



SBB

Dammsanierung Böckten

Bericht Investitionskosten O-IBN / S-IBN

17. September 2021

Bericht-Nr. 1054.318.01

Änderungsnachweis

Version	Datum	Status/Änderung/Bemerkung	Name
01	04.05.2021	Erstellung Bericht	Jan Ryhult
02	16.06.2021	Kleine Anpassung auf S. 7	Jan Ryhult
03	17.09.2021	Anpassung Injektionsverdichtung zu Rüttelstopfverdichtung, Ges. Bericht	Jan Ryhult

Verteiler dieser Version

Firma	Name	Anzahl/Form
SBB Olten	Raphael Stadelmann	1x pdf

Projektleitung und Sachbearbeitung

Name	E-Mail	Telefon
Larsen Szulerski	larsen.szulerski@rapp.ch	+41 58 595 78 14
Jan Ryhult	jan.ryhult@rapp.ch	+41 58 595 73 06

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	3
2	Nachweis der Standsicherheit	3
3	Sanierungsmassnahmen	4
3.1	Konzept der Dammsanierung	4
3.2	Kosten	5
4	Überwachungsmassnahmen	6
4.1	Konzept der Überwachungsmassnahm	6
4.2	Bauingenieur	6
4.3	Geologe	7
5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	7
5.1	Instandhaltung Fahrbahn	7
5.2	Gleiscontrolling und Abgleich mit Alarmwerten	7
5.3	Langsamfahrstellen	8
5.4	Stopfen / Gleiskorrektur	8
5.5	Ausrichten / Korrektur Mastfundamente	8
5.6	Kostengegenüberstellung Zeitpunkt der Sanierungsmassnahmen	8
6	Risikobeurteilung	9
7	Fazit und Empfehlung	10
7.1	Optimale Inbetriebnahme (Jahr 2025)	10
7.2	Späteste Inbetriebnahme (Jahr 2035 bzw. 2040)	11
7.3	Empfehlung	11
8	Unterschriften	12

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Kostenvergleich Sanierungszeitpunkt	9
Tabelle 2	Objektspezifische Risikoanalyse in der Betriebsphase	10

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Nachweis Standsicherheit ohne Sanierungsmassnahmen	4
Abbildung 2	Situation Bahndamm mit Zuteilung der Bankettsicherung	4
Abbildung 3	Bankettsicherung mit rückverankertem Kopfbalken (links) und Dammreprofilierung zu Soll-Profil (rechts)	5
Abbildung 4	Kostenvergleich Sanierungszeitpunkt	9

1 Ausgangslage

Auf der Bahnlinie 500 Basel – Olten befindet sich im Bereich km 22.6 – 23.2 der Bahndamm Böckten. Dieser wurde im Jahre 1912 – 1914 mit dem Bau des Hauenstein Basistunnels aufgeschüttet und weist eine Höhe zwischen 6 – 9 m auf. Als Schüttmaterial kam Ausbruchmaterial zum Einsatz, welches kaum bzw. nur sehr schlecht verdichtet wurde. Aus diesem lockeren Aufbau des Dammkörpers resultieren kontinuierliche Setzungen und Verformungen in Horizontalrichtung. Von den Verformungen betroffen ist v.a. die nördliche Dammseite.

Die Rapp Infra AG wurde durch die schweizerische Bundesbahnen SBB beauftragt ein Sanierungskonzept für den Bahndamm in Böckten BL auszuarbeiten, wodurch die anhaltenden Verformungen von aktuell 3 – 5 mm/Jahr auf ein Minimum (ca. 0 – 1 mm/Jahr) reduziert werden sollen.

Als Vorzugsvariante kommt eine Kombination von Sanierungsmassnahmen zur Anwendung. Zur Bodenverbesserung werden aus bautechnischen Aspekten und Flexibilität in der Ausführung Rüttelstopfsäulen vorgesehen. Im Zuge der Bodenverbesserung sollen auch Gleisbau inkl. Oberbau erneuert werden. Weiter wird das Bankett durch abschnittsweise Dammreprofilierung bzw. einem Rückverankerten Kopfbalken gegen horizontale Verschiebungen gesichert.

In diesem Zusatzbericht werden Kosten, Risiko und Wirtschaftlichkeit einer optimalen Inbetriebnahme (O-IBN) im Jahr 2025 einer spätesten Inbetriebnahme (S-IBN) im Jahr 2035 vorabgeschätzt und gegenübergestellt. Weiter wird die aktuelle Standsicherheit des Bahndammes ohne Sanierungsmassnahmen mitbeurteilt.

