

☒ Studienbericht
☐ mit Vorprojekt
☒ ohne Vorprojekt

☐ Kurzstudie

Objektstudie

4461 Böckten, Dammsanierung Linie 500, km 22.7 bis km 23.2

Meldungs-Nr. Info-IB	109126470	
Auftragsnummer	5070199813	
IPID (DfA)	IB3797381	
Anlageverantwortlicher UEW	Thomas Hunsperger	I-AT-UEW-RME-IU- ING
Autoren		
Projektleiter SBB	Michael Nitschke	I-PJ-RME-PJM-PB3
Projektverfasser	Pfirter, Nyfeler + Partner AG, R. Henz Jauslin Stebler AG, D. Foerster	(Ref. 479313.0000)
Datum	17.02.2016	
Freibgabe Teamleiter PJ	15.12.2015	
Ablage PJ	\\Filer23L\PJ230L\1_Project\500\021.10 SIS\Dammsanierung_Boeckten_L500_km227-233.B8636\C21 Studie\184 Dossiers	

Studienbericht nach SIA 269/ff

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	4
1. Ausgangslage / Auftrag / Abgrenzung	5
1.1. Ausgangslage und Grund der Projektauslösung	5
1.2. Grundlagen, Normen, Richtlinien / Weisungen SBB	6
1.3. Lage im Netz: Bedeutung, angrenzende und künftige Projekte, geplante Entwicklungen	7
1.3.1. Übersicht	7
1.3.2. Angebot / Fahrplan	8
1.3.3. Rollmaterial	8
1.3.4. Projekte im Umfeld / Substanzerhalt	8
1.4. Ziele und Auftrag / Abgrenzung	8
1.4.1. Ziele und Auftrag	8
1.4.2. Abgrenzung	9
2. Objektdaten	9
3. Zustandserfassung	10
3.1. Visuelle Zustandserfassung im Rahmen der Studie	10
3.2. Verschiebungsmessungen	10
3.2.1. Allgemeine Bemerkungen	10
3.2.2. Auswertung der Inklinometermessungen	10
3.2.3. Interpretation	12
3.3. Untersuchungen zum Baugrund / Geologie, Grundwasserspiegel	13
3.3.1. Geologische Situation	13
3.3.2. Grundwasserverhältnisse	13
3.3.3. Geotechnische Kennwerte	14
3.4. Bahntechnische Untersuchungen	14
4. Tragwerksanalyse und Nachweise	15
4.1. Berechnungsmethode / Grundlagen	15
4.2. Rückrechnung der Bodenkennwerte	15
4.3. Rechnerische Beurteilung der Dammstabilität	16
5. Zustandsbeurteilung	17
5.1. Allgemeine Einschätzung	17
5.2. Fazit Zustandsüberprüfung, Beurteilung Gesamtzustand	17
5.2.1. Beurteilung des baulichen Zustands	17
5.2.2. Beurteilung der Tragsicherheit	17
5.2.3. Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit	18
5.2.4. Beurteilung Restnutzungsdauer	18
5.2.5. Sofortmassnahmen	18
5.3. Eingrenzung Sanierungsbereich	18
6. Massnahmenempfehlung	19
6.1. Projektrandbedingungen	19
6.1.1. Betriebliche Randbedingungen	19
6.1.2. Sicherheit	19
6.1.3. Land und Rechte, Verträge, Nachbarrechte	19
6.1.4. Denkmalpflege	19
6.1.5. Weitere Stakeholder	19

6.2.	Variantenprüfung	20
6.2.1.	Anforderungen an Varianten	20
6.2.2.	Mögliche Varianten	20
6.3.	Sanierungsvorschlag	21
6.3.1.	Massnahmenbeschrieb	21
6.3.2.	Bauablauf / Logistik	22
6.3.3.	Intervallvarianten	23
6.3.4.	Kostenschätzung	24
7.	Finanzplanung	24
8.	Weiteres Vorgehen	24
Anhang A	Übersichtspläne	25
Anhang B	Inklinometermessungen	26
Anhang C	Stabilitätsberechnungen	27
Anhang D	Projektpläne	28
Anhang E	Kostenschätzung	29
Anhang F	Fotos	30

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildung 1	Ausschnitt Netzplan SBB	7
Abbildung 2	Ausschnitt Gleisplan	7
Abbildung 3	Auswertung Verschiebungsmessungen B1 - B3 am Kopfpunkt	11
Abbildung 4	Auswertung Verschiebungsmessungen B1 - B3 bei -2.0m unter OK-Terrain	11
Tabelle 1	Geschätzte Bodenkennwerte (Quelle: Auszug aus [7])	14
Tabelle 2	Übersicht mit verworfenen Systemvarianten	20
Tabelle 3	Finanzplanung	24

ZUSAMMENFASSUNG

Im Bereich von km 22.7 bis 23.2 verläuft die Bahnlinie 500 Basel – Olten in einer ausgeprägten Kurve, auf einem 6 - 9 m hohen Damm. Der Damm wurde in den Jahren 1912 - 1914 mit dem Bau des Hauenstein Basistunnels angelegt. Das Dammmaterial ist sehr heterogen und wurde beim Einbau kaum verdichtet.

Anfang der 1990er-Jahre wurde der Damm, aufgrund starker Setzungen, geotechnisch beurteilt und es wurde eine Sanierung der nördlichen Dammböschung mit Injektionen und einer Verdübelung umgesetzt. Mit diesen Massnahmen wurde die innere Dammfestigkeit erhöht.

Mit 3 Inklinometermessstellen werden jedoch weiterhin anhaltende Verschiebungen in der nördlichen Böschung gemessen. Die gemessenen, horizontalen Verschiebungsgeschwindigkeiten liegen im Bereich der Dammkrone zwischen 1 - 4 mm/a.

Aufgrund der anhaltenden Verformungen ist das Bauwerk mittel- bis langfristig den Ansprüchen des heutigen Verkehrsaufkommens nicht mehr gewachsen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden daher die langjährigen Verschiebungsmessungen ausgewertet und ein Sanierungsvorschlag ausgearbeitet.

Als Sanierungsziel wird eine Reduktion der horizontalen Verformung auf maximal 0 - 1 mm/a angestrebt.

Die Objektstudie beschränkt sich auf die nördliche Dammböschung (Kurven-Aussenseite) im Bereich von km 22.7 – 23.2. Von der südlichen Böschung und den angrenzenden Dämmen sind keine resp. weniger ausgeprägte Probleme bekannt.

Aufgrund der Beurteilung werden die gemessenen Verschiebungen hauptsächlich als ein oberflächennahes Böschungskriechen interpretiert, welches auf ungenügende Materialeigenschaften, teilweise zu steile Böschungen sowie die Belastungen zurückgeführt wird. Aufgrund der Kurvenlage ist die Dammaussenseite stärker horizontal belastet (Zentrifugalkraft).

Ein rechnerischer Nachweis der Böschungsstabilität ist – nach heute gültigen Normen (mit Teilsicherheiten) und mit Ansatz der Bahnlast – nicht möglich resp. es resultieren ungenügende Sicherheiten gegen Böschungsbruch. **Für den Stabilitätsnachweis und zur Beschränkung der horizontalen Verschiebungen (Sanierungsziel) sind zusätzliche, rückhaltende Kräfte in der Dammböschung erforderlich.**

Aufgrund der bestehenden Einbauten in der Dammböschung (Injektionslanzen, Verdübelungen) und der Erschütterungs-/Setzungsanfälligkeit des Dammmaterials, ist die Variantenwahl für bautechnische Lösungen beschränkt.

Für die Dammsanierung wird eine verstärkte Bankettsicherung mit Mikropfählen und Bodennägeln vorgeschlagen. Dazu wird entlang der Dammkrone ein Betonriegel von ca. H x B= 1.6 x 0.4 m erstellt, welcher mit Mikropfählen und Bodennägeln ausgesteift wird. Der Kopfriegel sichert das Bankett und trägt die horizontalen Lasten über die Dübel- resp. Ankerelemente in den Damm ab. Aufgrund der örtlichen Verhältnisse wird eine Ausführung mit Mikropfählen vorgesehen.

Die Gesamtkosten für die Dammsanierung werden auf ca. CHF 2.0 Mio., inkl. MwSt. (±30 %) geschätzt.

Als Bestvariante für die Umsetzung wird eine Ausführung im Clustering mit der Fahrbahnsanierung empfohlen. Die für die Fahrbahnsanierung "Oberbauerneuerung Gelterkinden - Tecknau" im Jahr 2018 geplanten Sperrungen von 2 x 21 Tage, 24 Std. können bei der Dammsanierung mit genutzt werden.

1. AUSGANGSLAGE / AUFTRAG / ABGRENZUNG

1.1. Ausgangslage und Grund der Projektauslösung

Im Rahmen der Bauarbeiten des Hauenstein Basistunnels (1912 - 1914) wurde der Bahndamm zwischen Sissach und Gelterkinden mit Ausbruchmaterial aufgeschüttet. Das Material wurde kaum verdichtet und weist nicht die notwendige Festigkeit auf, so dass sich das Bauwerk horizontal verformt und anhaltenden Setzungen unterworfen ist.

Markante Setzungen wurden in den Jahren 1990/91 im Abschnitt von km 22.7 bis km 23.1 beobachtet. In diesem Abschnitt verläuft die Streckenführung auf einem 6 - 9 m hohen Damm, in einer ausgeprägten Kurve. Die Kurvenaussenseite liegt auf der nördlichen Dammseite und war besonders von den Setzungen betroffen.

Aufgrund der Beobachtungen wurde der Damm 1991 geotechnisch untersucht und es wurden diverse Rammsondierungen und Sondierbohrungen ausgeführt, vgl. [1]. Die drei Sondierbohrungen B1 bis B3 wurden zur Überwachung der horizontalen Verschiebungen über die Tiefe zu Inklinometermessstellen ausgebaut.

