenfalls den nachfolgenden Tabellen zu entnehmen.

Tabelle 2: Bodenkennwerte und Zuordnungen (SU)

Bodengruppe (DIN 18196)			SU				
Konsistenz (Handspezifikation)			--				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			locker, mitteldicht, dicht				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			3 (5)				
Bodenklasse (DIN 18301)			BN1, BS1				
Klassifizierung nach DIN 18319			LNW 1-3				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			1				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F2				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	3	4,87E-05	3,45E-05	7,56E-05	2,33E-05
	kf (Bialas)	[m/s]	6	2,86E-05	9,36E-06	5,21E-05	1,67E-05
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	3	9,2	3,3	20,1	9,5
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	7	11,3	7,0	15,0	3,3
	d > 2 mm	[%]	7	74,1	55,0	87,0	13,3
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	7	14,6	3,0	38,0	14,0
Krümmungszahl	Cc	[-]	3	1,1	0,4	1,4	0,6
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	3	0,1	0,1	0,1	0,0
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	7	0,1	0,1	0,2	0,0
Feuchtdichte	$\rho$	[t/m³]	1	1,778	1,778	1,778	--
Feuchtwichte	$\gamma$	[kN/m³]	1	17,4	17,4	17,4	--
Trockendichte	$\rho_d$	[t/m³]	1	1,6	1,6	1,6	--
nat. Wassergehalt	wN	[%]	1	8,1	8,1	8,1	--

Tabelle 3: Bodenkennwerte und Zuordnungen (SU\*)

Bodengruppe (DIN 18196)			SU*				
Konsistenz (Handspezifikation)			--				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			locker, mitteldicht, dicht				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			schwach durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			4 (5)				
Bodenklasse (DIN 18301)			BN2, BS1				
Klassifizierung nach DIN 18319			LBM1-2				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			3				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F3				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	0	--	--	--	--
	kf (Bialas)	[m/s]	7	9,08E-06	6,47E-06	1,43E-05	3,35E-06
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	0	--	--	--	--
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	23	25,4	15,0	38,0	7,1
	d > 2 mm	[%]	23	69,7	43,0	84,0	9,4
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	23	4,9	0,0	34,0	8,2
Krümmungszahl	Cc	[-]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	7	0,1	0,1	0,1	0,0
Feuchtdichte	$\rho$	[t/m³]	3	2,085	2,047	2,135	0,045
Feuchtwichte	$\gamma$	[kN/m³]	3	20,5	20,1	20,9	0,4
Trockendichte	$\rho_d$	[t/m³]	3	1,8	1,7	1,8	0,1
nat. Wassergehalt	wN	[%]	3	18,3	16,8	20,7	2,1

Tabelle 4: Bodenkennwerte und Zuordnungen (GI)

Bodengruppe (DIN 18196)			GI				
Konsistenz (Handspezifikation)			--				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			locker, mitteldicht, dicht				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			stark durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			3 (5)				
Bodenklasse (DIN 18301)			BN1, BS1				
Klassifizierung nach DIN 18319			LNW 1-3				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			1				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F1				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	3	6,02E-03	1,05E-04	1,76E-02	1,01E-02
	kf (Bialas)	[m/s]	3	3,37E+00	2,78E-04	1,01E+01	5,83E+00
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	3	73,8	26,0	131,6	53,5
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	3	4,3	4,0	5,0	0,6
	d > 2 mm	[%]	3	20,3	6,0	28,0	12,4
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	3	75,3	68,0	90,0	12,7
Krümmungszahl	Cc	[-]	3	5,7	0,7	15,5	8,5
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	3	0,7	0,1	1,7	0,9
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	3	10,8	0,3	31,6	18,0

Tabelle 5: Bodenkennwerte und Zuordnungen (GU)

Bodengruppe (DIN 18196)			GU				
Konsistenz (Handspezifikation)			--				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			locker, mitteldicht, dicht				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			3 (5)				
Bodenklasse (DIN 18301)			BN1, BS1				
Klassifizierung nach DIN 18319			LNW 1-3				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			1				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F2				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	15	9,76E-05	2,56E-05	3,09E-04	9,73E-05
	kf (Bialas)	[m/s]	21	9,99E-04	4,98E-05	6,09E-03	1,62E-03
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	15	192,4	26,1	496,9	142,6
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	21	9,0	5,0	15,0	2,9
	d > 2 mm	[%]	21	26,0	16,0	42,0	8,3
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	21	65,0	50,0	77,0	8,4
Krümmungszahl	Cc	[-]	15	2,5	0,1	8,4	2,5
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	15	0,1	0,1	0,2	0,1
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	21	0,4	0,2	1,3	0,3

Tabelle 6: Bodenkennwerte und Zuordnungen (GU\*)

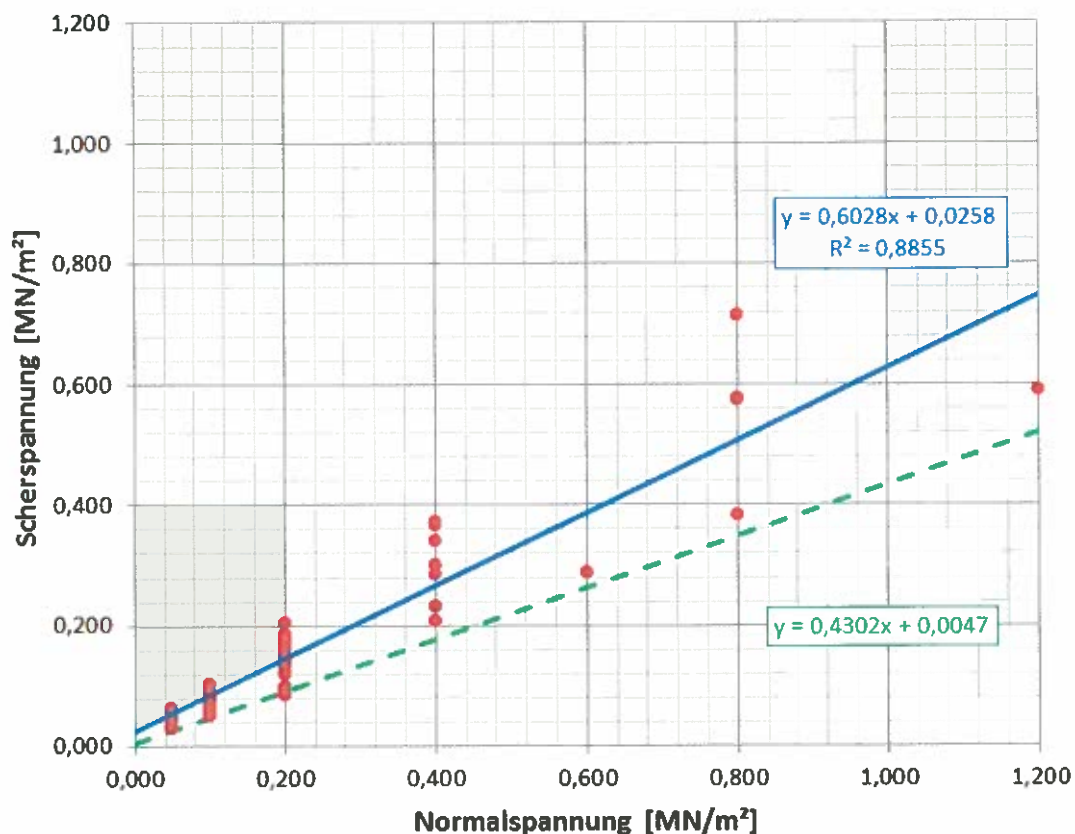
Bodengruppe (DIN 18196)			GU*				
Konsistenz (Handspezifikation)			--				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			mitteldicht, dicht				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			schwach durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			4 (5)				
Bodenklasse (DIN 18301)			BN2, BS1				
Klassifizierung nach DIN 18319			LBM1-2				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			3				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F3				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	0	--	--	--	--
	kf (Bialas)	[m/s]	4	2,04E-05	7,99E-06	3,55E-05	1,13E-05
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	0	--	--	--	--
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	10	21,9	16,0	28,0	4,6
	d > 2 mm	[%]	10	28,8	15,0	42,0	7,6
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	10	49,3	42,0	67,0	7,4
Krümmungszahl	Cc	[-]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	4	0,1	0,1	0,1	0,0

Tabelle 7: Bodenkennwerte und Zuordnungen (TL, weich, breiig)

Bodengruppe (DIN 18196)			TL, TM, UL				
Konsistenz (Handspezifikation)			weich (u. breiig)				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			--				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			sehr schwach durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			4				
Bodenklasse (DIN 18301)			BB1, BB2				
Klassifizierung nach DIN 18319			LBM1				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			4				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F3				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	0	--	--	--	--
	kf (Bialas)	[m/s]	0	--	--	--	--
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	0	--	--	--	--
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	23	89,3	55,0	100,0	13,0
	d > 2 mm	[%]	23	10,5	0,0	43,0	12,8
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	23	0,2	0,0	2,0	0,5
Krümmungszahl	Cc	[-]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Feuchtdichte	$\rho$	[t/m³]	22	2,101	2,016	2,202	0,046

Feuchtwichte	$\gamma$	[kN/m³]	22	20,6	19,8	21,6	0,5
Trockendichte	$\rho_d$	[t/m³]	22	1,8	1,7	1,9	0,1
nat. Wassergehalt	wN	[%]	50	18,9	9,5	26,3	3,3
Wassergehalt (Feinteile)	w	[%]	50	20,3	15,4	41,8	4,6
Fließgrenze	wL	[%]	50	26,2	19,0	44,3	4,9
Ausrollgrenze	wP	[%]	50	14,2	10,5	20,5	1,8
Plastizitätszahl	IP	[%]	50	12,1	3,0	25,2	4,9
Konsistenzzahl	IC	[-]	50	0,52	0,02	0,75	0,16
Scherwiderstand (Flügel-sonde)	$\tau_{FS}$	[MN/m²]	18	0,073	0,025	0,130	0,031
Kalkgehalt (n. Scheibler)	V <sub>cs</sub>	[%]	12	35,93	28,00	42,60	4,38

Abb. 3: Ergebnisse der direkten Scherversuche an feinkörnigen Böden (TL, weich)