2 Nachweis der Standsicherheit

Für den Nachweis der Standsicherheit werden die Parameter gemäss Abbildung 1 angesetzt. Bei einem Böschungswinkel von $\alpha = 36^\circ$ und einer angesetzten Bahnlast gem. Abbildung 1 resultiert eine statische Ausnutzung des Dammkörpers von 1.48. Somit ist die Standsicherheit statisch nicht gegeben.

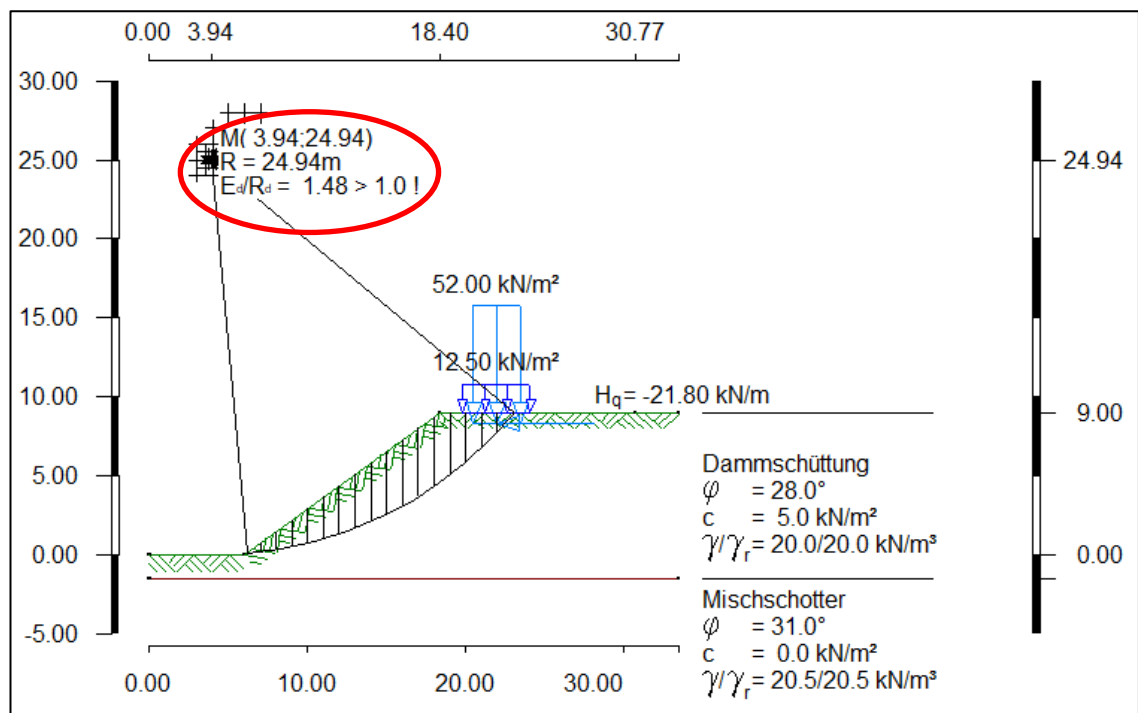


Abbildung 1 Nachweis Standsicherheit ohne Sanierungsmassnahmen

3 Sanierungsmassnahmen

3.1 Konzept der Dammsanierung

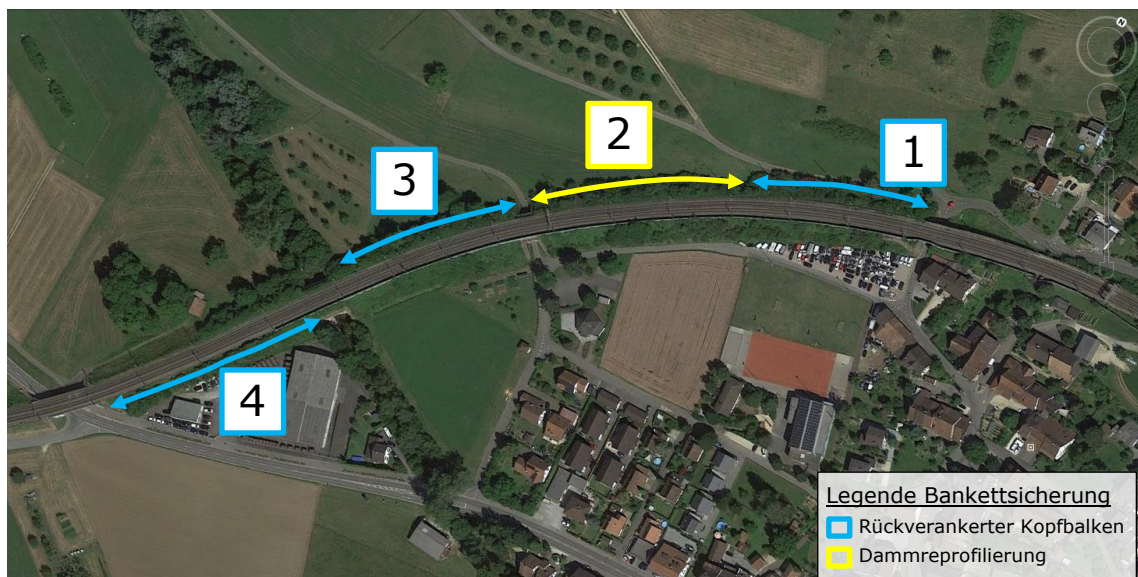


Abbildung 2 Situation Bahndamm mit Zuteilung der Bankettsicherung

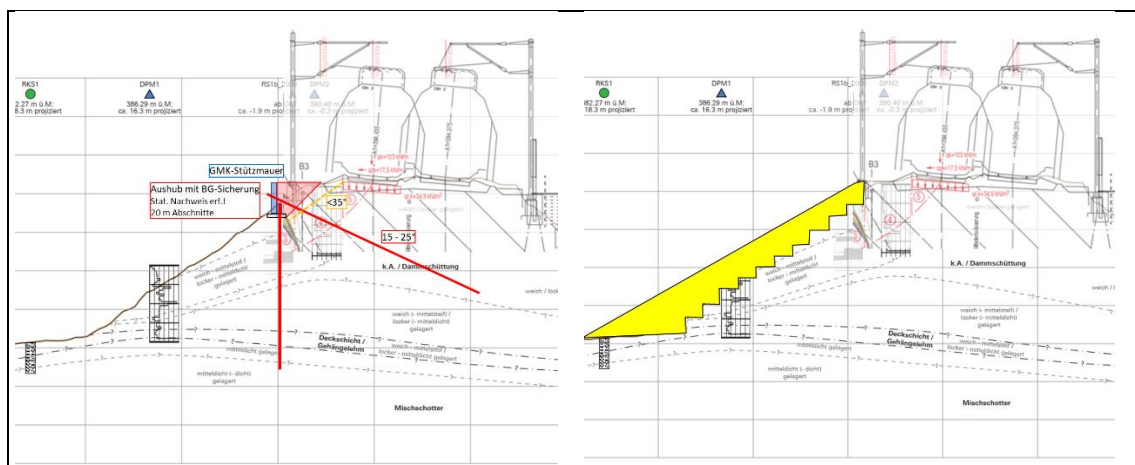


Abbildung 3 Bankettsicherung mit rückverankertem Kopfbalken (links) und Dammprofilierung zu Soll-Profil (rechts)

Für die Optimierung der Gesamtkosten wird wie auf Abbildung 2 dargestellt eine Bankettsicherung angestrebt, welche abschnittsweise durch den rückverankerten Kopfbalken