Aufgrund der geotechnischen Beurteilung des Dammes und der Verschiebungsmessungen wurde in den Jahren 1992 - 1993 eine Dammsanierung umgesetzt. Im Abschnitt von km 22.69 bis 23.04 wurden auf der nördlichen Dammseite (Aussenkurve), zur Erhöhung der inneren Festigkeit des Damms, zahlreiche Injektionslanzen und Dübel (Bodennägel) verbaut. Im Zuge dieser Sanierungsarbeiten kam es zu einem Schadenfall, da mit den Injektionsarbeiten das Schotterbett ausinjiziert wurde. Im Jahr 1993 musste daher der Oberbau im Bereich von km 22.68 - 23.04 erneuert werden.

In den Jahren 2007 - 2009 wurden im betreffenden Abschnitt diverse Bauarbeiten ausgeführt. Entlang der südlichen Dammkrone wurde eine neue Lärmschutzwand erstellt, welche auf Mikropfählen fundiert wurde. Im Bereich von ca. km 22.70 bis 22.81 und km 23.05 bis 23.60 wurde eine Unterbausanierung mit Einbau einer neuen PSS durchgeführt; sowie neue Drainageleitungen erstellt. Im Abschnitt von ca. km 22.81 bis 23.05 wurde lediglich eine Schotterreinigung durchgeführt.

Die Verschiebungen werden seit 1993 mit den 3 Inklinometermessstellen B1 - B3 überwacht. Mit den Bauarbeiten 2007 - 2009 wurde eine kurzzeitige Zunahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten festgestellt.

Die Dammböschung unterliegt anhaltenden Kriechbewegungen und ist mittel- bis langfristig den Ansprüchen des heutigen Verkehrsaufkommens nicht mehr gewachsen.

Mit einer Objektstudie ist daher die Situation zu beurteilen und es sind Sanierungsvarianten auszuarbeiten.

1.2. Grundlagen, Normen, Richtlinien / Weisungen SBB

Bauwerksakten Dammstabilität:

- [1] SBB-Damm nach Böcktener Einschnitt, Dammsetzungsuntersuchung, Dok. 1319, Kiefer & Studer AG, Reinach, 31.01.1992
- [2] SBB-Damm nach Böcktener Einschnitt, Sanierungsmöglichkeiten und Ausführungsantrag, Dok. 1319, Kiefer & Studer AG, Reinach, 19.06.1992
- [3] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, Feststellung der inneren Dammfestigkeit 2009, Dok. 3866 K, Kiefer & Studer AG, Reinach, 26.02.2010
- [4] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, SI – Kontrollmessung 2011, Dok. 3866 L, Kiefer & Studer AG, Reinach, 22.03.2012
- [5] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, SI – Kontrollmessung 2015, Dok. 3866 M, Kiefer & Studer AG, Reinach, 02.09.2015

Weitere Bauwerksakten:

- [6] Sissach-Gelterkinden Gleis 122, km 21.710 – 23.507, Geotechnische Untersuchung Schotterbett und Unterbau, Bericht Nr. 05029, SBB Infrastruktur, Ingenieurbau, 16.09.2005
- [7] Lärmschutzwände Linie 500, Trimbach – Frenkendorf, Geologische Untersuchung Gemeinde Böckten, Dok. Nr. E-5034.1000, Holinger AG, Liestal, 12.10.2005

Pläne:

- [8] Auszug Gleisplan Böckten-Gelterkinden, SBB AG
- [9] Gelterkinden, Übersichtsplan Signalanlagen, Plan Nr.: 2GKD_U018, SBB AG, 01.06.2015
- [10] Sissach – Gelterkinden, Oberbauerneuerung 2008, Entwässerung Gleiskörper, km 22.265 – 22.810, div. Pläne des ausgeführten Werkes, Plan-Nr. 700283 – ff, Jauslin + Stebler Ingenieure AG, 10.12.2010

Normen, Richtlinien und Weisungen:

- [11] Tragwerksnormen des SIA, insbesondere SIA 260; 261; 262; 267; 269 (jew. Aktuelle Ausgabe 2011 - 2014)

Weitere Unterlagen:

- [12] Daten aus dem GeoPortal (GIS) Kanton Basel-Landschaft

1.3. Lage im Netz: Bedeutung, angrenzende und künftige Projekte, geplante Entwicklungen

1.3.1. Übersicht

Das Projektgebiet befindet sich auf der Linie 500, im Streckenabschnitt Gelterkinden – Sissach, km 22.7 bis km 23.2.

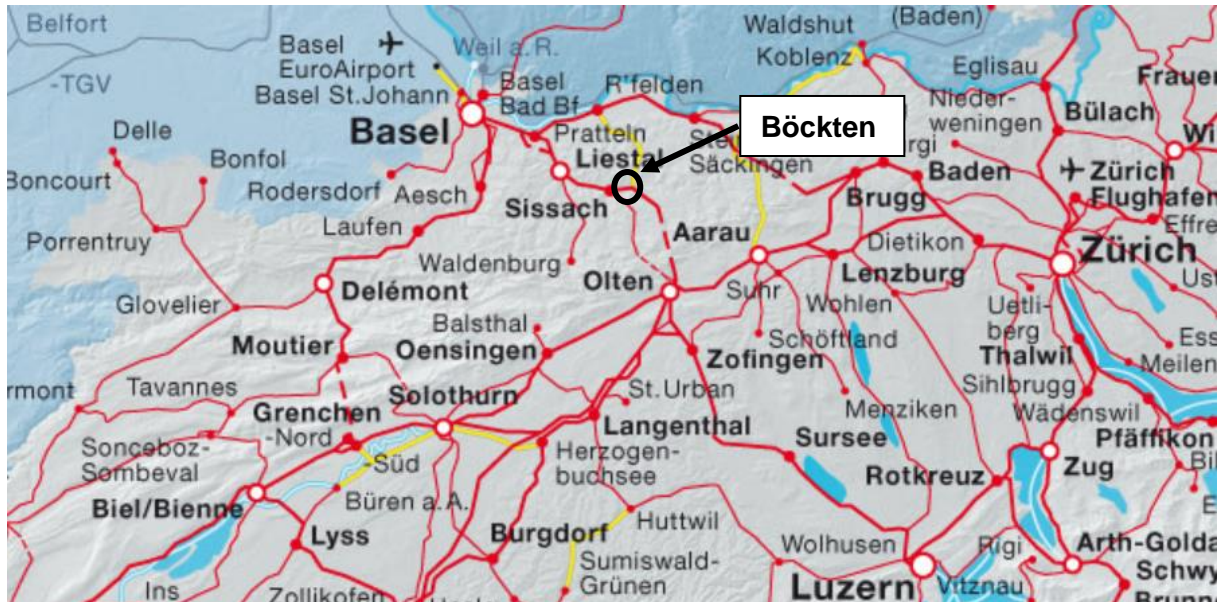


Abbildung 1 Ausschnitt Netzplan SBB

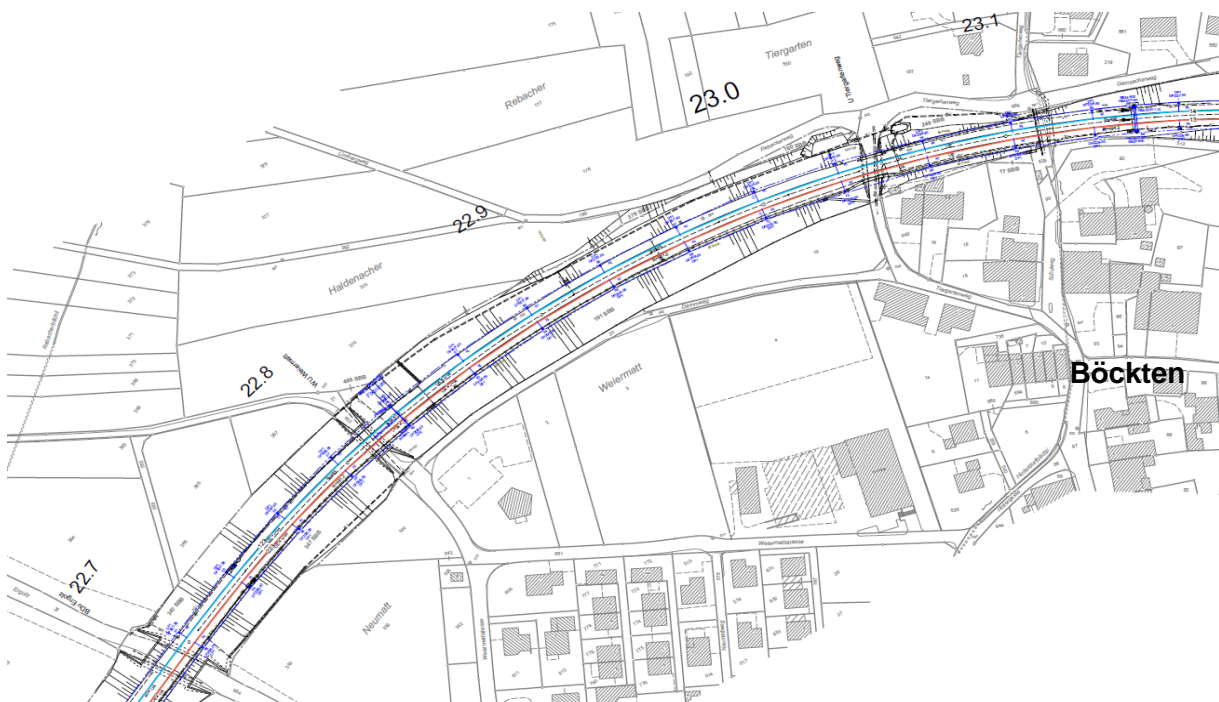


Abbildung 2 Ausschnitt Gleisplan

Die Lage des Untersuchungsgebietes ist auch aus Anhang A1 ersichtlich.

1.3.2. Angebot / Fahrplan

- Streckenklasse: D4
- Ausbaugeschwindigkeit: 100 km/h
- Lichtraumprofil: EBV 3
- Stromabnehmerprofil: S2
- Der Personenverkehr auf der Nord-/Süd-Achse zwischen und Olten und Basel darf partiell ausgedünnt werden, wenn das o.g. Projekt mit der Massnahme «FbE18 Gelterkinden - Tecknau 124-13» kombiniert werden kann.