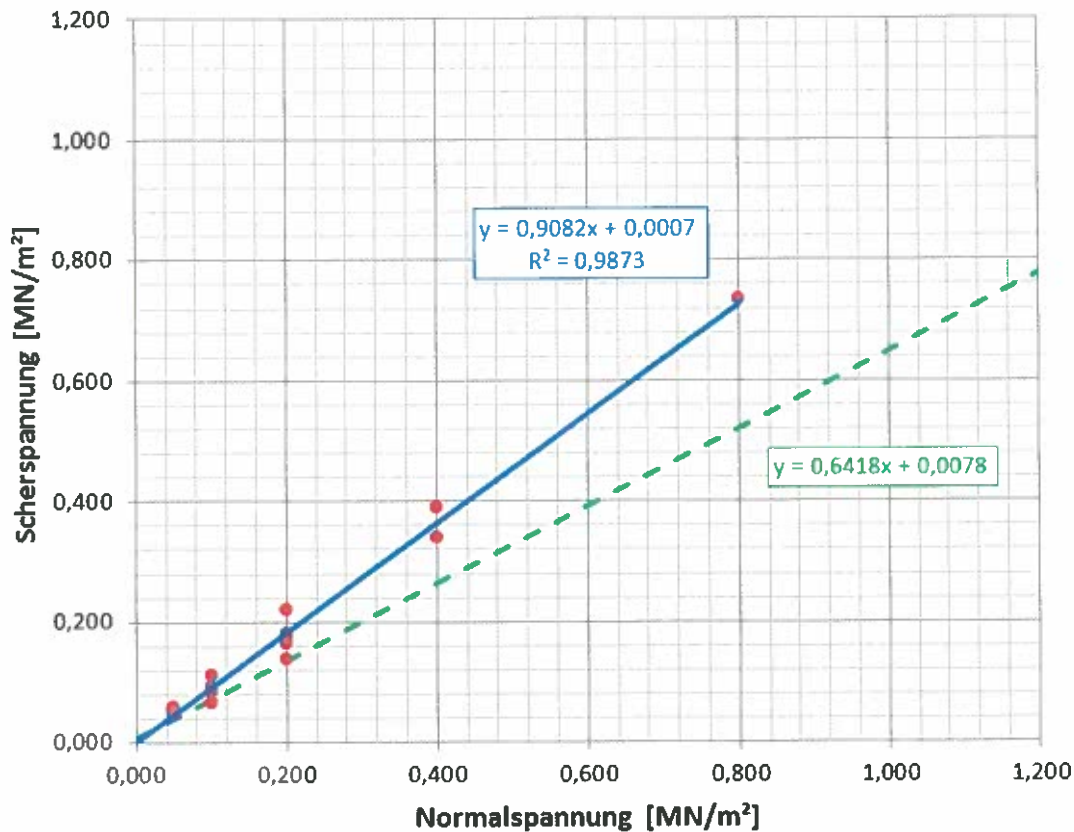
TL, weich	$\varphi'$	$c'$
	[°]	[MN/m²]
Anzahl	19	
Mittelwert	32,1	0,018
Standardabw +/-	6,5	0,010
Charakteristischer Wert (unterer Wert der 5%-Fraktile*)	23,5	0,005

\*) Im Falle der Möglichkeit von örtlichem Versagen entspricht eine vorsichtige Wahl des charakteristischen Werts gemäß EC 7 dem einer 5%-Fraktile zugeordneten unteren Wert

Tabelle 8: Bodenkennwerte und Zuordnungen (TL, TM, UL, steif)

Bodengruppe (DIN 18196)			TL, TM, UL				
Konsistenz (Handspezifikation)			steif				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			--				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			sehr schwach durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			4				
Bodenklasse (DIN 18301)			BB2				
Klassifizierung nach DIN 18319			LBM2				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			4				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F3				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	0	--	--	--	--
	kf (Bialas)	[m/s]	0	--	--	--	--
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	0	--	--	--	--
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	20	87,3	55,0	100,0	15,1
	d > 2 mm	[%]	20	12,5	0,0	44,0	14,9
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	20	0,3	0,0	2,0	0,6
Krümmungszahl	Cc	[-]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Feuchtdichte	$\rho$	[t/m³]	20	2,128	2,042	2,210	0,042
Feuchtwichte	$\gamma$	[kN/m³]	20	20,9	20,0	21,7	0,4
Trockendichte	$\rho_d$	[t/m³]	20	1,8	1,7	1,9	0,1
nat. Wassergehalt	w <sub>N</sub>	[%]	30	17,7	9,5	21,1	2,5
Wassergehalt (Feinteile)	w	[%]	30	17,9	15,4	21,1	2,0
Fließgrenze	w <sub>L</sub>	[%]	30	26,3	20,2	37,3	5,1
Ausrollgrenze	w <sub>P</sub>	[%]	30	14,2	11,3	19,8	2,0
Plastizitätszahl	IP	[%]	30	12,1	3,8	25,2	5,8
Konsistenzzahl	IC	[-]	30	0,70	0,54	1,00	0,11
Scherwiderstand (Flügel- sonde)	$\tau_{FS}$	[MN/m²]	15	0,076	0,025	0,130	0,034
Kalkgehalt (n. Scheibler)	V <sub>ca</sub>	[%]	5	32,56	28,00	35,70	4,03

Abb. 4: Ergebnisse der direkten Scherversuche an feinkörnigen Böden (TL, steif)



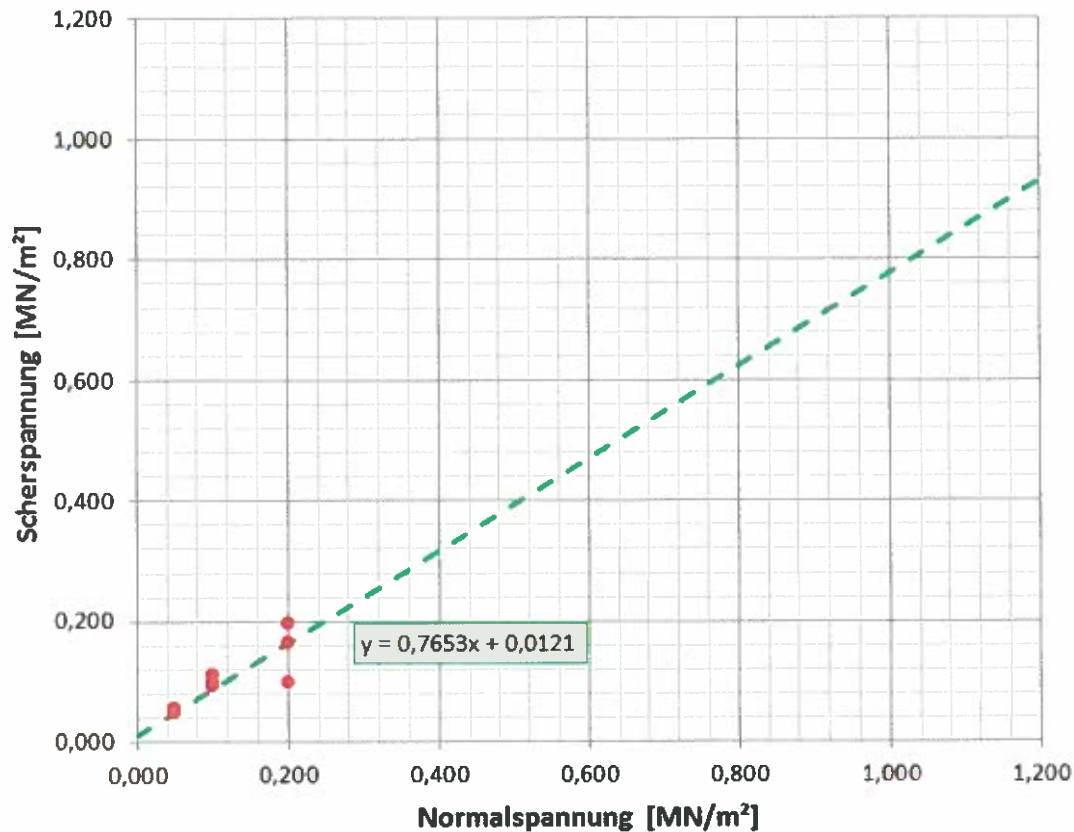
TL, steif	$\varphi'$	$c'$
	[°]	[MN/m²]
Anzahl	6	
Mittelwert	37,7	0,014
Standardabw +/-	3,7	0,005
<b>Charakteristischer Wert (unterer Wert der 5%-Fraktile*)</b>	<b>32,5</b>	<b>0,008</b>

\*) Im Falle der Möglichkeit von örtlichem Versagen entspricht eine vorsichtige Wahl des charakteristischen Werts gemäß EC 7 dem einer 5%-Fraktile zugeordneten unteren Wert

Tabelle 9: Bodenkennwerte und Zuordnungen (TL, halbfest)

Bodengruppe (DIN 18196)			TL, UL				
Konsistenz (Handspezifikation)			halbfest				
Lagerungsdichte (Bohrmeisterangaben)			--				
Durchlässigkeit n. DIN 18130 (Erfahrungswerte)			sehr schwach durchlässig				
Bodenklasse (DIN 18300)			4				
Bodenklasse (DIN 18301)			BB3				
Klassifizierung nach DIN 18319			LBM2				
Bodengruppe nach Arbeitsblatt A161			4				
Frostempfindlichkeit nach ZTVE - StB 94			F3				
Ergebnisse von Laborversuchen			Anzahl Versuche	Mittel- wert	Min	Max	Standard- abw. $\sigma$
Durchlässigkeitsbeiwert	kf (Beyer)	[m/s]	0	--	--	--	--
	kf (Bialas)	[m/s]	0	--	--	--	--
Ungleichförmigkeitszahl	U	[-]	0	--	--	--	--
Kornanteil	d < 0,063 mm	[%]	3	94,7	92,0	100,0	4,6
	d > 2 mm	[%]	3	4,7	0,0	7,0	4,0
	d > 0,063 mm d < 2 mm	[%]	3	0,7	0,0	1,0	0,6
Krümmungszahl	Cc	[-]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 10%	d <sub>10</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Korndurchmesser bei 20%	d <sub>20</sub>	[mm]	0	--	--	--	--
Feuchtdichte	$\rho$	[t/m³]	3	2,104	2,082	2,136	0,029
Feuchtwichte	$\gamma$	[kN/m³]	3	20,6	20,4	21,0	0,3
Trockendichte	$\rho_d$	[t/m³]	3	1,8	1,7	1,8	0,0
nat. Wassergehalt	w <sub>N</sub>	[%]	4	17,3	10,0	21,2	5,0
Wassergehalt (Feinteile)	w	[%]	4	17,0	10,7	22,0	5,8
Fließgrenze	w <sub>L</sub>	[%]	4	24,9	21,4	29,3	3,3
Ausrollgrenze	w <sub>P</sub>	[%]	4	17,7	13,5	19,8	2,9
Plastizitätszahl	IP	[%]	4	7,2	3,4	15,8	5,8
Konsistenzzahl	IC	[-]	4	1,14	1,00	1,22	0,10
Scherwiderstand (Flügel- sonde)	FS	[MN/m²]	2	0,03	0,03	0,04	0,01
Kalkgehalt (n. Scheibler)	V <sub>ca</sub>	[%]	0	--	--	--	--

Abb. 5: Ergebnisse der direkten Scherversuche an feinkörnigen Böden (TL, halbfest)



TL, steif	$\varphi'$	$c'$
	[°]	[MN/m²]
Anzahl	3	
Mittelwert	39,5	0,02
Standardabw +/-	1,8	0,01
<b>Charakteristischer Wert (unterer Wert der 5%-Fraktile*)</b>	<b>37,5</b>	<b>0,012</b>

\*) Im Falle der Möglichkeit von örtlichem Versagen entspricht eine vorsichtige Wahl des charakteristischen Werts gemäß EC 7 dem einer 5%-Fraktile zugeordneten unteren Wert

## 2.4 Erdbebenzonen

Der Untersuchungsbereich gehört zur Erdbebenzone 0 sowie zur Untergrundklasse S (Gebiete tiefer Beckenstrukturen mit mächtiger Sedimentfüllung). Die Erdbebenzone 0 umfasst Gebiete, denen gemäß des zugrunde gelegten Gefährdungsniveaus ein Intensitätsintervall von 6,0 bis < 6,5 zugeordnet ist.