und einer Dammprofilierung besteht. Die Bodenverbesserung mit den Rüttelstopfsäulen erfolgt über die gesamte Länge des Projektperimeters von 470 m.

3.2 Kosten

Primärer Projektperimeter (km 22.700 – 23.040)

- Rüttelstopfsäulen mit 90 CHF/m`
 - Gesamtlänge von 340 m → 0.93 Mio. CHF (10` 285 m`)
- Baugrube zwischen Gleisen mit 300 CHF/m²
 - Gesamtlänge von 340 m → 0.15 Mio. CHF (510 m²)
- Neubau Gleis inkl. Oberbau mit 3` 300 CHF/m`
 - Gesamtlänge von 340 m → 2.24 Mio. CHF (680 m`)
- Fahrleitung verziehen mit 0.3 Mio. CHF (pauschal)
- Rückverankerter Kopfbalken mit 1.5 m x 0.4 m à 5` 400 CHF/lfm
 - Bereich 1: L = 100 m → 540` 000 CHF
 - Bereich 3: L = 119 m → 643` 000 CHF
- Dammprofilierung à 2` 400 CHF/Laufmeter Damm
 - Bereich 2: L = 131 m → 380` 000 CHF
 - Landerwerb: 131 m x 2 m x 10 CHF/m² = 2` 620 CHF
- Baumeister Ingenieurbau
 - Baustelleninstallation: 8% → 0.41 Mio. CHF
 - Unvorhergesehenes: 15% → 0.77 Mio. CHF