1.3.3. Rollmaterial

- 400m Fernverkehrszüge Nord - Süd
- 150m Züge S-Bahn (Flirt 2 x 75m)
- 300m RE-Züge
- Güterverkehr: Olten - Muttenz RB und Olten - Basel

1.3.4. Projekte im Umfeld / Substanzerhalt in den Jahren 2017 bis 2018

Im weiteren Projektumfeld sind derzeit folgende Projekte bekannt, welche für die weitere Planung zu berücksichtigen sind. Die gegenseitigen Abhängigkeiten und evtl. Konflikte sind zu klären:

- FbE 17 Pratteln - Frenkendorf Gleis 109
 - FbE17 Pratteln - Frenkendorf Gleis 111
 - FbE17 Tecknau Weiche 4
 - ISP 1139614 IUE13 RME 500 028.019 EB Verankerung Tecknau (Ausführung 2017)
 - FbE18 Frenkendorf - Liestal Gleis 113
 - FbE18 Liestal Gleis 81
 - FbE18 Liestal Gleis 91
 - FbE18 Gelterkinden - Tecknau 124-13
 - FbE18 Gelterkinden - Tecknau 224-14
- Totalsperre Juli 18 zwischen km 25.2 und 27.4
--> nicht im Damm-Bereich

1.4. Ziele und Auftrag / Abgrenzung

1.4.1. Ziele und Auftrag

Mit der Objektstudie sollen gesicherte Grundlagen für die weitere Planung und Projektierung erstellt werden. Insbesondere werden folgende Ziele verfolgt resp. folgende Punkte behandelt werden:

- Sanierungsziel: max. horizontale Verschiebung 0 - 1 mm/a
- Prüfung von Varianten und Empfehlung für die bauliche Sanierung des Damms
- Klärung der Machbarkeit / Grobkonzept für die Umsetzungsphase (Intervalle / Sperrungen), mit Prüfung von Intervallvarianten und Bestvariante
- Aufzeigung Synergien mit anderen Projekten
- Richtkostenschätzung (+/-30%)
- Terminplan / Meilensteine (bis zur Inbetriebnahme)
- Nächste Schritte / offene Fragen

1.4.2. Abgrenzung

Der Studienperimeter umfasst den Abschnitt km 22.7 bis 23.2 der Linie 500 und beschränkt sich auf die **Gleise 122/123** resp. auf die nördliche Dammseite.
Von der südlichen Dammseite sind aktuell keine Probleme bekannt und es liegen keine Setzungs- / Verschiebungsmessungen vor. Auch von den angrenzenden Dammbauwerken sind keine Setzungs- oder Stabilitätsprobleme bekannt.

Die Studie beschränkt sich daher auf die Problematik der horizontalen Verschiebungen der nördlichen Dammböschung.

2. OBJEKTDATEN

Kurzbeschrieb	<p>Der Projektierungsabschnitt (Linie 500, Sissach – Gelterkinden, km 22.7 bis 23.2) liegt zwischen dem Bachdurchlass der Ergolz und der Unterführung Tiergartenweg (Doppelspurausbau).</p> <p>Die Streckenführung verläuft auf einem künstlich geschütteten, 6 - 9 m hohen Damm, mit einer Kronenbreite von ca. 12.5 m. Die Böschungsneigung beträgt ca. 30 - 35°. Der Damm beschreibt eine ausgeprägte Kurve mit einem Radius von ca. 580 m.</p> <p>Mit der Dammsanierung 1992 - 1993 wurden entlang der nördlichen Dammkrone zahlreiche Injektionslanzen (Rohrdübel mit Stahlrohr 2.5" und Abstand von ca. 0.8 m) eingebracht. Zusätzlich wurden, ca. 3 m unterhalb der Dammkrone, Bodennägel (Gewi Ø 40 mm, jeweils ca. alle 5-8 m' 3 Stk. mit einem Abstand von 1.20 m) eingebaut und mit einem Widerlager aus Beton versehen.</p>
Baujahr / Alter	ca. 1914 (Dammschüttung) / ca. 101 Jahre
Zustandsnote aktuell, Datum	Keine Bewertungen vorliegend
Erfolgte Erneuerung / Instandsetzungen	<p>Es sind folgende Massnahmen bekannt:</p> <p>1985 Oberbauerneuerung</p> <p>1992-93 Dammsanierung km 22.69 – 23.04, Nordseite mit Injektionen und Verdübelung</p> <p>1993 Oberbauerneuerung km 22.68 – 23.04 (aufgrund Schadenfall "Injektion Schotterbett")</p> <p>2007-09 km 22.70 bis 22.81 und km 23.05 bis 23.60: Unterbau Sanierung mit Einbau PSS und neuen Drainageleitungen</p> <p>km 22.81 bis 23.05: Schotterreinigung</p> <p>neue Lärmschutzwand auf Südseite (fundiert auf Mikropfählen)</p>
Eigentümer	Schweizerische Bundesbahnen SBB
Unterhaltungspflichtig	Schweizerische Bundesbahnen SBB
Vertrag	Keine Verträge bekannt
Kostenteiler	nein

3. ZUSTANDSERFASSUNG

Die Beurteilung beschränkt sich auf die nördliche Dammseite im Projektabschnitt.

3.1. Visuelle Zustandserfassung im Rahmen der Studie

Die Dammböschung unterliegt Kriechbewegungen. Dies ist u.a. durch loses Material in der Böschung und teilweise durch die Schiefstellung von Bäumen ersichtlich. Zudem sind unterhalb von lokal bestehenden Bankettsicherungen (Bahnschwellen / Ribbert-Platten) Absätze und Hohlräume, durch die kriechende Böschung, vorhanden.

Die bestehenden Verdübelungen mit Gewi-Nägeln unterliegen ebenfalls den Kriechbewegungen der Böschung. Die Kopfplatten (Betonriegel ca. LxBxH = 1.2x0.3x0.25 m) sind teilweise verdreht oder verschoben.

Im Bereich von km 22.75 (Messstelle B1) ist die Böschung im oberen Dammbereich mit bis ca. 37° übersteil und flacht dann gegen unten auf ca. 32° ab. Bei km 22.85 (Messstelle B2) beträgt die Böschungsneigung ca. 30° und bei km 23.03 (Messstelle B3) ca. 35°.

An den Fahrleitungsfundamenten und den Gleisanlagen waren visuell keine Auffälligkeiten, wie ausgeprägte Setzungen, Verschiebungen oder Anzeichen für Instabilitäten, erkennbar.

3.2. Verschiebungsmessungen

3.2.1. Allgemeine Bemerkungen

Für die Beurteilung liegen nur die messtechnischen Daten der Inklinometermessstellen B1 bis B3 aus den Jahren 1994 - 2015 vor. Von den bestehenden Bauwerken im Sanierungsabschnitt (Fahrleitungsmasten, Gleisanlage, etc.) liegen keine weiteren Messdaten oder Angaben zu aktuellen Problemen vor.

Die Auswertung und Beurteilung beschränkt sich damit auf die horizontalen Verschiebungsmessungen der Inklinometer B1 bis B3.

3.2.2. Auswertung der Inklinometermessungen

Die Messstellen B1 bis B3 befinden sich an der äusseren Böschungskante auf der nördlichen Dammseite, zwischen km 22.70 - km 23.03.

Die graphische Auswertung der Inklinometermessungen ist in Anhang B dargestellt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die horizontalen Verschiebungen senkrecht zur Gleisachse, für den Zeitraum von 1994¹ - 2015, ausgewertet.

Es wurden jeweils die Verschiebungen am Kopfpunkt der Messstelle (= ca. Böschungsoberkante) und die Verschiebungen in einer Tiefe von -2.0 m dargestellt.

¹ Vergleichsmessung nach der Dammsanierung von 1992-1993.