## 2.5 Hydrologische Verhältnisse

Im Untersuchungsbereich ist eine Ost-West verlaufende regionale Wasserscheide ausgebildet, die das Entwässerungssystem in eine nordwestliche Richtung auf die Wolfegger Ach, und eine südwestliche Richtung, auf die Untere Argen hin, unterteilt.

Im Zuge der Erkundungsarbeiten wurden im Dezember 2013 im Bereich der Einschnittsschulter (bahnlinks) 9 Grundwassermessstellen (GWM, 4,5“) erstellt und in verschiedenen Niveaus (in Bereichen mit angetroffenem Schichtwasser) verfiltert.

Die Wasserstände in den Messstellen werden seit Januar 2014 durch kontinuierliche Messungen (Datenlogger) dokumentiert.

Die Ergebnisse der bisher vorliegenden Messungen des Hangwasserspiegels sind in zusammengefasster Form in der nachfolgenden Tabelle und im Einzelnen in Form von Ganglinien aus Anlage 7 ersichtlich.

Tabelle 10: Ergebnisse von Wasserstandsmessungen (Hangwasserspiegel)

Profil	km Strecke 4560	Aufschluss- Nr.	Ansatz- höhe Bohrung	Tiefe [m]	Pegelausbau		Hang- wasserspiegel (14.01.2014)	Hang- wasserspiegel (10.03.2014)
			[mNN]	[m]	Filterstrecke von/bis	[m]		
1	5,9+25	B 201	652,5	32,0	14,0	21,0	640,6	640,5
2	6,0+02	B 202	659,0	35,0	22,5	32,5	640,1	640,1
3	6,0+72	B 203	661,4	35,0	11,3	16,3	650,0	649,9
4	6,1+29	B 204	659,4	35,0	12,0	18,0	645,2	645,2
5	6,2+14	B 205	656,9	35,0	11,0	16,0	643,9	643,7
6	6,3+37	B 206	654,4	35,0	18,0	28,0	632,0	631,9
7	6,3+72	B 207	657,0	35,0	10,0	20,0	trocken	trocken
8	6,4+23	B 208	655,6	35,0	21,0	31,0	629,7	629,7
9	6,5+91	B 209	649,9	35,0	20,0	30,0	627,5	627,5

Innerhalb des bisherigen Beobachtungszeitraums (11.1.14 bis 10.03.14) ergeben sich nur geringe Schwankungen der gemessenen Wasserstände. Wir empfehlen, die Beobachtungen des Hangwasserspiegels weiterzuführen um bei den in den Sommermonaten zu erwartende Spitzen in Zusammenhang mit Starkniederschlägen mit erfassen zu können.

Des Weiteren empfehlen wir zur Abschätzung des Wasseranfalls in den eingerichteten Grundwassermeßstellen die Durchführung von Pumpversuchen.

## 2.6 Kampfmittel

Entsprechend den durchgeführten Erhebungen zur Kampfmittelbelastung besteht im Bereich der Bohransatzpunkte kein Verdacht auf vorhandene Kampfmittelbelastung. Eine Überprüfung der Bohransatzpunkte auf das Vorhandensein von Kampfmitteln war deshalb nicht erforderlich.

### 3 **Bewertung der geotechnischen Untersuchungsergebnisse**

#### 3.1 **Baugrundmodell**

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

<b>Schicht 1:</b>	<b>Mutterboden</b>	
	- organische Schluffe u. Sand/Kies-gemische mit org. Beimengungen	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>OU, OH</b>
<b>Schicht 2:</b>	<b>Sand / Kies, schwach schluffig, tonig</b>	
	- schwach schluffig/toniger Kies	
Schicht 2.1	- locker gelagert	
Schicht 2.2	- mitteldicht gelagert	
Schicht 2.3	- dicht gelagert	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>SU, GU</b>
<b>Schicht 3:</b>	<b>Sand / Kies, schluffig, tonig</b>	
	- schluffig/toniger Kies	
Schicht 3.1	- locker gelagert	
Schicht 3.2	- mitteldicht gelagert	
Schicht 3.3	- dicht gelagert	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>SU*, GU*</b>
<b>Schicht 4:</b>	<b>Ton / Schluff</b>	
	- schwach sandiger bis stark sandiger, schluffiger Ton	
Schicht 4.1	- weich	
Schicht 4.2	- steif	
Schicht 4.3	- halbfest	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>TL, TM</b>
<b>Schicht 5:</b>	<b>Ton / Schluff</b>	
	- schwach sandiger bis stark sandiger, schluffiger Ton	
Schicht 5.1	- weich	
Schicht 5.2	- steif	
Schicht 5.3	- halbfest	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>TA</b>
<b>Schicht 6:</b>	<b>Schluff</b>	
	- schwach sandiger bis stark sandiger Schluff	
Schicht 6.1	- weich,	
Schicht 6.2	- steif,	
Schicht 6.3	- halbfest	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>UL</b>

<b>Schicht 7:</b>	<b>Ton</b>	
	- stark sandiger, schluffiger Ton	
Schicht 7.1	- weich,	
Schicht 7.2	- steif,	
Schicht 7.3	- halbfest	
	- Klassifikation lt. DIN 18196	⇒ <b>ST*</b>

### 3.2 Bodenrechenwerte

Den erkundeten Baugrundsichten können aus den Laborversuchen und Erfahrungen für erdstatische Berechnungen folgende charakteristische Berechnungskennwerte zugeordnet werden.

Tabelle 11: Bodenrechenwerte (anstehende Moränenablagerungen, gemischtkörnig)

Schicht	<b>Moränenablagerungen, gemischtkörnig</b>					
Kurzzeichen nach DIN 18196	<b>GU, SU</b>			<b>SU*, GU*</b>		
Schicht-Nr.						
Konsistenz/ Lagerungsdichte	lo	md	di	lo	md	di
Wirksamer Reibungswinkel $\phi_k'$ [Grad]	30,0	32,5	35,0	27,5	30,0	32,5
Wirksame Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	0	0	0	1	1	1
Wichte des feuchten Bodens $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	16,0	17,0	18,0	17,0	18,0	19,0
Wichte Boden unter Auftrieb $\gamma_k'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	8,5	9,5	10,5	9,0	10,0	11,0
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	25,0	45,0	75,0	15,0	35,0	65,0

Tabelle 12: Bodenrechenwerte (anstehende Schmelzwassersedimente, feinkörnig)

Schicht	<b>Schmelzwassersedimente, feinkörnig</b>					
Kurzzeichen nach DIN 18196	<b>UL, TL, TM</b>			<b>ST*</b>		
Schicht-Nr.						
Konsistenz	we	st	hf	we	st	hf
Wirksamer Reibungswinkel $\phi_k'$ [Grad]	23,5	32,5	35	30	32,5	35
Wirksame Kohäsion $c_k'$ [kN/m <sup>2</sup> ]	5	8	12	5	8	12
Wichte des feuchten Bodens $\gamma_k$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,5	21,0	21,5	20,5	21,0	21,5
Wichte Boden unter Auftrieb $\gamma_k'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	10,5	11,0	11,5	10,5	11,0	11,5
Steifemodul $E_{s,k}$ [MN/m <sup>2</sup> ]	5,0	10,0	15,0	5,0	10,0	15,0

### 3.3 Rammfähigkeit

Die Baugrundsichten bestehen aus anstehenden bindigen und nicht bindigen Lockergesteinen. Eine Klassifizierung der Böden hinsichtlich ihrer Rammfähigkeit (z.B. nach DIN-Norm) gibt es nicht. Die nachfolgende Einschätzung basiert auf der Grundlage der erkundeten Bodenarten, Lagerungsdichten bzw. Konsistenzen und den Erfahrungen.

Tabelle 13: Zuordnung der Rammfähigkeit

Schicht	Rammbarkeit							Bemerkungen
	leicht	mittel	schwer	sehr schwer				
anstehende Böden ohne plastischen Eigenschaften								
1	x	x						
2.1 / 3.1	x	x						für Schichten mit größeren Feinsand- oder Kiesanteilen gilt die ungünstigere Grenzeinschätzung
2.2 / 3.2			x	x				für Schichten mit größeren Feinsand- oder Kiesanteilen gilt die ungünstigere Grenzeinschätzung
2.3 / 3.3					x	x	x	Spülhilfen, Auflockerungsbohrungen oder andere Einbringhilfen einplanen
anstehende Böden mit plastischen Eigenschaften								
4.1 / 5.1 / 6.1 / 7.1	x	x	x					für Schichten mit größeren Sand- u. Schluffanteilen gilt die ungünstigere Grenzeinschätzung
4.2 / 5.2 / 6.2 / 7.2			x	x	x			für Schichten mit größeren Sand- u. Schluffanteilen gilt die ungünstigere Grenzeinschätzung
4.3 / 5.3 / 6.3 / 7.3					x	x	x	Spülhilfen, Auflockerungsbohrungen oder andere Einbringhilfen einplanen

Wir empfehlen, zur Auswahl der Rammtechnologie und Rammgeräte eine Fachfirma einzuschalten und Proberammungen vorzusehen. Die von uns vorgenommenen Einschätzungen zur Rammbarkeit schließen nicht die Erfahrungen von Baufirmen bei der Durchführung von Rammarbeiten mit ähnlichen Baugrundverhältnissen aus.

## 4 **Bautechnische Empfehlungen zur Böschungssanierung**

### 4.1 **Bewertung der Böschungsstandsicherheit (Bestand)**

Die örtlichen Bodenaufschlüsse, unterlegt durch die bodenmechanischen Untersuchungen und Laboranalysen, weisen den hier anstehenden Baugrund als extrem wasserempfindlich und in Verbindung mit der Hanggeometrie als potentiell rutschgefährdet aus.

Die im Bestand vorhandenen Böschungsneigungen (Teil- und Gesamtböschungsneigungen über weite Teile  $> 30^\circ$ , vgl. Tabelle 14) sind für anstehenden Böden zu steil.

Tabelle 14: Vorhandenen Böschungsneigungen (Bestand, km 5,9+25 bis 6,5+91, bahnlinks)

Profil	km Strecke 4560	Neigung Gesamtböschung $\alpha_{\text{ges}}$	Neigung obere Teilböschung $\alpha_o$	Neigung untere Teilböschung $\alpha_u$
1	5,9+25	23,9	23,9	23,9
2	6,0+02	26,7	32,3	29,7
3	6,0+72	25,3	31,1	28,0
4	6,1+29	25,6	30,0	28,0
5	6,2+14	28,9	28,9	28,9
10	6,2+68	33,1	33,1	33,1
6	6,3+37	32,0	32,0	32,0
7	6,3+72	33,2	33,2	33,2
8	6,4+23	33,4	33,4	33,4
11	6,4+96	33,7	33,7	33,7
9	6,5+91	33,8	33,8	33,8

Die überwiegend anstehenden geringplastischen Schluff/Tone haben ein ausgeprägt geringes Wasserrückhaltevermögen, insbesondere in Verbindung mit den wirkenden dynamischen Kräften aus dem Eisenbahnbetrieb werden die Böschungsfußbereiche materialspezifisch ständig beansprucht, ggf. auch verändert. Die hohe Wasserempfindlichkeit der gering plastischen Böden und die damit im Zusammenhang stehenden stark veränderlichen Scherfestigkeiten initiieren Setzungsfleßen und reduzieren prägnant das Lastabtragungsvermögen.