TOTAL: ca. 6.4 Mio. CHF

Erweiterter Projektperimeter (km 22.565 – 22.700)

- Rüttelstopfsäulen mit 90 CHF/m`
 - Gesamtlänge von 135 m → 0.37 Mio. CHF (4`092 m`)
- Baugrube zwischen Gleisen mit 300 CHF/m²
 - Gesamtlänge von 135 m → 0.06 Mio. CHF (203 m²)
- Neubau Gleis inkl. Oberbau mit 3`300 CHF/m`
 - Gesamtlänge von 135 m → 0.89 Mio. CHF (270 m`)
- Fahrleitung verziehen mit 0.15 Mio. CHF (pauschal)
- Rückverankerter Kopfbalken mit 1.5 m x 0.4 m à 5`400 CHF/lfm
 - Bereich 4: L = 135 m → 727`000 CHF
- Baumeister Ingenieurbau
 - Baustelleninstallation: 8% → 0.17 Mio. CHF
 - Unvorhergesehenes: 15% → 0.32 Mio. CHF

TOTAL: ca. 2.7 Mio. CHF

Das Gesamttotal der Sanierungskosten für den primären und erweiterten Projektperimeter betragen **ca. 9.1 Mio. CHF**.

4 Überwachungsmassnahmen

Wie in Kapitel 2 beschrieben, ist die Standsicherheit des Bahndammes ohne Sanierungsmassnahme rechnerisch nicht nachgewiesen.

Anhand der SI-Messungen und Aufnahme der Querprofile sind bisher keine Verformungen ersichtlich, welche aktuell neben den anhaltenden Verformungen direkt auf ein Versagen hinweisen.

Eine Nichtsanierung des Bahndammes erfordert eine regelmässige Überwachung des Bahndammes mit kontinuierlicher Auswertung der Messergebnisse auf Auffälligkeiten.

4.1 Konzept der Überwachungsmassnahm

Bis zur Sanierung (Späteste Inbetriebnahme → S-IBN) wird empfohlen den Dammkörper regelmässig (z.B. 3x jährlich) zu überwachen und die Messresultate festzuhalten. Bei sich signifikant ändernden Verschiebungen und dem Erreichen von Grenz- bzw. Alarmwerten sind Sofortmassnahmen auszulösen.

4.2 Bauingenieur

- Messungen (3x pro Jahr)
 - Vermessung + Auswertung = ca. 31`000 CHF je Messung (93`000 CHF / Jahr)

- Bauingenieur Interpretation = ca. 7`000 CHF je Messung (21`000 CHF / Jahr)

4.3 Geologe

- Messungen (3x pro Jahr)
 - Vermessung + Auswertung = ca. 9`650 CHF je Messung (28`9500 CHF / Jahr)

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der favorisierten Sanierungsmassnahmen (Bodenverbesserung mit Rüttelstopfsäulen und Bankettsicherung) werden die Baukosten denjenigen aus den kontinuierlichen Nachstopfungen bzw. Gleiskorrekturen (Aufgrund der anhaltenden, starken Dammverformungen) gegenübergestellt. Dabei wird der Unterhalt einer Fahrbahn mitberücksichtigt.

5.1 Instandhaltung Fahrbahn

Die Lebensdauer einer Fahrbahn beträgt ca. 30 – 50 Jahre. Dabei werden in der Regel alle 5 – 6 Jahre Gleisstopfungen durchgeführt. Mit den aktuellen Verformungen gehen wir davon aus, dass mindestens einmal jährlich eine Korrekturstopfung erfolgen muss. Gegebenenfalls kann jede Kontrollmessung zusätzliche Gleisstopfungen auslösen.