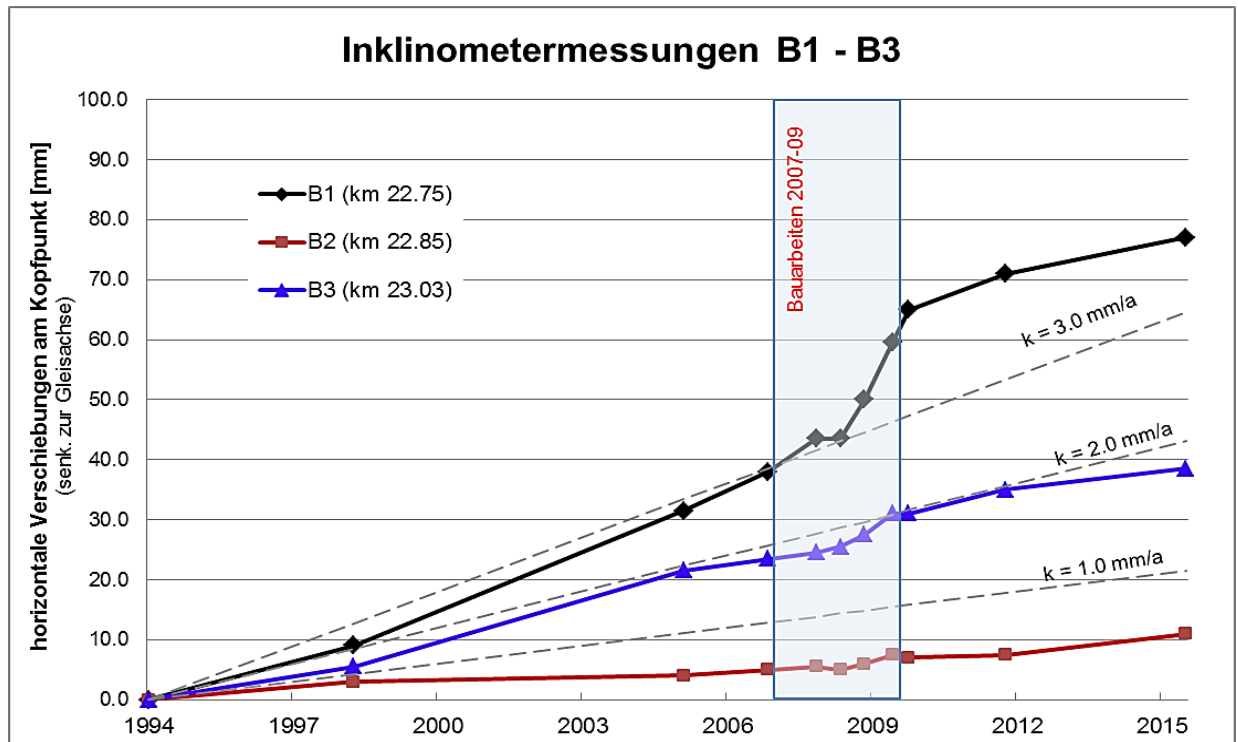


Abbildung 3 Auswertung Verschiebungsmessungen B1 - B3 am Kopfpunkt

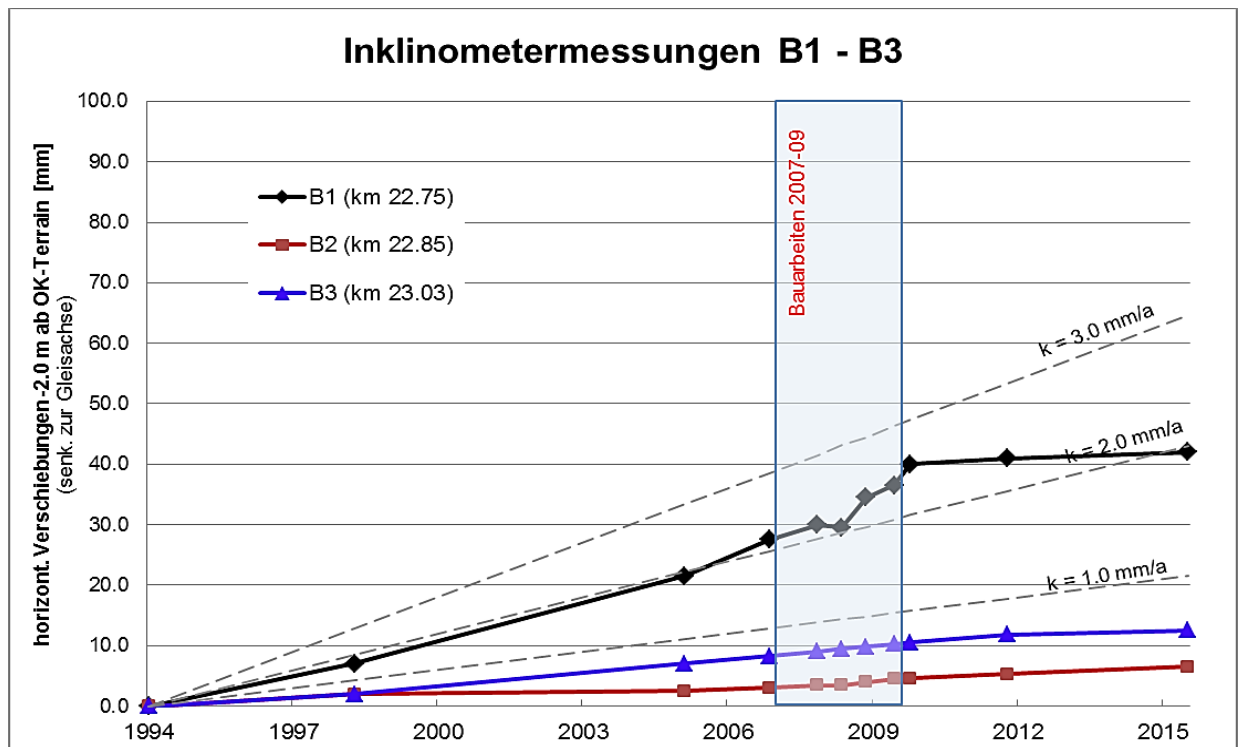


Abbildung 4 Auswertung Verschiebungsmessungen B1 - B3 bei -2.0m unter OK-Terrain

Bei allen drei Messstellen wurden während den Bauarbeiten 2007 - 2009 wesentlich höhere Verschiebungsgeschwindigkeiten festgestellt. Nach dem Baueingriff zeichnet sich wieder die Verschiebungsrate der Vorperioden ab. Einzig bei der Messstelle B1 ist eine tendenzielle Abnahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten erkennbar.

Messstelle B1

Die Messstelle B1 liegt an der nördlichen Böschungskante bei ca. km 22.75 und ist repräsentativ für den Abschnitt von km 22.70 - 22.82.

Im Zeitraum von 1994 - 2015 wurden am Kopfpunkt der Messstelle Verschiebungen senkrecht zur Gleisachse von total ca. 78 mm gemessen. Das Bewegungsmass schwankt langjährig im Bereich von ca. 3 mm/a. In der letzten Messperiode 2011 - 2015 war das Bewegungsmass etwas tiefer und lag bei ca. 1.6 mm/a.

In einer Tiefe von 2.0 m ab Böschungsoberkante betragen die total gemessenen Verschiebungen noch ca. 42 mm. Vor 2008 lag das Bewegungsmass bei ca. 2 mm/a und liegt nun aktuell bei ca. 0.3 mm/a.

Die Bewegungen laufen bis in eine Tiefe von ca. 9 m ab OK-Terrain, was in etwa dem Dammfuss entspricht. Im Verschiebungsbild (vgl. Anhang B1) ist bei ca. 5.5 m unter OK-Terrain ein Knick / Bewegungshorizont vorhanden, ab dieser Tiefe sind nur noch geringe Verschiebungen vorhanden. Der Knick liegt in etwa im Bereich der bestehenden Verdübelung der Böschung (GewiNagel).

Messstelle B2

Die Messstelle B2 liegt an der nördlichen Böschungskante bei ca. km 22.85 und ist repräsentativ für den Abschnitt von km 22.82 - 22.92.

Seit 1994 wurden totale Kopfverschiebungen von ca. 11.3 mm und ein durchschnittliches Bewegungsmass zwischen 0.5 - 1.0 mm/a gemessen. In 2 m Tiefe betragen die Verschiebungen 6.5 mm, bei einer Bewegungsrate zwischen 0.3 - 0.5 mm/a.

Die Messstelle zeigt geringe Bewegungen bis in eine Tiefe von ca. 6 - 8 m ab OK-Terrain, was in etwa der Unterkante der Dammschüttung entspricht. Senkrecht zur Gleisachse ist ein leichter Bewegungshorizont bei ca. -5.0 m erkennbar.

Messstelle B3

Die Messstelle B3 liegt an der nördlichen Böschungskante bei ca. km 23.03 und ist repräsentativ für den Abschnitt von km 22.92 - 23.04. Die Messstelle liegt unmittelbar hinter einer ca. 80 cm hohen, senkrechten Bankettsicherung aus Bahnschwellen.

Die totalen Verschiebungen am Kopfpunkt betragen ca. 39.5 mm und das Bewegungsmass liegt im Bereich von 1 - 2 mm/a. Bei -2.0 m unter OK-Terrain betragen die Verschiebungen seit 1994 ca. 12.5 mm, bei einer Bewegungsrate um 0.7 mm/a resp. aktuell um 0.2 mm/a. Senkrecht zur Gleisachse zeichnet sich ein ausgeprägter Bewegungshorizont bei ca. -3.0 m ab OK-Terrain ab.

3.2.3. Interpretation

Die Inklinometermessstellen liegen an der äusseren Böschungskante. Die grössten Verschiebungen werden im obersten Meter gemessen, anschliessend nehmen die Verschiebungsgeschwindigkeiten stark ab.

Die Verschiebungsraten der Messstellen sind relativ konstant, was auf anhaltende Kriechbewegungen hinweist. In wie fern die Verschiebungsmessungen noch durch Setzungen beeinflusst werden, lässt sich schwer beurteilen. Da aber Bewegungen bis an den Dammfuss gemessen werden, ist eine Beeinflussung durch Setzungen zu erwarten. Die wesentlichen Verschiebungen an der Böschungsoberkante führen wir jedoch hauptsächlich auf ein Böschungskriechen zurück.

Die Zunahme der Verschiebungen in den Jahren 2007 - 2009 ist durch die Bautätigkeit beeinflusst. Es ist denkbar, dass die Verschiebungszunahme durch Erschütterungen oder eine erhöhte Belastung der Böschungskante hervorgerufen wurde.

Bei den Messstellen B2 und B3 liegen die Verschiebungsraten nach Abschluss der Bauarbeiten 2009 in etwa auf gleichem Niveau wie in der Vorperiode.

Bei der Messstelle B1 ist bis dato eine deutliche Abnahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten zu erkennen. In diesem Bereich wurde eine Oberbauerneuerung bis ca. 1.2 m unter SOK gemacht. Zudem wurde entlang der Böschungskante eine neue Entwässerungsleitung bis ca. 1.4 m unter OK-Terrain erstellt und das Bankett erneuert. Wir gehen davon aus, dass mit diesen Massnahmen die Dammoberkante befestigt wurde und die Messstelle im oberen Bereich entlastet wird, was sich hier durch eine Abnahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten äussert. Da die Verschiebungen bis in etwa 6 m Tiefe auf tiefem Niveau weiterlaufen, wird der Einfluss der neuen Entwässerung (Entwässerung Damm) als weniger massgebend beurteilt.

3.3. Untersuchungen zum Baugrund / Geologie, Grundwasserspiegel

3.3.1. Geologische Situation

Die Bahnlinie verläuft in E-W-Richtung dem Talverlauf des Ergolztals folgend und liegt im Projektabschnitt am Hangfuss des Chienbergs.

Der **Felsuntergrund** wird durch die mergelig-tonigen Schichten des Keupers gebildet. Die Felsoberfläche wird bei ca. 370 - 380 m ü.M., gegen den Hang ansteigend, erwartet.