Im Rahmen dieser geotechnischen Bewertung wurden für die bahnlinke Einschnittböschung Standsicherheitsuntersuchungen durchgeführt, die diese geotechnische Bewertung auch rechnerisch belegen.

#### 4.1.1 **Vorgaben und Berechnungsannahmen**

Die Geometrie der Einschnittsböschungen wurde vermessungstechnisch für 11 Querprofile (vgl. Tabelle 14) aufgenommen. Die abgeteufte Bohr- und Sondierpunkte (B, RKS, DPH) wurden nach Lage (Lagesystem DHDN\_GK\_4) und Höhe (Höhensystem DHHN\_12) eingemessen.

Folgende Kennwerte und Annahmen liegen dem Berechnungsmodell zugrunde:

1. Die Vermessungstechnisch aufgenommene Geometrie der Einschnittsböschungen.
2. Die Bodenschichten wie erkundet und als Baugrundmodell beschrieben.
3. Bodenkennwerte wie unter Punkt 3.2 dargestellt.
4. Der Hangwasserspiegel wie unter Punkt 2.5 dargestellt.

zu 2: Die Bodenschichten wurden wie erkundet und unter 2.3 beschrieben übernommen. Die Nachvollziehbarkeit ist in den jeweiligen Schichtzuordnung im Standsicherheitsquerprofil mit Bodenbezeichnung gegeben.

zu 3: Die die in die Berechnung eingehenden Bodenkennwerte wurden Kennwerte unter Berücksichtigung der Handspezifikation sowie der labortechnischen Untersuchungen festgelegt. Eine Kapillarkohäsion in rolligen Böden sowie eine Haltekraft des Bewuchses wurde nicht berücksichtigt.

#### 4.1.2 Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen

Zur Ermittlung der rechnerischen Böschungsstandsicherheiten unter Berücksichtigung der vorhandenen Aufschlüsse wurden in insgesamt 11 Profilschnitten zwischen km 5,9+25 und 6,5+91 Standsicherheitsberechnungen mit dem Programm „GGU-Stability /U 12/ nach Teilsicherheitskonzept EC 7 / DIN 1054:2010 für die ständige Bemessungssituation (BS-P) durchgeführt.

Die Ergebnisse der rechnerischen Standsicherheiten sind in Anlage 5 enthalten und zusammenfassend der nachfolgenden Zusammenstellung zu entnehmen:

Tabelle 15: Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen (Bestand, km 5,9+25 bis 6,5+91, bahnlinks)

Profil	km Strecke 4560	max. Ausnutzungsgrad nach EC 7 / DIN 1054:2010	Ergebnis	Anlage 5.1 Blatt
1	5,9+25	$\mu_{\max} = 1,05 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	1
2	6,0+02, obere Teilböschung	$\mu_{\max} = 0,81 < 1,0$	rechnerische Standsicherheit gegeben	2a
	6,0+02, untere Teilböschung	$\mu_{\max} = 1,10 < 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	2b
3	6,0+72	$\mu_{\max} = 1,00$	rechnerische Standsicherheit gerade noch gegeben	3
4	6,1+29	$\mu_{\max} = 1,00$	rechnerische Standsicherheit gerade noch gegeben	4
5	6,2+14	$\mu_{\max} = 1,02 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	5
10	6,2+68	$\mu_{\max} = 1,16 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	6

Profil	km Strecke 4560	max. Ausnutzungsgrad nach EC 7 / DIN 1054:2010	Ergebnis	Anlage 5.1 Blatt
6	6,3+37	$\mu_{\max} = 1,17 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	7
7	6,3+72	$\mu_{\max} = 1,05 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	8
8	6,4+23	$\mu_{\max} = 1,07 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	9
11	6,4+96	$\mu_{\max} = 1,02 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	10
9	6,5+91	$\mu_{\max} = 1,02 > 1,0$	rechnerische Standsicherheit <b>nicht</b> gegeben	11

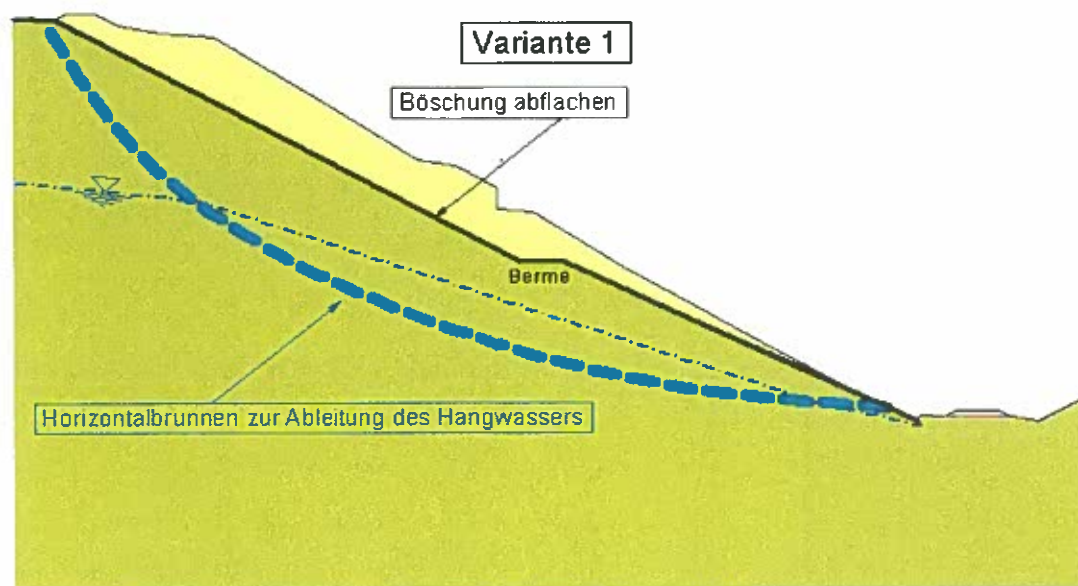
Die anhand der Berechnungen ermittelten Ausnutzungsgrade liegen zwischen  $\mu_{\max}=1,00$  und  $\mu_{\max}=1,17$ , d.h. die rechnerische Standsicherheit ist überwiegend nicht gegeben.

## 4.2 Variantenuntersuchung zum Sanierungskonzept

Wie in Abschnitt 4.1 dargestellt, ist die rechnerische Standsicherheit der Einschnittsböschungen im Bestand zum überwiegenden Teil nicht gegeben. Zur Gewährleistung der Langzeitstandsicherheit der bahnlinken Einschnittsböschung werden daher standsicherheitsverbessernde Maßnahmen erforderlich. Hierzu wurden insgesamt 4 Varianten untersucht:

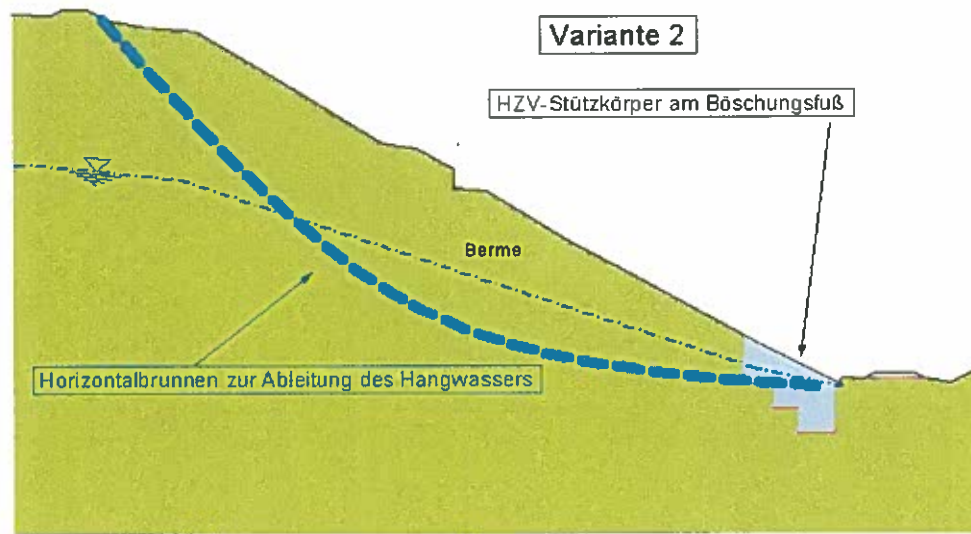
### Variante 1: Böschungsabflachung

- Böschungsabflachung (gesamte Böschung) und Herstellung einer Berme
- Verfüllung der vorhandenen, nicht mehr intakten Entwässerungstollen.
- Ableitung des Schichtwassers durch horizontale Entwässerungsbrunnen und Rigolen
- Gezielte Ableitung des Oberflächenwassers (Abfanggraben Böschungsschulter, Raubettrinnen)



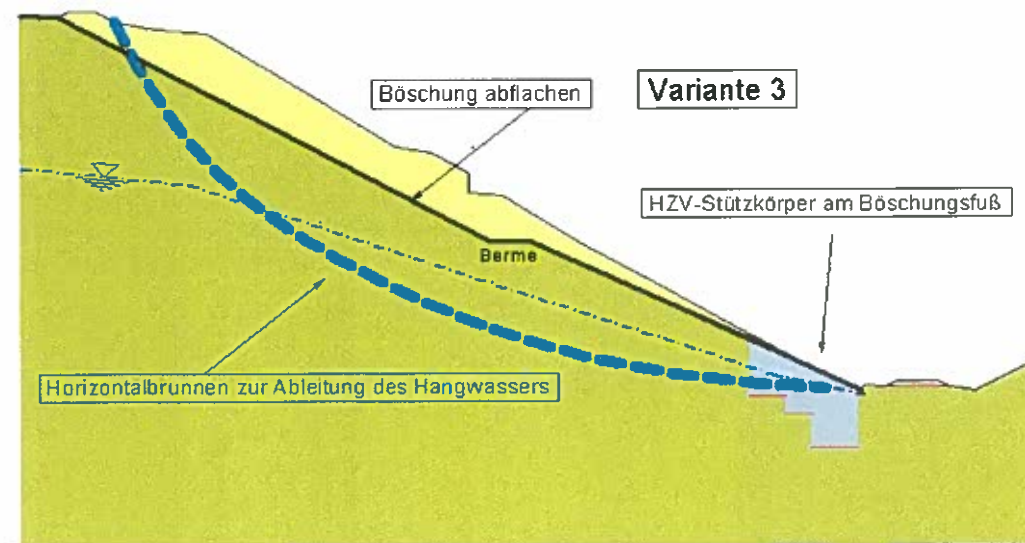
## **Variante 2: HZV Stützkörper am Böschungsfuß**