5.2 Gleiscontrolling und Abgleich mit Alarmwerten

Aktuell betragen die langjährigen horizontalen Kriechverformungen an den Messstellen im Mittel:

- B1 (Süden): ca. 5 mm/Jahr
- B2 (Mitte): ca. 1 mm/Jahr
- B3 (Norden): ca. 3 mm/Jahr

Ausgehend von den anhaltenden Kriechverformungen und den Richtwerten der Aufmerksamkeitswerte von 4 mm (horizontal und vertikal) resultiert eine Interwallhäufigkeit für Stopfungen bzw. Gleiskorrekturen von ca. 1x pro Jahr.

Durch geeignete Sanierungsmassnahmen und die damit verbundene angestrebte Reduktion der Kriechverformungen auf 0 – 1 mm/Jahr resultiert ein Intervall für Stopfungen bzw. Gleiskorrekturen von ca. 5 Jahren.

Somit können Gleissanierungen von einmal jährlich auf alle fünf Jahre reduziwert werden.

Die Kosten für Vermessung, Auswertung und Abstimmung mit dem Bauherrn betragen für die Messungen des Bauingenieurs ca. **114`000 CHF / Jahr** und für die Messungen des Geologen ca. **29`000 CHF / Jahr**.

5.3 Langsamfahrstellen

Bei Erreichen des Aufmerksamkeitswertes bei den Gleisverschiebungen / -verwindungen ist als Sofortmassnahme bis nach Durchführung der Gleiskorrektur eine Langsamfahrstelle einzurichten. Die Kosten infolge Langsamfahrstellen werden mit ca. **100`000 CHF / Jahr** angesetzt.

5.4 Stopfen / Gleiskorrektur

Die Leistungsfähigkeit einer Stopfmaschine liegt bei ca. 250 m je Stunde. Um Einschränkungen im Gleisbetrieb minimieren zu können, können die Stopfarbeiten in Nachtsperrpausen à 4h stattfinden. Mit Gleisfreimeldungen, Nacharbeiten etc. kann in einer Schicht jeweils ein Gleis nachgestopft werden. Daraus resultieren für die Gleisstopfung zwei Nachtsperrpausen.

Die Kosten je Schicht betragen ca. 36`000 CHF. Daraus ergeben sich Gesamtkosten von ca. **70`000 CHF / Jahr**, welche bei den anhaltenden Setzungen von 3-5 mm / Jahr anfallen.

5.5 Ausrichten / Korrektur Mastfundamente

Durch kontinuierliche Gleiskorrekturen nehmen die Differenzverschiebungen zu den sich nach aussen bewegendenden Mastfundamente stetig zu. Nach 5 Jahren beträgt die Differenzverschiebung ca. 15 – 25 mm. Für die Weitererhaltung Funktionalität Fahrleitung müssen diese ca. alle 5 Jahre neu ausgerichtet werden. Die Kosten für die Neuausrichtung der Mastfundamente beträgt ca. **60`000 CHF / 5 Jahre**.

5.6 Kostengegenüberstellung Zeitpunkt der Sanierungsmassnahmen

Innerhalb des Lebenszyklus eines Gleises finden Stopfungen bzw. Gleiskorrekturen ca. alle 4 – 5 Jahre statt.

Bei einer Sanierung mit Reduktion der Setzungen auf ca. 0 – 1 mm/Jahr wird von diesem Zyklus ausgegangen. Bei der Weiterbenutzung der Gleise ohne Sanierung und den daraus resultierenden Gleisverschiebungen von 3 – 4 mm/Jahr wird von jährlich benötigten Gleiskorrekturen / Stopfungen ausgegangen.

- Sanierungsmassnahmen: ca. 9.1 Mio. CHF
- Überwachungskonzept Ing: ca. 114`000 CHF / Jahr
- Überwachungskonzept Geol: ca. 29`000 CHF / Jahr
- Langsamfahrstellen: ca. 100`000 CHF / Jahr
- Gleisstopfungen: ca. 72`000 CHF / Jahr
- Korrektur Mastfundamente: ca. 60`000 CHF / 5 Jahre
- Die jährliche Inflation wird mit 2% pro Jahr angesetzt.