Die Ergolz hat sich in diesen Felsuntergrund eingeschnitten und im Talgrund siltig-tonige **Talauenschotter** abgelagert. An den Talhängen ist, durch Verwitterung und Umlagerungen, eine mehrere Meter mächtige Gehängelehm- / Gehängeschuttschicht entstanden.

Als Deckschicht ist im Tal eine ca. 2.5 m mächtige **Schwemmlehmschicht** vorhanden. Es handelt sich vorwiegend um tonige Silte, mit variablen Anteilen von Kies und Sand.

In geologisch jüngster Zeit wurde mit dem Bahnbau eine **Dammschüttung** erstellt. Die Dammschüttung erfolgte in Zusammenhang mit dem Bau des Hauenstein Basistunnels, ca. in den Jahren 1912 - 1914. Im Projektabschnitt wurde die Dammschüttung im unteren Teil vermutlich aus lokal umgelagertem Material vom Geländeeinschnitt Böckten (ab km 23.2) aufgebaut und dann mit Ausbruchmaterial vom Tunnelbau überschüttet. Das Dammmaterial ist entsprechend heterogen zusammengesetzt und wurde erfahrungsgemäss kaum verdichtet. Gemäss [1] sind an der Dammbasis vorwiegend weichplastische, siltig-tonige Talauenablagerungen mit einer Mächtigkeit von 2.0 - 3.5 m vorhanden. Darüber wurde Tunnelausbruchmaterial verschiedener Ausbildungen geschüttet. Es handelt sich dabei hauptsächlich um weichplastische, tonige Silte, z.T. mit kiesigen Einlagen. Im südlichen Bereich (km 22.75) wurden zudem in einer Mächtigkeit von ca. 3.1 m steinige und blockige Kalke des Unteren Doggers, mit siltig-tonigen Einlagen aufgeschlossen.

Die Lagerungsdichte der Schüttung ist variabel, generell jedoch eher locker, mit mitteldichten bis dichten Lagerungen im mittleren Dammbereich. Auf der nördlichen Dammseite wurde die innere Festigkeit des Dammes in den Jahren 1992/93 mit Zementinjektionen erhöht.

3.3.2. Grundwasserverhältnisse

Der Projektperimeter liegt im **Gewässerschutzbereich Au**, d.h. es ist im Untergrund nutzbares Grundwasser vorhanden oder das Gebiet gehört zu dessen Schutzbereich. In den kommenden Projektphasen muss die Bautechnologie auf die Anforderung des Gewässerschutzes angepasst werden.

Von km 22.81 Richtung Sissach verläuft die Bahnlinie in der **Grundwasserschutzzone S3** der regionalen Trinkwasserfassung "Wühre" der Gemeinden Sissach, Böckten und Thürnen. Die Pumpwerke 52.A.2 - 4 befinden sich ca. 150 m nordwestlich der Bahnlinie bei km 22.60, vgl. Anhang A2.

Im Bereich der Weiermattstrasse (südlich km 22.8) befindet sich das Pumpwerk 52.A.1 "Weiermatt". Das Pumpwerk ist eine kantonale Grundwassermessstelle. Die Grundwasserspiegelschwankungen lagen hier zwischen 2003 - 2014 im Bereich von 376.53 - 380.56 (± 4.0 m). Der Mittel-Wasserspiegel liegt bei ca. 378.2 m ü.M.

Gemäss der Grundwasserkarte aus dem GIS BL [12] verläuft der Grundwasserstrom von Osten nach Westen, dem Tal entlang. Im Bereich von km 22.7 liegt der mittlere Grundwasserspiegel, gemäss Grundwassermodell (Anhang A3), bei ca. 377.0 m ü.M. Die Bahnlinie verläuft von km 22.8 - 23.2 am Hangfuss und liegt im Randbereich des Grundwasservorkommens.

In den Sondierbohrungen von 1991 [1] sind folgende Grundwasserstände dokumentiert:

Sondierbohrung B1 (km 22.75): -13.9 m ab OK-Damm (ca. 376.8 m ü.M.)
 Sondierbohrung B2 (km 22.85): -12.2 m ab OK-Damm (ca. 379.8 m ü.M.)
 Sondierbohrung B3 (km 23.03): -12.4 m ab OK-Damm (ca. 381.2 m ü.M.)

Bei ca. km 23.15 unterquert das eingedolte "Hinterdorf Bächli" die Bahnlinie von Norden nach Süden.

3.3.3. Geotechnische Kennwerte

Als Richtwerte für die Bodenkennwerte der einzelnen Schichten werden informativ die für die Bauarbeiten 2007/2009 definierten Kennwerte aus [7] übernommen:

Schicht	Material USCS	γ [kN/m ³]	Φ' [°]	c' [kN/m ²]	M_{E1} [MN/m ²]	M_{E2} [MN/m ²]
A Dammschüttung	CL, GC, GP	20 18-22	28 25-32	0 0-5	20 10-40	60
B Deckschicht (unter Damm)	CL	20 19-21	25 20-28	0 0-5	4 2-5	50
C Rutschmasse / Gehängeschutt	GC, GP, CL	21 19-22	32 25-38	0 0-5	50 40-60	150
D Niederterrassenschotter	GC-GP	21 20-22	37 34-38	0 0-5	60 60-80	180
E Keuper	Fels	24 24	28 26-30	30 20-50	100 >100	400

Legende:	fett geschätzter Erwartungswert	Φ' innerer Reibungswinkel
()	geschätzte Extremwerte	c' effektive Kohäsion
		M_{E1} Zusammendrücksbeiwert Erstbelastung
γ	Feuchtraumgewicht	M_{E2} Zusammendrücksbeiwert Zweitbelastung

Tabelle 1 Geschätzte Bodenkennwerte (Quelle: Auszug aus [7])

Da für die Beurteilung der Damm-/ Böschungsstabilität hauptsächlich die Scherparameter (Reibungswinkel / Kohäsion) des Dammmaterials massgebende sind. Werden diese Werte mit einer Rückrechnung genauer bestimmt.

3.4. Bahntechnische Untersuchungen

Gemäss [6] betrug die Unterhaltsintensität im Zeitraum 89/95 bis 2004 im Projektabschnitt 0.2 Stopfungen pro Jahr und war somit als normal einzustufen.

Aktuelle Angaben zum Unterhalt weist keine signifikanten Unterschiede der Intensität zwischen den beiden Gleisen und zwischen benachbarten Abschnitten auf. Die Strecke wird aufgrund der hohen verkehrszahlen rund alle 1-2 Jahre gestopft.

4. TRAGWERKSANALYSE UND NACHWEISE

4.1. Berechnungsmethode / Grundlagen

Aufgrund der Beurteilung der Inklinometermessungen (Kap. 3.2) liegt im Böschungsbereich des Damms vorwiegend ein Kriechverhalten vor. Die Inklinometer zeigen mehr oder minder ausgeprägte Verschiebungshorizonte in unterschiedlichen Tiefen.

Für die Beurteilung der Dammsstabilität und die Dimensionierung von Sicherungsmassnahmen wird daher eine Stabilitätsberechnung nach der Methode Janbu durchgeführt. Dazu wird anhand definierter Gleitkreise die Stabilität gegen Böschungsbruch (Grenzzustand Typ 3, nach SIA 260) überprüft. Die Gleitkreise werden im Böschungsbereich, unter Berücksichtigung der Inklinometermessungen, definiert.

Mit den Gleitkreisberechnungen werden die Einwirkungen E_d den Widerstände R_d gegenübergestellt. Mit Berücksichtigung der Teilsicherheiten nach geltenden SIA-Normen ist die Böschungsstabilität gewährleistet, wenn die Sicherheit $F = R_d / E_d \geq 1.0$ ist.

Die Bahnlasten wurden nach SIA 269/1 für die Streckenklasse D4, mit einem Zuschlag von 10% für Achslastüberschreitungen, abgeschätzt. Es wurde eine Linienlast von $q_k = 103 \text{ kN/m'}$, mit einer zugehörigen Zentrifugalkraft von $q_{z,k} = 17.5 \text{ kN/m'}$ (mit: Ausbaugeswindigkeit $V_A = 100 \text{ km/h}$; Radius: $r = \sim 580 \text{ m}$) ermittelt. Die Last wird verteilt auf eine Breite von 3.0 m unter der Schiene angesetzt. Durch die Zentrifugalkraft resultiert eine um ca. 9.6° nach aussen gerichtete, verteilte charakteristische Flächenlast von $q_{rk} = 34.9 \text{ kN/m}^2$.

4.2. Rückrechnung der Bodenkennwerte

Die Böschungsstabilität ist massgeblich von den angesetzten Scherparametern abhängig. Mit einer Rückrechnung der aktuellen Stabilitätsverhältnisse können die vorhanden, gemittelten Bodenkennwerte abgeschätzt werden. Es wurde eine Rückrechnung an den Querprofilen 1 und 3 durchgeführt, vgl. Anhang C.

Da die Böschung Kriechbewegungen unterliegt wurde die Rückrechnung unter der Annahme eines knapp labilen Gleichgewichts vorgenommen. Dazu wurde die vorhandene Sicherheit gegen Böschungsbruch im Bereich von $F = 1.05$ angesetzt und mit einer Parameterstudie die dazu passenden Bodenkennwerte (Reibungswinkel und Kohäsion) ermittelt. Es wurde dazu mit charakteristischen Werten für die Bodenkennwerte und Einwirkungen gerechnet.

Bei der Rückrechnung wurden die bestehenden Sicherungselementen (Injektionslanzen, Dübel) nicht berücksichtigt, resp. diese sind in den Berechnungen und den ermittelten Kennwerten implizit enthalten.

Die Parameterstudie ist in Anhang C dargestellt.