- Böschungssicherung mittels Hydro-Zementationsverfahren (unterer Böschungsbereich)
- Verfüllung der vorhandenen, nicht mehr intakten Entwässerungsstollen.
- Ableitung des Schichtwassers durch horizontale Entwässerungsbrunnen und Rigolen
- Gezielte Ableitung des Oberflächenwassers (Abfanggraben Böschungsschulter, Raubetrinnen)



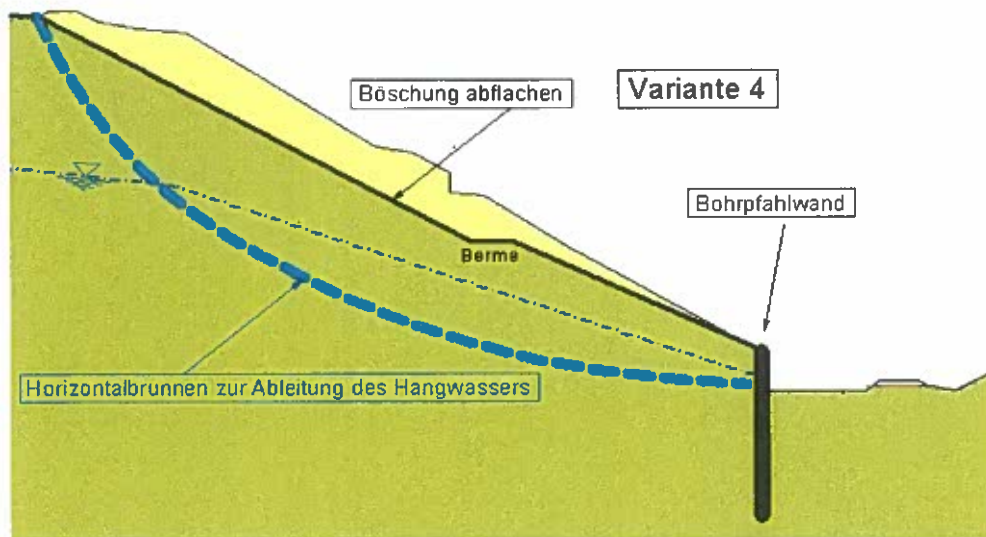
## **Variante 3: Böschungsabflachung + HZV Stützkörper am Böschungsfuß**

- Böschungsabflachung (gesamte Böschung) und Herstellung einer Berme
- Böschungssicherung mittels Hydro-Zementationsverfahren (unterer Böschungsbereich)
- Verfüllung der vorhandenen, nicht mehr intakten Entwässerungsstollen.
- Ableitung des Schichtwassers durch horizontale Entwässerungsbrunnen und Rigolen
- Gezielte Ableitung des Oberflächenwassers (Abfanggraben Böschungsschulter, Raubetrinnen)



#### **Variante 4: : Böschungsabflachung + Bohrpfahlwand**

- Böschungsabflachung (gesamte Böschung) und Herstellung einer Berme
- Aufgelöste Bohrpfahlwand am Böschungsfuß (Abstand zur GA ca. 10 m)
- Verfüllung der vorhandenen, nicht mehr intakten Entwässerungstollen.
- Ableitung des Schichtwassers durch horizontale Entwässerungsbrunnen und Rigolen
- Gezielte Ableitung des Oberflächenwassers (Abfanggraben Böschungsschulter, Raubetrinnen)



Da die im Bestand vorhandenen Entwässerungstollen weitgehend nicht mehr ausreichend funktionstüchtig sind, empfehlen wir eine Ableitung der in der Einschnittsböschung zirkulierenden und austretenden Schichtwässer durch neu zu erstellende horizontale Entwässerungsbrunnen (vgl. hierzu Abschnitt 4.4). Dies betrifft alle 4 untersuchten Sanierungsvarianten.

Des Weiteren empfehlen wir Maßnahmen zur schadfreien Ableitung des anfallenden Oberflächenwassers (siehe Abschnitt 4.5)

Die vorhandenen, nicht mehr intakten Entwässerungstollen sind zu verfüllen.

#### **4.3 Bewertung der Sanierungsvarianten**

Zur Ermittlung der rechnerischen Böschungsstandsicherheiten nach durchgeführten Sanierungsmaßnahmen wurden für die 4 vorstehend beschriebenen Sanierungsvarianten Standsicherheitsberechnungen mit dem Programm „GGU-Stability /U 12/ nach Teilsicherheitskonzept EC 7 / DIN 1054:2010 für die ständige Bemessungssituation (BS-P) durchgeführt.

Zusätzlich zu den in Abschnitt 4.1.1 angegebenen Berechnungsannahmen wurden noch folgende Annahmen getroffen:

### Hangwasserspiegel:

Der Hangwasserspiegel wurde entsprechend dem bis Ende März 2014 gemessenen Maximalstand angenommen (vgl. hierzu Abschn. 2.5). Eine durch die vorgesehenen Entwässerungsbrunnen zu erzielende Absenkung des Hangwasserspiegels wurde bei den Berechnungen auf der sicheren Seite liegend, nicht angesetzt.

Dagegen wurde davon ausgegangen, dass aufgrund der empfohlenen Entwässerungsmaßnahmen (vgl. Abschn. 4.4) temporäre Spitzen des Hangwasserspiegels, wie sie nach Starkniederschlagsereignissen kurzfristig auftreten können, durch die Entwässerungsmaßnahmen abgefangen werden und in den Berechnungen daher nicht angesetzt werden müssen.

### HZV-Stützkörper:

Bei den Berechnungen für den Endzustand wurde von einem Achsabstand der Stützkörper von 6 m ausgegangen.

Die Scherparameter Bodenkennwerte im Bereich der Bodenstabilisierung wurden zur Vorbemessung auf der sicheren Seite liegend wie folgt angesetzt:

$$\varphi' = 27,5^\circ$$

$$c' = 80 \text{ kN/m}^2$$

Die Kohäsion wurde hierbei als „verschmierte Kohäsion“ mit in den Berechnungen angesetzt.

Wir weisen jedoch darauf hin, dass das üblicherweise für die Vorbemessung angewendete konventionelle analytische Verfahren zur Ermittlung der Standsicherheit einer mit Stützscheiben ertüchtigten Böschung mit Unsicherheiten behaftet ist. Für eine verlässlichere Ermittlung der Standsicherheiten wären dreidimensionale Standsicherheitsberechnungen nach der Methode der Finiten Elemente erforderlich.

Nach Festlegung der tatsächlich zur Ausführung kommenden Stützscheibengeometrie sind die erforderlichen erdstatischen Nachweise (Gleitsicherheit) im Zuge der Ausführungsplanung noch zu führen.

### Bohrpfahlwand

Die Bohrpfahlwand wurde als „Bauteil“ in die Berechnung eingeführt, d.h. es wurde davon ausgegangen, dass die Scherfestigkeit im Bereich des Bauteils so groß ist, dass eine Sicherheitsberechnung unterbleiben kann, wenn Gleitkörper das Bauteil schneiden.

Die Ergebnisse der Variantenuntersuchung sind in der nachfolgenden Tabelle 16 zusammengestellt. Die zugehörigen Standsicherheitsberechnungen sind in den Anlagen 5.2 bis 5.5 enthalten.

Tabelle 16: Ergebnisse der Standsicherheitsberechnungen (nach Böschungssanierung, Varianten 1-3, km 5,9+25 bis 6,5+91, bahnlinks)

Profil	km Strecke 4560	max. Ausnutzungsgrad nach EC 7 / DIN 1054:2010			
		<u>Variante 1:</u> Böschung abgeflacht <sup>1)</sup> (siehe Anlage 5.2)	<u>Variante 2:</u> HZV-Stützkörper am Böschungsfuß <sup>1)</sup> (siehe Anlage 5.3)	<u>Variante 3:</u> Böschung abgeflacht, HZV-Stützkörper <sup>1)</sup> (siehe Anlage 5.4)	<u>Variante 4:</u> Böschung abgeflacht, Bohrpfahlwand <sup>1)</sup> (siehe Anlage 5.5)
1	5,9+25	$\mu_{\max} = 0,88 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,92 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,80 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,80 < 1,0$
2	6,0+02	$\mu_{\max} = 0,86 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,91 < 1,0$ (untere Teilböschung)	$\mu_{\max} = 0,85 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,84 < 1,0$
3	6,0+72	$\mu_{\max} = 0,97 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,94 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,91 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,88 < 1,0$
4	6,1+29	$\mu_{\max} = 0,98 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,96 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,93 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,94 < 1,0$
5	6,2+14	$\mu_{\max} = 0,99 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,96 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,93 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,86 < 1,0$
10	6,2+68	$\mu_{\max} = 0,96 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,99 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,89 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,93 < 1,0$
6	6,3+37	$\mu_{\max} = 0,96 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,96 > 1,0$	$\mu_{\max} = 0,94 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,93 < 1,0$
7	6,3+72	$\mu_{\max} = 0,95 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,97 > 1,0$	$\mu_{\max} = 0,90 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,85 < 1,0$
8	6,4+23	$\mu_{\max} = 0,85 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,97 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,82 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,82 < 1,0$
11	6,4+96	$\mu_{\max} = 0,83 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,93 > 1,0$	$\mu_{\max} = 0,82 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,80 < 1,0$
9	6,5+91	$\mu_{\max} = 0,80 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,90 > 1,0$	$\mu_{\max} = 0,77 < 1,0$	$\mu_{\max} = 0,79 < 1,0$

#### 4.3.1 Variante 1: Abflachung der Einschnittsböschung

Die im Bestand vorhandenen Böschungsneigungen sind aus Tabelle 14 ersichtlich. Die Gesamt- und Teilböschungsneigungen sind z.T. steiler als 30 Grad und entsprechen nicht den Regelböschungsneigungen gemäß Ril 836.4102A01 für die anstehenden, überwiegend feinkörnigen Böden.

Nach Rücknahme und Abflachung der Böschung lässt sich die Böschungsstandsicherheit in allen 11 untersuchten Profilen nachweisen (vgl. hierzu Tabelle 16, Variante 1 sowie Anlage 5.2).

In der jeweils obere Teilböschung ergibt sich im Mittel eine Böschungsneigung von 27,5°, im Bereich der untere Teilböschung im Mittel von 24,5°. Im Niveau ca. 644,5 m NN wurde aus Gründen der erleichterten Wartbarkeit der Einschnittsböschung eine ca. 3 m breite Berme vorgesehen. Aus Standsicherheitsgründen ist diese jedoch nicht erforderlich.

Die anhand der Berechnungen ermittelten Ausnutzungsgrade liegen zwischen  $\mu_{\max}=0,80$  und  $\mu_{\max}=0,99$ , d.h. die rechnerische Standsicherheit kann in allen untersuchten Profilen erreicht werden (vgl. hierzu Tabelle 13). Insbesondere bei den Profilen 3 bis 7 sind jedoch nur geringe Sicherheitsreserven vorhanden.

Sofern die Rücknahme und Abflachung der Einschnittsböschung unter Betrieb durchzuführen ist, wird zum Schutze des Eisenbahnverkehrs eine Prallwand am Böschungsfuß erforderlich.