Es ergeben sich folgende Gesamtinvestitionen zu verschiedenen Sanierungszeitpunkten

Kostenvergleich		2025	2030	2035
Jahre ab 2025		0	5	10
Inflation	2% / Jahr	1.00	1.10	1.22
Investitionskosten	1x	9'100'000	10'047'135	11'092'849
Unterhalt ab 2021	72'000 CHF / Jahr	360'000	720'000	1'080'000
Überwachung Ing ab 2021	114'000 CHF / Jahr	570'000	1'199'326	1'897'240
Überwachung Geol ab 2021	29'000 CHF / Jahr	145'000	305'092	482'631
Mastfundamente ab 2021	60'000 CHF / 5 Jahre	60'000	126'245	199'709
Langsamfahrstellen ab 2021	100'000 CHF / Jahr	500'000	1'052'040	1'664'246
Summe [CHF]		10'735'000	13'449'838	16'416'676
Relative Mehrkosten		1.00	1.25	1.53

Tabelle 1 Kostenvergleich Sanierungszeitpunkt

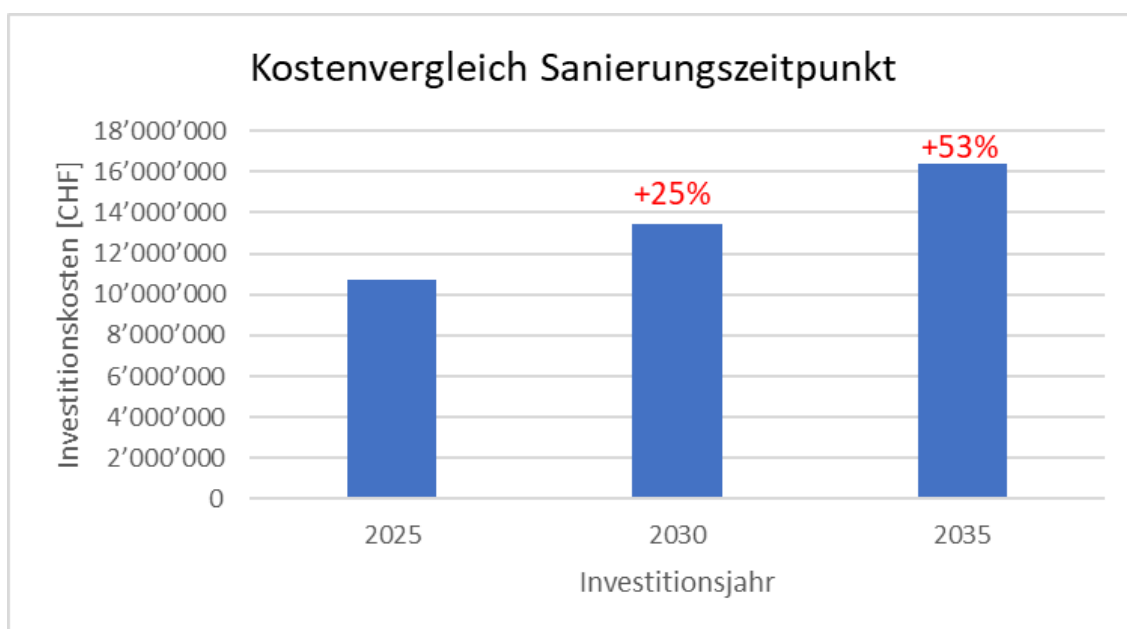


Abbildung 4 Kostenvergleich Sanierungszeitpunkt

6 Risikobeurteilung

Wesentliche Herausforderungen betr. Projekterfolg resp. Anforderungen AF (**K**osten, **Z**eit, **Q**ualität, **S**icherheit, **U**mwelt), **E**intrittswahrscheinlichkeit [1 tief, 2 mittel, 3 hoch] x **A**uswirkung [1 klein, 2 mittel, 3 gross] = **R**isiko, zugehörige Massnahmen, **V**erantwortlichkeiten.

Risiken	AF	E	A	R	Massnahmen/Lösungsvorschläge	V
Standsicherheit	K Z Q S	2	3	6	Infolge des sehr heterogenen und schlechten Aufbaus des Dammkörper resultieren im Mittel bodenmechanische Kennwerte von $\varphi = 28^\circ$ und $c = 5 \text{ kN/m}^2$. → Standsicherheit/Böschungsstabilität kann nicht nachgewiesen werden	PV, BH