Aus der Rückrechnung wurden folgende Bodenkennwerte für die Dammschüttung gewählt:

Bodenmechanische Kennwerte (charakteristische Bodenkennwerte)			
Feuchtraumgewicht	γ	=	19.0 kN/m ³
Scherparameter			
Innerer Reibungswinkel	φ'	=	26 °
Kohäsion	c'	=	2 - 3 kN/m ²

4.3. Rechnerische Beurteilung der Dammstabilität

Mit den aus der Rückrechnung ermittelten Bodenkennwerten wurde die Böschungsstabilität auf Dimensionierungsniveau (mit Berücksichtigung der Teilsicherheiten und Partialfaktoren nach SIA 260.ff) an den Querprofilen 1 und 3 berechnet. Für den rechnerischen Nachweis ist die Stabilität gewährleistet, wenn die Sicherheit $F = R_d / E_d \geq 1.0$ erfüllt ist.

Für die Einwirkungen wurde die ermittelte Achslast nach SIA 269/1 (vgl. Kap. 4.1) für den Grenzzustand Typ 3 (Böschungsbruch) mit dem Lastbeiwert nach SIA 260 ($\gamma_M = 1.25$) erhöht. Der Beiwert α nach SIA 261 für die Klassifizierung der Normalastmodelle wurde mit $\alpha = 1.0$ angesetzt resp. für die Berechnung nach SIA 269 nicht berücksichtigt (bestehende Böschung).

Aus den Stabilitätsberechnungen ergaben sich für die betrachteten Gleitflächen folgende Ergebnisse (Berechnungen auf Design-Niveau):

Querprofil 1 (km 22.75)

Lastfall	Sicherheit F	erf. Gegenkraft H_d für $F = 1.00$
ohne Auflast	0.98	- - -
mit Bahnlast	0.85	90 kN/m'

Querprofil 3 (km 23.03)

Lastfall	Sicherheit F	erf. Gegenkraft H_d für $F = 1.00$
ohne Auflast	1.02	- - -
mit Bahnlast	0.83	30 kN/m'

Durch die, um die Teilsicherheiten und Partialfaktoren, erhöhten Einwirkungen resp. reduzierten Bodenkennwerte, resultieren rechnerisch für die Böschungsstabilität ungenügende Sicherheiten. Mit Berücksichtigung der Bahnlast nehmen die Sicherheiten um ca. 13 - 18% ab.

Um die Böschungsstabilität auf Dimensionierungsniveau sicherzustellen ist eine horizontale Stützkraft H erforderlich.

Für den Abschnitt von km 27.0 bis km 22.81 (Querprofil 1) beträgt die ermittelte Kraft $H_d = 90 \text{ kN/m'}$ und für den Abschnitt km 22.81 bis 23.04 (Querprofil 3) $H_d = 30 \text{ kN/m'}$. Die relativ grossen Unterschiede sind auf die Böschungsgeometrie und die Tiefenlage der, aus den Inklinometermessungen abgeleiteten, potentiellen Gleitflächen zurückzuführen.

5. ZUSTANDSBEURTEILUNG

5.1. Allgemeine Einschätzung

Mit den ausgeführten Sanierungsmassnahmen in den Jahren 1992/93 konnte die innere Festigkeit des Dammes erhöht werden (vgl. [3]). Die vorhandenen Sicherungselemente und Einbauten haben die Dammstabilität vermutlich etwas verbessert. Die horizontalen Verschiebungen der Böschung auf der nördlichen Dammseite laufen jedoch bis dato weiter.

Die horizontalen Verschiebungen werden hauptsächlich auf ein Böschungskriechen, aufgrund der Böschungsneigung und der heterogenen und schlechten Materialeigenschaften der Dammschüttung zurückgeführt. Besonders im Bereich von Querprofil 1 (km 22.75) ist die Böschung im oberen Bereich mit ca. 37° übersteil, weshalb hier auch die stärksten Verformungen gemessen werden. Im Vergleich dazu werden bei Querprofil 2, mit einer Böschungsneigung um 30 - 32 ° wesentlich geringere Verschiebungen gemessen.

Einen weiteren Einflussfaktor stellen die Bahnlasten und insbesondere die nach aussen wirkende Zentrifugalkraft dar. Aufgrund der Kurvenlage wird die nördliche Dammböschung stärker belastet. Nach unserer Einschätzung wirkt sich dies über die Tiefe aus und zeichnet sich in den, für die Stabilitätsbeurteilung, abgeleiteten Gleitflächen ab.

Mit den Inklinometermessungen konnte auch festgestellt werden, dass der Damm empfindlich auf bauliche Eingriffe reagiert. Dies hat sich bei den Bauarbeiten 2007 - 2009 durch eine Zunahme der Verschiebungsgeschwindigkeiten geäussert.

5.2. Fazit Zustandsüberprüfung, Beurteilung Gesamtzustand

5.2.1. Beurteilung des baulichen Zustands

Der bauliche Zustand der Gleisanlage kann als gut bezeichnet werden, da in den Jahren 2007 - 2009 umfassende Instandhaltungsmassnahmen umgesetzt wurden. Es liegen ausser der Verschiebungsproblematik keine Angaben zu Mängeln oder Problemen vor.

Die nördliche Dammböschung unterliegt anhaltenden Kriechbewegungen. Diese wirken sich primär im Bankettbereich aus (Absackungen bei Bankettsicherungen; Setzungen) haben aber auch Einfluss auf das nördliche Gleis und die Dammstabilität.

5.2.2. Beurteilung der Tragsicherheit

Aufgrund der anhaltenden Kriechbewegungen befindet sich die nördliche Dammböschung in einem labilen Gleichgewicht. Bei einer Stabilitätsberechnung nach gültiger Norm resultieren, unter Berücksichtigung der Bahnlast, ungenügende Sicherheiten gegen Böschungsbruch. Für den rechnerischen Nachweis der Böschungsstabilität sind **rückhaltende Kräfte von $H_d = 30$ bis 90 kN/m'** erforderlich.

Die Dammstabilität ist somit langfristig rechnerisch nicht gewährleistet.

5.2.3. Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit

Bei den aktuellen Kriechmassen von ca. 2 - 3 mm/a ist vor allem im Bankettbereich mit anhaltenden Verschiebungen zu rechnen, welche sich auch auf die Gleisanlage auswirken. Bis in 20 Jahren wäre derzeit mit zusätzlichen Verschiebungen von ca. 4 - 6 cm zu rechnen. Ein plötzliches Versagen der Böschung wird nicht erwartet. Allerdings sind durch äussere Einflüsse (z.B. Belastung, Erschütterungen durch Bauarbeiten) temporär verstärkte Verformungen zu erwarten.

Die Gebrauchstauglichkeit der Anlage ist aktuell gewährleistet. Mit zunehmenden Verformungen können sich die Probleme jedoch akzentuieren. **Ohne Massnahmen ist die Anlage daher mittel-/langfristig den Ansprüchen des heutigen Verkehrsaufkommens nicht mehr gewachsen.**

5.2.4. Beurteilung Restnutzungsdauer

Die Dammschüttung ist rund 100-jährig, dennoch ist der Konsolidationsprozess aufgrund der schlechten Materialeigenschaften und der geringen Verdichtung beim Einbau noch nicht abgeschlossen. Dabei haben auch die stetig zunehmenden Bahnlasten einen Einfluss. Der Damm ist jedoch grundsätzlich, mit entsprechendem Unterhalt (z.B. Gleisstopfungen), noch lange nutzbar.

Den bestehenden Sicherungselementen in der Böschung (Verdübelung mit Gewi Ø40 mm; Injektionslanzen) aus den Jahren 1992/93 wird eine Nutzungsdauer von ca. 40 - 60 Jahren zu gewiesen. Diese Elemente wirken sich zwar stabilisierend auf die Böschungsstabilität aus und tragen dazu bei, dass die aktuell gemessenen Verschiebungen relativ konstant und auf verhältnismässig tiefem Niveau sind. Die Kopfplatten der Verdübelungen unterliegen jedoch den Kriechbewegungen und sind teilweise bereits verdreht. Diesen Elementen wird daher eine Restnutzungsdauer von ca. 20 - 30 Jahren zugewiesen. Spätestens zu diesem Zeitpunkt wären also voraussichtlich zusätzliche Sicherungsmassnahmen erforderlich.

5.2.5. Sofortmassnahmen

Das Kriechverhalten der Böschung ist relativ konstant und es ist keine Gefahrensituation absehbar. Es sind daher derzeit keine baulichen Sofortmassnahmen erforderlich.

5.3. Eingrenzung Sanierungsbereich

Aufgrund der Zustandsbeurteilung und der bestehenden Situation kann der Sanierungsbereich auf ca. km 22.70 (Bachdurchlass Ergolz) bis ca. km 23.04 (Unterführung Tiergartenweg) eingegrenzt werden (=> **Länge Sanierungsabschnitt: 340 m'**).

Im weiteren Abschnitt km 23.04 - 23.2 wurde in den Jahren 2007/09 eine auf Grossbohrpfählen fundierte Lärmschutzwand erstellt, welche bereits eine Bankettsicherung darstellt. Zudem läuft der Damm gegen km 23.1 aus und geht in einen Geländeeinschnitt über.

Aufgrund der Dammgeometrie und den Verschiebungsmessungen werden folgende Abschnitte unterschieden:

Abschnitt 1: km 22.7 bis km 22.81

Massgebend ist das Querprofil 1 (Süd B1) bei km 22.75; Dammhöhe bis ca. 9.0 m.

Für die Dammstabilisierung ist eine rückhaltende Kraft von $H_d = 90 \text{ kN/m'}$ erforderlich.

Abschnitt 2: km 22.81 bis km 23.04

Massgebend ist das Querprofil 3 (Nord B3) bei km 23.03; Dammhöhe bis ca. 6.0-8.0 m.

Für die Dammstabilisierung ist eine rückhaltende Kraft von $H_d = 30 \text{ kN/m'}$ erforderlich.

6. MASSNAHMENEMPFEHLUNG

6.1. Projekttrandbedingungen

6.1.1. Betriebliche Randbedingungen

Die Dammsanierung Böckten soll voraussichtlich im Jahr 2018, in Zusammenhang mit dem Projekt "Oberbauerneuerung Gelterkinden - Tecknau, Gleis 100 ab km 25.80, Richtung Olten" (Realisierung Tiefbau 2017, Oberbau 2018) erfolgen. Für dieses Projekt sind Totalsperrungen von 2 x 21 Tage à 24 Std. vorgesehen.