#### **4.3.2 Variante 2: Böschungssicherung durch HZV-Stützkörper am Böschungsfuß**

Variante 2 sieht eine Böschungssanierung durch im Hydro-Zementationsverfahren (HZV) erstellte Stützkörper am Böschungsfuß vor. Die durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen (vgl. Kapitel 4.7 und Anlage 5.3) zeigen, dass zur Erreichung der rechnerischen Böschungsstandsicherheit Einbindetiefen der Stützkörper von z.T.  $> 4$  m erforderlich werden. Für die Ausführung dieser Variante wird daher eine Vollsperrung der Strecke oder ein temporärer gleisseitiger Verbau (z.B. durch Spundwände oder Verpresspfähle) erforderlich.

Die anhand der Berechnungen ermittelten Ausnutzungsgrade liegen zwischen  $\mu_{\max}=0,90$  und  $\mu_{\max}=0,99$ , d.h. die rechnerische Standsicherheit kann auch bei dieser Variante in allen untersuchten Profilen erreicht werden (vgl. hierzu Tabelle 13). Insbesondere bei den Profilen 4 bis 8 sind jedoch nur geringe Sicherheitsreserven vorhanden.

#### **Hinweise zum Bauverfahren**

Mit dem Hydro-Zementationsverfahren (HZV), wird eine in-situ-Behandlung des Bodens durchgeführt. Dabei werden die rutschgefährdeten Bodenmassen bis unterhalb der Gleitfläche durch Stützkörper verbessert.

Gemäß Ril 836, Modul 836.4102A01 dürfen Stützscheiben in Böschungen mit Höhen bis zu 10 m, bei denen die maßgebenden Gleitflächen durch den Böschungsfußpunkt verlaufen und deren Oberfläche im Einflussbereich der Gleitflächen keinen Gebäudelasten ausgesetzt ist, entsprechend den Bedingungen der bauaufsichtlichen Zulassungen des EBA nach dem sog. HZ-Verfahren (Herstellen von Erdbeton in situ) hergestellt werden. Bei höheren Böschungen, bei belasteten Böschungen und bei Böschungen auf weichem Untergrund mit maßgebenden tiefliegenden Gleitflächen darf das HZ-Verfahren nur mit Zustimmung der DB Netz Zentrale eingesetzt werden. Bei Einsatz eines nicht zugelassenen Verfahrens sind UiG und ZiE einzuholen.

Die Herstellung der Stützscheiben erfolgt mit einem geländegängigen Schreitbagger, der 2 m breite Schlitze bis zur erforderlichen Tiefe unter Geländeoberkante ausgräbt. Der Achsabstand zwischen den Stützkörpern beträgt in der Regel 3 bis 6 m.

Zur besseren Verzahnung mit dem Untergrund wird die Sohle des Stützkörpers stufenförmig angeordnet. Da das System hinsichtlich Lage und Abmessungen zu verändern ist, kann es der tatsächlichen Situation sofort angepasst werden.

Das ausgehobene Material wird seitlich gelagert. Über eine Schlauchleitung wird die Zementsuspension in den Schurf eingefüllt (unter Zugabe des ausgehobenen Bodenmaterials) und mit Hilfe der Baggerschaufel vermischt. Hierbei entstehen maximal 10 bis 15 % Überschussmaterial, so dass nur geringe Massen zu deponieren sind.

Die Herstellung der Stützscheiben nach dem HZV-Verfahren sieht vor, den anstehenden Boden in Schlitzten ohne besondere zusätzlichen Sicherungen auszuheben und schichtweise den ausgehobenen Boden nach Zugabe von Zementsuspension (ggf. mit Abbindebeschleunigern) in den Schlitz wieder einzufüllen und mit der Suspension zu durchmischen. Zur Sicherung des Verkehrswegs sind gleisseitige Verbaumaßnahmen erforderlich.

Die Zementzugabemenge ist abhängig von der zu verbessernden Bodenart und kann bis 20 % (bezogen auf den zu verbessernden Boden) betragen. Der Wasserzementwert der Zementsuspension beträgt in Abhängigkeit des zu stabilisierenden Bodens 0,5 bis 1,0. Zur Beschleunigung des Erhärtungsvorgangs wird in der Regel Wasserglas (< 2 M.-%, bezogen auf das Zementgewicht) zugegeben.

Geeignete Bindemittel für die Herstellung der Erdbeton-Stützkörper sind:

- Zemente nach DIN EN 197-1 und DIN EN 197-4
- Zemente nach DIN 1164, Teil 10
- Zusatzstoffe, die die Abbindung hydraulischer Bindemittel beschleunigen.

Die Zusammensetzung der der Bindemittel-Wasser-Abbindebeschleuniger-Suspension ist im Detail im Zuge einer Eignungsprüfung festzulegen. Die Homogenität der Erdbeton-Stützkörper ist vorab in einem Probefeld zu überprüfen. Der Verbrauch der Bindemittel-Wasser-Abbindebeschleuniger-Suspension ist zu dokumentieren.

Von jedem Erdbeton-Stützkörper ist eine Schöpfprobe zu entnehmen und ein zylindrischer Prüfkörper, Durchmesser 150 mm, Länge 300 mm herzustellen. Die Prüfkörper sind nach 28 Tagen hinsichtlich der Druckfestigkeit zu prüfen. Die einzuhaltenden Mindest-Druckfestigkeiten sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen:

Tabelle 17: Mindest-Druckfestigkeiten für Erdbeton-Stützkörper

Bodenart	Kornanteil ≤ 0,06 mm	Bodengruppe nach DIN 18196	Mindestdruck- festigkeit <sup>1)</sup> nach 28 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]	Mindestwert der mittleren Druckfestigkeit jeder Serie <sup>2)</sup> von 3 Prüfkörpern nach 28 Tagen [N/mm <sup>2</sup> ]
Feinkörnige Böden (Schluffe, Tone)	> 40 M.-%	UL, UM, TL, TM, TA	0,4	0,5
Gemischtkörnige Böden	15 bis 40 M.-%	ST*, SU*, GT*, GU*	0,7	1,1
	5 bis 15 M.-%	ST, SU, GT, GU	1,1	1,6
Grobkörnige Böden (Kiese, Sande)	< 5 M.-%	SE, SW, SI, GE, GW, GI	2,1	3,2

<sup>1)</sup> Die Mindestdruckfestigkeit muss jeder der Prüfkörper erreichen, welcher aus einer Serie von drei zeitlich aufeinander folgenden Schöpfproben hergestellt wurde. Der Wert entspricht dem charakteristischen Festigkeitswert (5%-Quantil der Grundgesamtheit) – Erwartungswert- von gleichartigen Erdbeton-Mischungen.

<sup>2)</sup> Eine Serie besteht aus drei Prüfkörpern, welche aus drei zeitlich aufeinander folgenden Schöpfproben hergestellt wurden.

Erfahrungswerte von durchgeführten Böschungssanierungen zeigen, dass bei vergleichbaren feinkörnigen Böden bei weitem höhere Druckfestigkeiten erreicht werden. An der Strecke 5310, Donauwörth-Treuchlingen, km 17,100-17,300, Damm Fünfstetten, wurden nach HZV-Verbesserung nach 28 Tagen Druckfestigkeiten zwischen 2,6 N/mm<sup>2</sup> und 8,5 N/mm<sup>2</sup> erreicht.

Die erfolgreiche Durchführung des Verfahrens stellt insbesondere hinsichtlich der Aufrechterhaltung der Standsicherheit Böschung und der geöffneten Schlitzte im Bauzustand, der gesicherten Qualität der Erdbetonscheiben sowie hinsichtlich der Risiken einer betrieblichen Beeinträchtigung der Gleise besonders hohe Anforderungen an eine gesicherte Durchführung der Maßnahme.

- Das Bauvorhaben muss grundsätzlich unter Aufrechterhaltung und ohne Gefährdung des Eisenbahnbetriebes durchgeführt werden.
- Die durchgeführten Standsicherheitsuntersuchungen zeigen, dass zur Erreichung der rechnerischen Böschungsstandsicherheit Einbindetiefen der Stützkörper von z.T. > 4 m erforderlich werden. Für die Bauausführung wird daher temporärer gleisseitiger Verbau erforderlich.
- Der zeitbegrenzte Eingriff in die Einschnittsböschungen hat mit großer Umsicht zu erfolgen und bedarf der ständigen Anwesenheit eines vom AG zu stellenden Geotechnikers.
- Wir empfehlen, dass mit der Herstellung der Stützscheiben erst nach Abschluss der durchzuführenden Eignungsprüfungen begonnen werden darf und wenn durch die Herstellung und Auswertung (z.B. durch Freilegen) von in einem Probefeld anzulegenden Probescheiben nachgewiesen ist, dass für eine gesicherte Durchführung der Arbeiten in Bereichen, in denen der Gleiskörper durch Rutschungen beeinflusst werden kann, ausreichende Vorkenntnisse vorliegen.

- Der Herstellungsablauf (Aushub, Einbringen der Suspension, Verfüllen, Durchmischen, Abbindung) ist unter Beachtung einer ausreichenden Stabilität der offenen Schlitzte zu planen. Ggf. sind Standsicherheitsnachweise für die Bauzustände zu führen.
- Die Stützscheiben sind so herzustellen, dass die planmäßigen Begrenzungsflächen im Mittel eingehalten werden und Abweichungen an einzelnen Stellen 0,3 m nicht über -oder unterschreiten.
- Zwischen den Stützkörpern sind Entwässerungsrigolen (Breite ca. 2m, Teilsickerrohr an der Basis) anzuordnen, die das anfallende Hangwasser fassen und gezielt ableiten.
- Wir empfehlen unter Einbeziehung der betriebsführenden Stellen der Streckennutzer die Erarbeitung eines Alarmplans, durch den eine rechtzeitige Betriebsunterbrechung bei auftretenden, die Betriebssicherheit gefährdenden Vorkommnissen sichergestellt wird.

Wir empfehlen von der ausführenden Firma vor Beginn der planmäßigen Bauarbeiten zur Sicherung der Einschnittsböschung eine ausreichend detaillierte, ortsbezogene Baubeschreibung und einen Qualitätssicherungsplan ausarbeiten zu lassen und dem einzuschaltenden geotechnischen Sondersachverständigen zur Bestätigung vorlegen zu lassen.

#### **4.3.3 Variante 3: HZV-Stützkörper am Böschungsfuß und Böschungsabflachung**

Aufgrund der geringen Sicherheitsreserven der Varianten 1 (nur Böschungsabflachung) und Variante 2 (nur HZV-Stützkörper am Böschungsfuß) wurde auch eine Kombination der beiden Varianten untersucht.

Variante 3 sieht eine Kombination von Böschungsabflachung und HZV-Stützkörper am Böschungsfuß vor. Die anhand der Berechnungen ermittelten Ausnutzungsgrade liegen bei dieser Variante zwischen  $\mu_{\max}=0,77$  und  $\mu_{\max}=0,93$  (vgl. hierzu Tabelle 13).

Im Vergleich zur alleinigen Ausführung der Varianten 1 oder 2 kann somit bei einer Kombination beider Varianten das Sicherheitsniveau wesentlich angehoben werden.