Risiken	AF	E	A	R	Massnahmen/Lösungsvorschläge	V
					→ Gefahr für Versagen des Dammkörpers → Grosser Materialschaden → Personenschaden möglich → Kompletter Ausfall der Bahnlinie über mehrere Monate / Jahre wegen sehr umfangreicher Sanierung (ggf. kompletter Dammersatz) → Alf. Dammersatz mit Kosten von ca. 10 Mio. CHF verhältnismässig sehr teuer (Wirtschaftlicher Schaden nicht mitberücksichtigt)	
Setzungen Fahrbahn	K Z Q	3	2	6	Anhaltende Setzungen/Verschiebungen von 3 – 5 mm/Jahr → Kontinuierliche Gleisstopfungen bzw. -korrekturen erforderlich → Zunehmende Erschwerung Qualität der Gleise beizubehalten → Bei Erreichen von Grenzwerten wird Fahrdynamik und -sicherheit beeinträchtigt	BH
Differenzverschiebung Mastfundamente	K Z Q	2	2	4	Gleise werden kontinuierlich korrigiert / nachgestopft. Fundamente jedoch nicht. → Zunehmend grösser werdende Differenz zwischen Fahrbahn und Fahrdrat → Beeinträchtigung Fahrdynamik, ggf. Einrichtung Langsamfahrstellen → Sanierung (In Lagebringung) der Mastfundamente nötig, wenn Alarmwert überschritten wird	
Langsamfahrstellen	K Z	3	2	6	Durch Erreichen der Gleisverschiebungen von Aufmerksamkeits- bzw. Alarmwerten müssen bis Fertigstellung der Gleiskorrektur Langsamfahrstellen veranlasst werden.	

Tabelle 2 Objektspezifische Risikoanalyse in der Betriebsphase

Gesamthaft bestehen durch die Hinauszögerung der Sanierungsmassnahmen auf späteste mögliche Zeitpunkte in das Jahr 2035 grosse Risiken punkto Standsicherheit, Setzungen und Langsamfahrstellen. Aus diesem Aspekt werden schnellstmögliche Sanierungsmassnahmen empfohlen.

7 Fazit und Empfehlung

7.1 Optimale Inbetriebnahme (Jahr 2025)

Die optimale Inbetriebnahme im Jahr 2025 erfolgt bei direkter Ausführung der Sanierungsmassnahmen. Die Gesamtkosten aus Sanierungsmassnahme und vorgängigem Unterhalt betragen ca. 10.5 Mio. CHF.

7.2 Späteste Inbetriebnahme (Jahr 2035 bzw. 2040)

- 2030
Die Gesamtkosten aus Sanierungsmassnahme und vorgängigem Unterhalt und Überwachungsmassnahmen betragen ca. 13.4 Mio. CHF. → Zunahme um 25% im Vgl. zu 2025
- 2035
Die Gesamtkosten aus Sanierungsmassnahme und vorgängigem Unterhalt und Überwachungsmassnahmen betragen ca. 16.4 Mio. CHF. → Zunahme um 53% im Vgl. zu 2025

Dadurch, dass die Standsicherheit des bestehenden Dammkörpers ohne Sanierungsmassnahme nicht nachgewiesen ist, muss der Damm regelmässig (alle 4 Monate) überwacht und die Messresultate beurteilt werden. Bei der Überschreitung von Grenzwerten müssen Sofortmassnahmen ausgelöst werden. Dies führt ebenfalls zu Langsamfahrstellen, welche wirtschaftliche Kosten mit sich ziehen.

Die Risiken einer Verzögerung der Sanierungsmassnahmen birgt die Risiken eines Versagens des Dammkörpers. Diese können neben Materialschaden auch Personenschaden mit sich bringen. Beim allfälligen Versagen betragen die Sanierungsmassnahmen > 10 Mio. CHF, da diese umfangreicher (z.B. Komplettersatz Dammkörper) ausfallen werden wie die aktuell geplanten. Die wirtschaftlichen Folgeschäden sind in diesen Kosten nicht mitberücksichtigt.

7.3 Empfehlung

Unter Berücksichtigung der statischen Standsicherheit, daraus resultierenden Aspekte wie Sicherheit und gesamtwirtschaftliche Kosten im Havariefall werden schnellstmögliche Sanierungsmassnahmen empfohlen. Diese umfassen eine Bodenverbesserung durch Rüttelstopfsäulen mit Erneuerung Gleisbau inkl. Oberbau und eine Bankettsicherung durch eine Kombination verteilt über Teilbereiche aus rückverankertem Kopfbalken und Dammreprofilierung zum Sollprofil.

8 Unterschriften

Rapp Infra AG



Jan Ryhult
Projektingenieur



Larsen Szulski
Stv. Abteilungsleiter Tragwerke

Münchenstein, 17. September 2021 / 1054.318 / SLr