Für die Dammsanierung Böckten 2018 sind folgende Varianten zu prüfen:

- Variante 1: 2 x 21 Tage 24 Std. Sperrung
- Variante 2: Nachtsperre 8 Std. à 40 Schichten
- Variante 3: Langsamfahrstelle oder Temporeduktion 80 km/h unter Betrieb, Bauen seitlich ausserhalb des Gleises

Bei den Variante 1 soll die Möglichkeit gegeben sein, Arbeitszüge passieren zu lassen. Bei der Variante 3 sind die Setzungserwartungen durch den Bau anzugeben um die Temporeduktion zu bestimmen.

6.1.2. Sicherheit

Die Projektierung und Bauausführung hat unter den geltenden Sicherheitsanforderungen der SBB, insbesondere bezgl. den minimal Abständen zu Gleisanlagen und Stromleitungen zu erfolgen.

Bei einer Ausführung unter Betrieb ist die Setzungsproblematik zu beachten.

6.1.3. Land und Rechte, Verträge, Nachbarrechte

Der Bahndamm (Parzellen 191, 249, 347) ist im Eigentum der Schweizerische Bundesbahnen SBB.

Werden für Bauarbeiten angrenzende Grundstücke beansprucht sind die entsprechenden Grundeigentümer zu berücksichtigen.

6.1.4. Denkmalpflege

Keine Randbedingungen bekannt.

6.1.5. Weitere Stakeholder

Gewässer- / Grundwasserschutz

Der Bahndamm liegt im östlichen Bereich am Rand des **Gewässerschutzbereich Au** und im westlichen Bereich in einer **Grundwasserschutzzone S3**. Einbauten in die gesättigte Zone sind möglichst zu vermeiden, resp. die Zulässigkeit und eine entsprechende Ausnahmegewilligung wären mit den zuständigen Behörden zu klären.

Für die Bauarbeiten innerhalb der Schutzzone S3 ist eine Bewilligung erforderlich und es sind entsprechende Massnahmen zum Schutz des Grundwassers umzusetzen.

Wald

Die nördliche Dammböschung ist bewaldet / bestockt. Gemäss Waldkarte [12] ist die Fläche jedoch nicht als Wald ausgeschieden, weshalb keine Rodungsbewilligung erforderlich ist. Für Rodungsarbeiten sind die Vogel-Brutzeiten zu berücksichtigen.

6.2. Variantenprüfung

6.2.1. Anforderungen an Varianten

Gemäss Studienauftrag sind bauliche Massnahmen für die Stabilisierung der nördlichen Dammböschung auszuarbeiten. Als Sanierungsziel wurde eine Beschränkung der horizontalen Verschiebungen auf max. 0 - 1 mm/a festgelegt.

Die Ausarbeitung von Varianten muss, nebst der Zielerfüllung, die betrieblichen Randbedingung, die bestehenden Einbauten sowie die Anfälligkeit des Dammes auf Baueingriffe berücksichtigen.

Für Reduktion der Verschiebungen sind Sicherungselemente im Dammkronenbereich erforderlich, welche sowohl in horizontaler wie auch in vertikaler Richtung (aufgrund der Setzungen) ausgesteift sind. Die Sicherungselemente müssen die erforderlichen, stabilisierenden Kräfte von $H_d = 30 - 90 \text{ kN/m'}$ hinter den "Bruchlinien" im Damm abtragen können.

6.2.2. Mögliche Varianten

Für die Prüfung von Sanierungsmassnahmen wurden diverse Bausystem geprüft. Aufgrund der vorhanden Randbedingungen und insbesondere der bestehenden Einbauten müssen jedoch die meisten Systeme zum vornherein ausgeschlossen werden.

In der nördlichen Dammböschung sind zahlreiche Injektionslanzen (mit Stahlrohr 2.5") sowie Gewi-Nägel Ø40 mm vorhanden, deren Platzierung und Länge nicht bekannt sind. Unter anderem aufgrund dieser Einbauten werden folgende System als ungeeignet erwartet:

System	Problematik / Ausschlusskriterium
Spundwand	> Einrammen wegen best. Einbauten nicht möglich > Erschütterungen können Setzungen verursachen
Grossbohrpfähle	> Verrohrte Bohrung wegen best. Einbauten nicht möglich, resp. es ist mit starken Behinderungen zu rechnen
Greiferaushub (Betonsporen):	> Aushub durch best. Einbauten nicht möglich, resp. es ist mit starken Behinderungen zu rechnen > Tiefe Schlitze sind in dem heterogenen, lockeren Material voraussichtlich nicht standfest.

Tabelle 2 Übersicht mit verworfenen Systemvarianten

Aufgrund der Prüfung verbleibt als einzige, zielführende und umsetzbare Lösung eine **Böschungsvernagelung mit Mikropfählen / Bodennägeln und einer verstärkten Bankettsicherung**. Die Mikropfähle / Nägel sind flexibel platzierbar. Der bauliche Eingriff in den Damm ist verhältnismässig gering und schonend. Die Lösungsvariante wird nachfolgend näher beschrieben.

Eine Nullvariante wird nicht geprüft, da mit dieser das Sanierungsziel nicht erreicht werden kann. Ohne Massnahmen laufen die horizontalen Verschiebungen weiter.

6.3. Sanierungsvorschlag

6.3.1. Massnahmenbeschrieb

Für die Dammsanierung wird eine **verstärkte Bankettsicherung mit vertikalen Mikropfählen und schrägen Bodennägeln** vorgeschlagen. Der Sanierungsvorschlag ist in Anhang D dargestellt.

Die Massnahmen werden nachfolgend beschrieben:

- Für die Sicherung der Gleisanlage wird eine verankerte Bankettsicherung im Bereich der Dammoberkante vorgesehen. **Die Sicherung wirkt als rückhaltendes Element den Kriechbewegungen und den horizontalen Kräften aus dem Bahnbetrieb entgegen.**
- Die Gleitflächen durch den Damm werden mit **Mikropfählen** resp. **Bodennägeln** vernagelt und die Kräfte in den Damm abgetragen. Die vertikalen Mikropfähle wirken als Dübelelemente und steifen das System vertikal aus. Die um ca. 15 - 25° geneigten, ungespannten Bodennägel tragen den Hauptteil der horizontalen Kräfte in den Damm ab.

Abschnitt 1: km 22.7 bis km 22.81

In diesem Abschnitt sind für die Dammstabilisierung gemäss einer ersten Abschätzung vertikale Mikropfähle und schräge Bodennägel mit einer Länge von **L = ca. 10 - 12 m** und einem horizontalen Abstand von **a_h = 1.5 m** erforderlich.

Abschnitt 2: km 22.81 bis km 23.04

In diesem Abschnitt ist die erforderliche stabilisierende Kraft wesentlich geringer als im Abschnitt 1. Es sind vertikale Mikropfähle und schräge Bodennägel mit einer Länge von **L = ca. 8 - 9 m** und einem horizontalen Abstand von **a_h = 2.5 m** erforderlich.

Für die Vorbemessung wurden eher konservative Annahmen für den äusseren Tragwiderstand angenommen ($r_{ak} = 35 \text{ kN/m}^2$). Die Annahmen sind mit Ausziehversuchen zu überprüfen.

Für eine bessere Lastabtragung in den Damm wird die Neigungen der Nägel variiert.

- Die Mikropfähle und Bodennägel werden über einen **Kopfriegel** verbunden. Der Kopfriegel verteilt die Lasten und wirkt als verstärkte Bankettsicherung. Es wird für beide Abschnitte eine durchlaufender Riegel mit Abmessungen von ca. **B x H = 0.4 x 1.6 m** vorgesehen.
Der Riegel wird entlang der Böschungskante platziert. Die Sicherung soll (soweit möglich) hinter den bestehenden Mastfundamenten durchlaufen und diese somit zusätzlich stützen.
Der Riegel wird in Ortbeton erstellt. Für einen schnelleren Bauablauf ist es denkbar, dass aussen ein vorfabriziertes Betonelement als Schalung eingesetzt wird. Gegen den Damm wird Füllbeton eingebaut.
- Der Kopfriegel wird etappiert erstellt. Für die lokale Böschungssicherung müssen erschütterungs- und setzungsarme Massnahmen ergriffen werden.
- Der Verlauf des Kopfriegels und die Platzierung der Nägel müssen unter Berücksichtigung der bestehenden Anlagen (Fundamente, Leitungen, etc.) erfolgen.
- Falls nach der Sanierung lokal weiterhin Probleme bestehen, resp. die horizontalen Kräfte stärker als erwartet ausfallen, kann der Kopfriegel bei Bedarf jederzeit zusätzlich von aussen verstärkt werden (zusätzliche Verankerung des Riegels von aussen).
- Umgang mit bestehenden Sicherungs-Elementen:

Die bestehende Verdübelung der Böschung ist nicht konform mit den Richtlinien der SBB. Die Dübel sind jedoch nicht vorgespannt, die Böschung hat sich aber sicher teilweise daran "aufgehängt". Es könnten nur die Ankerköpfe (Betonplatten) zurückgebaut werden. Diese stützen aber die Böschung oberflächlich und reduzieren damit das Böschungskriechen, unterhalb der neuen Sicherung. Wir empfehlen die Ankerköpfe daher in der Böschung als se-

kundäres Element zu belassen und die Restlebensdauer auszunutzen. Die Ankerköpfe werden – wo erforderlich – neu ausgerichtet und festgesetzt.

Die lokal vorhandenen Bankettsicherungen (Ribbertplatten / Bahnschwellen) werden zurückgebaut.

- Für die Ausführung der Arbeiten ist voraussichtlich eine vollständige Rodung der Böschung erforderlich.

Mit den Massnahmen wird das Bankett – und damit der Bereich mit den stärksten, horizontalen Verschiebungen – gesichert. Die Verschiebungen können damit deutlich reduziert und die Horizontalkräfte aus der Zentrifugalkraft in den Damm abgetragen werden. Der Gleisbereich wird gestützt und die Stabilität des Damms erhöht (Vernagelung potentielle Bruchflächen).