#### **4.3.4 Variante 4: Bohrpfahlwand am Böschungsfuß und Böschungsabflachung**

Alternativ zu Variante 3 ist Böschungsabflachung in Verbindung mit einer aufgelösten Bohrpfahlwand am Böschungsfuß möglich.

Die anhand der Berechnungen ermittelten Ausnutzungsgrade liegen bei dieser Variante zwischen  $\mu_{\max}=0,78$  und  $\mu_{\max}=0,94$  (vgl. hierzu Tabelle 13). Es kann im Vergleich zu den Varianten 1 oder 2 ebenfalls eine wesentliche Verbesserung des Sicherheitsniveaus erreicht werden.

Für die Bauausführung ergeben sich Vorteile, da die Bohrpfahlwand vom Betriebsgleis abgerückt werden kann (bei den Standsicherheitsberechnungen wurde ein Gleisabstand von ca. 10 m gewählt) und auf einen gleisseitigen Verbau verzichtet werden kann.

Zur Bemessung der Bohrpfähle werden Spitzenwiderstands- und Mantelreibungswerte benötigt. Die Einbindung der Pfähle muss nach DIN 1054 mindestens 5,0 m in den Baugrund bzw. 2,5 m in die tragfähige Schicht erfolgen.

Tragfähige Schichten im Sinne der EA Pfähle /U 14/ sind rollige Böden mit einem mittleren Spitzenwiderstand der Drucksonde  $q_c \geq 7,5 \text{ MN/m}^2$  oder bindige Böden mit einer Scherfestigkeit des undrained Bodens  $c_{u,k} \geq 0,1 \text{ MN/m}^2$ . Im vorliegenden Fall sind die mitteldicht und dicht gelagerten Sande (Schichten 3.3, 3.3) sowie die Schluffe/Tone mit mindestens steifer Konsistenz (Schichten 4.2, 4.3, 5.2, 5.3, 6.2, 6.3, 7.2, 7.3) für die Ableitung der Pfahlspitzendrücke geeignet. In nachfolgender Tabelle werden repräsentative Pfahlkennwerte für maßgebenden Baugrundsichten angegeben:

Tabelle 18: Pfahlspitzenwiderstand und Pfahlmantelreibung (Bohrpfähle) nach /U 14/

Schicht von/bis			Pfahl Spitzenwi- derstand <sup>1)</sup> $q_{b,k}$	Pfahlmantel- reibung $q_{s,k}$
Nr.	Bodenart	Schicht	MN/m <sup>2</sup>	MN/m <sup>2</sup>
1	SU*, md	3.2	0,80 ... 2,30 <sup>1)</sup>	0,080
2	SU*, di	3.3	1,20 ... 3,50	0,120
3	TL, TM, UL, st	4.2/5.2/6.2/7.2	0,40 ... 0,90 <sup>1)</sup>	0,040
4	TL, TM, UL, hf	4.3/5.3/6.3/7.3	0,75 ... 1,50	0,065

<sup>1)</sup> in Abhängigkeit von Pfahlkopfsatzung  $s/D_{eq}$  nach EA Pfähle /U 14/

Die Angaben gelten für den Einzelpfahl und unter Beachtung der ergänzenden Forderungen und Hinweise der DIN 1054 bzw. der EA Pfähle /U 14/.

Die horizontale Bettungsziffer lässt sich nach der Beziehung  $k_s = E_s/D$  ( $E_s$  - Steifemodul des Bodens,  $D$  - Pfahldurchmesser) abschätzen. Sie gilt für  $D = 0,3 \dots 1,0 \text{ m}$ . Für größere Durchmesser ist  $D = 1,0 \text{ m}$  anzusetzen. Dabei ist im Allgemeinen die Gruppenwirkung zu berücksichtigen. Bei einem Pfahlachsabstand, der dem zweifachen Pfahldurchmesser entspricht, ist der Bettungsmodul mit dem Faktor 0,75 abzumindern (DIN 1054).

Wir empfehlen, die angegebenen Pfahlkennwerte im Zuge der Pfahlbohrungen zu überprüfen und ggf. zu präzisieren.

## **4.4 Böschungsentwässerung**

### **4.4.1 Bestandssituation**

Die Böschungsentwässerung erfolgt im Bestand durch 5 Entwässerungsstollen (km 5,925, km 6,000, km 6,700, km 6,300 sowie km 6,200). Die Portale dieser Stollen sind in der Böschung im Niveau zwischen 638,96 m NN und 650,82 m NN angeordnet. Lagepläne über den Verlauf der Stollen konnten vom AG nicht beigelegt werden.

Die Ableitung der austretenden Schichtwässer erfolgt über Betonrinnen, welche in der Einschnittssohle an vorhandene Schächte der bestehenden TE angeschlossen sind.

Im Zuge der Grundlagenermittlung /U 15/ wurden die in der bahnlinken Einschnittsböschung bestehenden Entwässerungsstollen begangen.

Aufgrund des derzeitigen Zustandes (teilweiser Verstoß der Stollen, starke Versinterung) ist Böschungsentwässerung nur noch eingeschränkt gegeben.

Des Weiteren ist davon auszugehen, dass durch die Anordnung der Stollen nur ein Teil der tatsächlich auftretenden Schichtwasserhorizonte entwässert werden kann.

## **4.5 Empfehlung zur Sanierung der Böschungsentwässerung**

### **4.5.1 Ableitung der Hang- und Schichtwässer durch Horizontalbrunnen**

Zur nachhaltigen und dauerhaften Böschungsentwässerung empfehlen wir die Ausführung von Horizontalbrunnen im Horizontalbrunnenbauverfahren (HDD-Verfahren) als Ersatz für die nicht mehr ausreichend funktionstüchtigen Entwässerungsstollen des Bestands.

Mithilfe des HDD-Verfahrens können, wie im vorliegenden Fall erforderlich, rutschungssensible Hanglagen effizient entwässert werden.

Die Entwässerungsbrunnen können bohrtechnisch an der Böschungsschulter angesetzt werden und mit gekrümmtem Verlauf die gesamte Einschnittsböschung durchdringen (vgl. hierzu die schematische Darstellungen in Abschnitt 4.2).

Da bei der durchgeführten Erkundung Schichtwasserhorizonte in unterschiedlichen Niveaus festgestellt wurden (siehe hierzu Abb. 6) sollte angestrebt werden Entwässerungsmaßnahmen auch in unterschiedlichen Niveaus anzuordnen.

Beim Einsatz von HDD-Brunnen ist dies gewährleistet, da durch den gekrümmten Verlauf der Brunnen Schichtwasservorkommen aus unterschiedlichen Niveaus abgeleitet werden können.

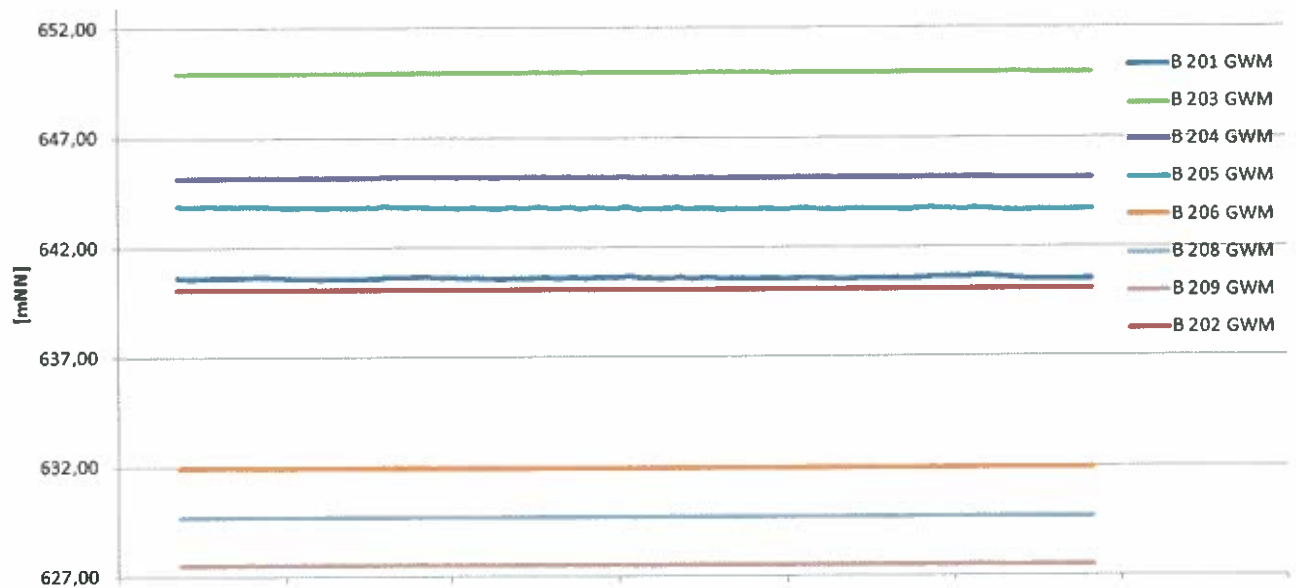


Abb. 6: Niveaus der Schichtwasservorkommen im Einschnittsbereich l.d.B.

Das HDD-Verfahren ermöglicht rein bohrtechnisch und aufgrabungsfrei eine optimale Verlegung von horizontalen oder gekrümmten Filterstrecken im Grund- oder Hangwasserleiter /U 13/.

Die Filterstrecken können in beliebiger Länge, in beliebiger Tiefe und in beliebigem Durchmesser verlegt werden. Durch die Verwendung eines Hüllrohres beim Einzug der Filterkörper werden diese reibungs- und verschmutzungsgeschützt bis in ihre gewünschte Verlegeposition im Aquifer eingebracht. Erst danach wird das Hüllrohr entkoppelt und vorsichtig herausgezogen.

Der zuvor vom Hüllrohr benötigte, frei werdende Ringraum dient der Entspannung und Lockerung des unmittelbar umgebenden Bodens und somit der Erhöhung der Wegsamkeit. Dies wiederum unterstützt die optimale Zuflusserhöhung im unmittelbaren Umgebungsbereich der Filterkörper. Eine natürliche Sortierung und Filterwirkung baut sich hier im Umfeld der Filterkörper auf.

Im Zusammenhang mit dem HDD-Verfahren können flexible, zum Teil aus inerten Kunststoffen bestehende Filterkörper mit extrem hoher Einlassoberfläche bei definierter Durchtrittsporengröße verwendet werden.

Wir empfehlen die Verwendung von aus PE-Granulat bestehenden Filterrohre, wobei die Granulatkörnung idealerweise auf die Körnungslinie des umgebenden Lockergesteines abgestimmt sein sollte. Aufgrund des Kalkgehalts der anstehenden Böden und der zirkulierenden Wässer sind Vorkehrungen gegen die Versinterung der Brunnen zu treffen.

Vorab gehen wir von der Erfordernis von 6 Horizontalbrunnen aus. Wir empfehlen, die Horizontalbrunnen alternierend durch an der Böschungsoberfläche angeordnete Rigolen zu ergänzen.

Details der Dimensionierung der Böschungsentwässerung sind im Zuge der Vorplanung noch zu klären.

Angaben zur Durchlässigkeit der anstehenden Böden sind in Abschnitt 2.3 enthalten. Zur Detaillierung dieser Ergebnisse und zur Abschätzung des Wasseranfalls empfehlen wir neben der Weiterführung der Grundwasserstandsmessungen die Durchführung von Pumpversuchen in den eingerichteten Grundwassermessstellen sowie Abflussmessungen an der Bestandsentwässerung.

#### **4.5.2 Oberflächenentwässerung**

Ergänzend zur Ableitung der Hang- und Schichtwässer durch Horizontalbrunnen und Rigolen empfehlen wir des Weiteren die Ausbildung einer effizienten Oberflächenentwässerung.

Durch die Oberflächenentwässerung sollen Oberflächenwässer nach Starkniederschlägen gezielt abgeleitet und von der Böschungsoberfläche zur Vermeidung von Erosion ferngehalten werden.

Im Einzelnen empfehlen wir:

- parallel zur Böschungsschulter angeordnete Entwässerungsrinnen
- Ableitung in die TE über Rauhbetrinnen.

#### **4.5.3 Begrünung**

Nach der Anpassung der Böschungsgeometrie und Erneuerung der Entwässerungseinrichtungen ist für eine umgehende Neubepflanzung der Einschnittsböschung zu sorgen.

### **5 Chemische und abfalltechnische Untersuchungen**

#### **5.1 Beurteilung der Beton- und Stahlaggressivität**

Aus den Grundwassermessstellen B 204 und B 205 wurden im Dezember 2013 Wasserproben entnommen und vom Labor Wessling GmbH, Neuried (Prüfberichts-Nr: CMU13-021126-1 vom 10.12.2013) hinsichtlich betonaggressiver und stahlaggressiver Inhaltsstoffe untersucht. Aufgrund der Analysenergebnisse wurden beide untersuchten Wasserproben als **nicht betonangreifend** eingestuft.

Die Beurteilung der Stahlaggressivität gemäß DIN 50929 Teil 3 ergab bei beiden untersuchten Wasserproben übereinstimmend die folgenden Ergebnisse:

Die Korrosionswahrscheinlichkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen in Wässern ist 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** (vgl. hierzu Anlage 6.1).

## 5.2 Abfalltechnische Untersuchungen

### 5.2.1 Allgemeines

Im Zuge der Baumaßnahmen fällt Bodenaushub an, der verwertet bzw. beseitigt werden muss.

Das Ziel der umwelttechnischen Untersuchungen ist, dem Auftraggeber einen grundsätzlichen Überblick über die Belastungssituation des von den Baumaßnahmen betroffenen Bereichs zu liefern.

Das im Zuge der Baumaßnahme anfallende Aushubmaterial ist auf Haufwerken zwischenzulagern und abfalltechnisch zu bewerten.

Aus dem Bohrgut der Bodenaufschlüsse im Bereich des zu erwartenden Bodenaushubs wurden zwei Mischproben erstellt und gemäß LAGA-Richtlinie 20 "Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen untersucht.

Die chemische Untersuchung der Mischproben erfolgte durch das Labor Weßling GmbH, München-Neuried.

### 5.2.2 Untersuchungsergebnisse

Die angetroffenen Bodenschichten zeigen augenscheinlich keine Verunreinigungen und sind als organoleptisch unauffällig zu bewerten. Die Bewertung der untersuchten Mischproben hinsichtlich Einstufungskriterien LAGA Boden sind aus der nachfolgenden Tabelle ersichtlich und im Einzelnen in der Anlage 6.2 enthalten.

Tabelle 19: Ergebnisse Umweltanalytik (anstehender Boden)

	<b>Umweltanalytik Bodenmaterial</b>	
<b>Beschreibung:</b>	anstehender Boden	
<b>Herkunft:</b>	B201, B202, B203, RKS 1-2, RKS 2-2, RKS 3-2, jeweils 0-5m	B 204, B 205, B 206, RKS 4-2, RKS 5-2, RKS 6-2, jeweils 0-5m
<b>Probenahme:</b>	29.11.2013	29.11.2013
<b>Probenbezeichnung</b>	MP 1	MP 2
<b>Prüfbericht-Nr:</b>	CMU13-013416-1	CMU13-013417-1
<b>Laboreingang:</b>	27.08.2013	27.08.2013

	<b>Umweltanalytik Bodenmaterial</b>	
<b>Untersuchungsumfang</b>	LAGA 1997 Boden, Tab. II.1.2-2/-3	LAGA 1997 Boden, Tab. II.1.2-2/-3
<b>Laborfertigstellung:</b>	09.12.2013	09.12.2013
<b>Einstufung nach LAGA:</b>	<b>Z0</b>	<b>Z0</b>
<b>Maßgebende Parameter:</b>	--	--

### 5.2.3 Verwertung / Entsorgung

Entsprechend der Ergebnisse ist der untersuchte Boden nach Eckpunktepapier dem Zuordnungswert **Z 0**, der untersuchte Gleisschotter dem Zuordnungswert **Z 2** zuzuordnen. Insgesamt werden die nachfolgenden Einbauklassen unterschieden:

#### Uneingeschränkter Einbau **Z 0**

Verzicht auf den Einbau in Kinderspielflächen, Sportanlagen, Schulhöfen, gärtnerisch und landwirtschaftlich genutzte Flächen, Trinkwasserschutzgebiete (Zone I+II).

#### Eingeschränkter offener Einbau **Z 1**

##### **Zuordnungswert Z 1.1**

Bei Einhaltung der entsprechenden Werte ist ein Einbau auf nutzungsunempfindlichen Flächen möglich (z.B. bergbauliche Rekultivierungsgebiete, Straßenbau und begleitende Erdbaumaßnahmen, Industrie-, Gewerbe- und Lagerflächen).

##### **Zuordnungswert Z 1.2**

Bei Einhaltung der entsprechenden Werte ist ein Einbau in hydrogeologisch günstigen Gebieten möglich (Grundwasserleiter wird durch ausreichend mächtige, gering durchlässige Deckschichten überlagert).

#### Eingeschränkter Einbau mit technischen Sicherungsmaßnahmen **Z 2**

Bei Einhaltung der entsprechenden Werte ist ein Einbau in z.B. Straßen- und Wegebau, Lärmschutzwällen, Straßendämme unter technischen Sicherungsmaßnahmen möglich. Recyclingbaustoffe und nicht aufbereiteter Bauschutt dieser Klasse dürfen nicht in Dränschichten oder zur Verfüllung von Leitungsgräben ohne technische Sicherungsmaßnahmen verwendet werden.

Bei Überschreitung der Werte ist eine Verwertung (offener Einbau mit Sicherungsmaßnahmen) nicht zulässig. Das Material ist einer geeigneten Deponie zuzuführen.

Bei Überschreitung der Zuordnungswerte **Z 2** ist das Bodenmaterial einer geeigneten Deponie (gemäß TA Siedlungsabfall) zuzuführen.

## 6 Zusammenfassung / Schlussbemerkungen

Die DB Netz AG plant auf der Strecke 4560 Kißlegg-Hergatz im Bereich bahnlinks zwischen km 5,900 und km 6,600 eine Sanierung der Einschnittsböschung l.d.B., weil es aus der lange andauernden Beobachtung des Bauwerks Hinweise darauf gibt, dass sich diese in Bezug auf die Standsicherheit nahe dem Grenzgleichgewicht befindet.

In dem vorliegenden geotechnischen Bericht wurden Vorschläge für eine Sanierung der Einschnittsböschung erarbeitet. Gegenstand der Untersuchungen war die Erkundung der Baugrundverhältnisse, die Ermittlung von Bodenkennwerten, Wasserständen und Berechnungsannahmen zur Ausarbeitung der Sanierungsempfehlung. Die qualitative Beschreibung der Bodenverhältnisse wurde durch bodenphysikalische Laborversuche unteretzt.

In Abschnitt 2 und 3 wurden die erkundeten Bodenschichten in ein übergreifendes, für den gesamten Bauabschnitt repräsentatives Baugrundmodell eingegliedert und die zugehörigen Boden- und Berechnungskennwerte angegeben.

In Abschnitt 4 erfolgte eine Bewertung der Böschungsstandsicherheit im Bestand sowie nach Durchführung der Böschungssanierung für 4 untersuchte Sanierungsvarianten.

In Abschnitt 5 wurden die Ergebnisse der durchgeführten chemischen und abfalltechnischen Untersuchungen dargestellt.

Die Ergebnisse der durchgeführten Variantenuntersuchung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

**Variante 1 (Abflachung der Einschnittsböschung):** Nach Rücknahme und Abflachung der Böschung lässt sich die Böschungsstandsicherheit in allen untersuchten Profilen nachweisen, wobei jedoch nur geringe Sicherheitsreserven vorhanden sind.

**Variante 2 (Böschungssicherung durch HZV-Stützkörper am Böschungsfuß):** Nach Durchführung der Maßnahme lässt sich die Böschungsstandsicherheit in allen untersuchten Profilen nachweisen, wobei jedoch ebenfalls nur geringe Sicherheitsreserven vorhanden sind. Für die Ausführung dieser Variante wird eine Vollsperrung der Strecke oder ein temporärer gleisseitiger Verbau (z.B. durch Spundwände oder Verpresspfähle) erforderlich.

**Variante 3 (HZV-Stützkörper am Böschungsfuß und Böschungsabflachung):** Im Vergleich zur alleinigen Ausführung der Varianten 1 oder 2 kann bei einer Kombination beider Varianten das Sicherheitsniveau wesentlich angehoben werden. Für die Ausführung dieser Variante wird jedoch ebenfalls eine Vollsperrung der Strecke oder ein temporärer gleisseitiger Verbau (z.B. durch Spundwände oder Verpresspfähle) erforderlich.

**Variante 4 (aufgelöste Bohrpfahlwand am Böschungsfuß und Böschungsabflachung):** Es kann im Vergleich zu den Varianten 1 oder 2 ebenfalls eine wesentliche Verbesserung des Sicherheitsniveaus erreicht werden. Für die Bauausführung ergeben sich Vorteile, da die Bohrpfahlwand vom Betriebsgleis abgerückt werden kann und bei ausreichendem Abstand der Bohrpfahlwand vom Fahrweg ein gleisseitiger Verbau nicht erforderlich wird.

Aus geotechnischer Sicht empfehlen wir für die Sanierung der Einschnittsböschung die **Variante 4**, wobei wirtschaftliche und ausführungstechnische Gesichtspunkte im Zuge der Vorplanung noch detailliert zu überprüfen sind.

Zur weiteren Detailierung der Hangwasserverhältnisse im Hinblick auf die Planung der erforderlichen Entwässerungsmaßnahmen empfehlen wir die Weiterführung der Messungen des Hangwasserspiegels in den eingerichteten Grundwassermeßstellen, die Durchführung von Pumpversuchen in den eingerichteten Grundwassermeßstellen sowie die Durchführung von Abflußmessungen in den bestehenden Entwässerungstollen.

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.

Unsere beauftragten Leistungen für dieses Objekt sind hiermit abgeschlossen.

aufgestellt durch:



Dipl.-Geol. R. D. Stoll