Während dem Bau ist durch den Eingriff (Belastung, Erschütterungen) mit verstärkten Setzungen und Verschiebungen zu rechnen. Dieser Problematik muss mit einer Überwachung und einem entsprechenden Alarmdispositiv (z.B. Gleisstopfungen, Temporeduktion, etc.) begegnet werden. Hierfür eignet sich das Clustering mit der Fahrbahninstandsetzung und einer gemeinsamen Nutzung der Gleisbaukapazitäten.

6.3.2. Bauablauf / Logistik

Zufahrt / Materialumschlag

- Die Baustelle liegt im Bereich einer freien Strecke, auf einem Damm. Es sind keine nahe gelegenen Aufgleisstellen vorhanden. Für die Zugänglichkeit zur Baustelle ist daher eine Schüttung mit einer Rampe erforderlich.

Denkbar wäre eine Rampe und Zufahrt im Bereich des kleinen Böschungseinschnitts gegen den Rebackerweg, bei ca. km 22.95.

Zusätzliche Installationsflächen und Zufahrten sind im Bereich der Unterführung Weiermattstrasse (Parzellen 367 / 374) denkbar.

- Die Schüttung einer Baupiste in der Böschung erachten wir aufgrund der Dammhöhe und der Setzungsanfälligkeit des Dammmaterials als ungeeignet.

Die Betonarbeiten und der Materialumschlag müssen aufgrund der Dammgeometrie ab Gleis erfolgen.

- Die Mikropfähle und Bodennägel werden vorzugsweise mit einem kleinen Bagger mit Lafette ab der Dammkorne zu erstellen.

Aufgrund der erforderlichen Pfahllänge sind Geräte mit ausreichender Leistung erforderlich. Bei verrohrten Bohrungen sind hier hohe Leistungen erforderlich sind.

- Für Arbeiten ab dem Gleis sind in der Böschung ggf. lokale Ausstellplätze mit Podesten zu erstellen.

Bauablauf

Die Baustelle muss als Linien-Baustelle organisiert werden. Für die Umsetzung ist folgender Bauablauf denkbar:

1. Rodung Dammböschung
2. Installation und Vorbereitungsarbeiten, inkl. Schüttung Rampe z.B. bei ca. km 22.95
3. Prov. Umlegung Kabelkanal (km 22.7 - 22.84)
4. Evtl. vorgängige Erstellung temp. Böschungssicherung und Aushub auf längere Strecken.
5. Bohren der Mikropfähle und Bodennägel aus der Böschung
6. Rückbau bestehende Bankettsicherungen
7. Erstellung Kopfriegel, etappiert.
8. Instandsetzung Bankett und best. Anlagen (Kabelkanal, Entwässerungen, etc.)
9. Kleine Instandsetzungsmassnahmen an der best. Böschungs-Verdübelung (neu ausrichten und festsetzen).
10. Rückbau Installation und Pisten

Für die Umsetzung der Massnahmen wird grob geschätzt von folgendem Zeitbedarf ausgegangen (Basis: 1 Equipe für Bohrarbeiten / 2 Equipen für Aushub/Betonarbeiten, als Tagesbaustelle in Normalarbeitszeiten, 5-Tage Woche):

- Vor- und Instandsetzungsarbeiten ausserhalb Gleis: jew. ca. 2 Wochen
- Umsetzung der Massnahmen im Gleisbereich, als Linienbaustelle ca. 5 - 6 Wochen

6.3.3. Intervallvarianten

Als betriebliche Randbedingung wurden für die Ausführungen verschiedenen Varianten zur Prüfung vorgesehen (vgl. Kap. 6.1.1). Diese werden nachfolgend beurteilt:

Variante 1: 2 x 21 Tage, 24 Std. Sperrung

Die Umsetzung der Massnahmen ist im Rahmen dieser Variante möglich. Da mit geringen Unterbrüchen und unter Normalarbeitszeiten am Tag gearbeitet werden kann, ist ein Grossteil der Massnahmen im Gleisbereich innerhalb einer Sperrungsphase umsetzbar.

Insgesamt müssen rund 330 Mikropfähle verrohrt hergestellt werden. Die Schichtleistung liegt zwischen 4 bis 8 Pfähle pro Equipe. Die Pfahlarbeiten müssen pro 21 Tage Intervall in 10 Tagen erstellt werden. Dies erfordert den Einsatz von 2 Equipen im 2-Schichtbetrieb.

Die Variante hat den Vorteil, dass das nördliche Gleis kaum belastet ist. Allenfalls erforderliche Stopfungen bei Setzungen können ohne Termindruck und gebündelt umgesetzt werden.

Das Passierenlassen von Arbeitszügen kann, z.B. mit Ausstellpodesten in der Böschung bewerkstelligt werden. Es resultieren jeweils Unterbrüche im Arbeitsablauf und es entstehen Wartezeiten. Anzahl und Taktung der Unterbrüche sind zu prüfen.

Variante 2: Nachtspernung 8 Std. à 60 Schichten

Durch die Arbeiten in der Nacht ist aufgrund der verkürzten effektiven Arbeitszeiten mit einer längeren Bauzeit zu rechnen. Die Arbeiten sind jedoch in den 60 Schichten umsetzbar.

Da die Arbeiten unter Betrieb laufen, sind erhöhte Anforderungen an die Böschungssicherung und Setzungen gestellt. Es sind daher voraussichtlich umfangreiche Sicherungsmassnahmen und ggf. kleinere Etappen erforderlich. Zudem sind zusätzliche Hilfsmassnahmen wie Podeste in der Böschung, etc. erforderlich.

Für den Fall, dass im Gleisbereich Setzungen resultieren, müssen jederzeit Gleisstopfungen umsetzbar sein.

Die Nachtsperrungen haben Auswirkungen auf das Umfeld (Anwohner).

Variante 3: Langsamfahrstelle oder Temporeduktion 80 km/h unter Betrieb, bauen seitlich ausserhalb des Gleises

Für diese Variante wäre die Schüttung einer Baupiste in der Dammböschung erforderlich. Aufgrund der Dammhöhe und der Gefahr von zusätzlichen Setzungen durch die Auflast der Schüttung wird diese Variante als ungeeignet erachtet und nicht zur Weiterverfolgung empfohlen.

Als **Bestvariante** erscheint in der vorliegenden Problematik (Zugänglichkeit, Setzungsanfälligkeit, Bauablauf, etc.). die Variante 1. Mit dieser Variante können die Synergien mit dem Nachbarprojekt "Oberbauerneuerung Gelterkinden – Tecknau" im Jahr 2018 genutzt werden.

6.3.4. Kostenschätzung

Die Projektkosten für die Dammsanierung mit einer verstärkten Bankettsicherung werden auf **CHF 2.0 Mio.**, inkl. MwSt. ($\pm 30\%$) geschätzt.

7. FINANZPLANUNG

Aus der Kostenschätzung in Anhang E1 und der Grobterminierung des Projekts sind für die Finanzplanung folgende Referenzwerte zu erwarten (Grobkosten in CHF, brutto, exkl. MwSt.):

Objektstudie			
Vorprojekt			
Bauprojekt	20'000	35'000	
Auflageprojekt / Plangenehmigungsverfahren		10'000	
Projektierungskosten	20'000	45'000	
Vorarbeiten (Versuchsnägel)		60'000	
Sicherheit		30'000	300'000
Ausführung (inkl. Aufwendungen SBB)			1'450'000
Leistungen PJ, Bauleitung			250'000
Inbetriebnahme			
Gesamtkosten	20'000	135'000	2'000'000

Tabelle 3 Finanzplanung

8. WEITERES VORGEHEN

Die Beurteilung wurde aufgrund der vorliegenden Unterlagen unter Berücksichtigung der Verschiebungsmessungen vorgenommen. Die Massnahmen und die Randbedingungen sind mit der weiteren Projektierung im Detail zu planen resp. abzuklären.

Für die Dimensionierung der Bodennägel empfehlen wir die Ausführung von vorgängigen Ausziehversuchen um die Tragwiderstände im Dammmaterial zu klären.

Für die Arbeiten in der Grundwasserschutzzone S3 ist eine Bewilligung der kantonalen Fachstelle einzuholen.

ANHANG A ÜBERSICHTSPLÄNE

- A1 Lage des Untersuchungsgebietes, Situation 1:25'000
- A2 Übersicht mit Bohrstellen / Pumpwerken und Grundwasser-
schutzzonen, Situation 1:2'500
- A3 Übersicht mit Bohrstellen und Grundwasserisohypsen
Mittelwasser, Situation 1:2'500

ANHANG B INKLINOMETERMESSUNGEN

- B1 Inklionometermessung B1 (1994 -2015)
- B2 Inklionometermessung B2 (1993 -2015)
- B3 Inklionometermessung B3 (1993 -2015)

ANHANG C STABILITÄTSBERECHNUNGEN

- C1 Rückrechnung und Stabilitätsberechnungen Querprofil 1
 (untersuchte Gleitfläche siehe Anhang D2)
- C2 Rückrechnung und Stabilitätsberechnungen Querprofil 3
 (untersuchte Gleitfläche siehe Anhang D4)

ANHANG D

PROJEKTPLÄNE

- D1 Übersicht Projektabschnitt, mit Sanierungsvorschlag,
Situation ca. Mst.: 1:1'300
- D2 Querprofil 1 (Süd B1), km 22.753, Bestand, Mst.: 1:100
- D3 Querprofil 2 (Mitte B2), km 22.856, Bestand, Mst.: 1:100
- D4 Querprofil 3 (Nord B3), km 23.026, Bestand, Mst.: 1:100
- D5 Querprofil 1 mit Sanierungsvorschlag, Mst.: 1:100

ANHANG E

KOSTENSCHÄTZUNG

E1 Kostenschätzung

ANHANG F

FOTOS

F1 Fotodokumentation, Stand Oktober 2015