

Linie Nr.: **500**
Bezeichnung: **Sissach - Gelterkinden**
km: **22.50 – 23.05**

Kanton(e): **Baselland**
Gemeinde(n): **Böckten**

Projekt: **SIS-GKD Verstärkung EB Km 22.693**
ISP-Nr.: **1153935**

Phase: **Vorprojekt**

Autoren: Bauherrenvertretung SBB
Infrastruktur Ausbau- und Er-
neuerungsprojekte
Raphael Stadelmann
17.09.2021

Projektleiter
(Original unterzeichnet durch):

Raphal Stadelmann:

Projektverfasser
Rapp Infra AG

Jan Ryhult / Larsen Szulerski
17.09.2021

Projektverfasser
(Original unterzeichnet durch)

Larsen Szulerski:

Technischer Bericht

Impressum

Version- und Änderungsjournal

Version	Beschrieb / Änderungen gegenüber Vorgängerversion	erstellt	geprüft	freigegeben
1.0	Erstellung	16.07.2021 / RJa	16.07.2021 / SLr	
2.0	Anpassungen gem. Angaben Raphael Stadelmann	17.09.2021 / RJa	17.09.2021 / SLr	

Autorenteam

Verantwortlicher Ersteller, Gesamtprojektleiter	Projektverfasser
Raphael Stadelmann SBB Infrastruktur, Ausbau- und Erneuerungsprojekte Bahnhofstrasse 12 4600 Olten Tel: +41 79 462 77 27 raphael.stadelmann2@sbb.ch	Jan Ryhult / Larsen Szulerski Rapp Infra AG Hochstrasse 100 4018 Basel Tel: +41 58 595 73 06 / +41 58 595 78 14 jan.ryhult@rapp.ch / larsen.szulerski@rapp.ch

Fachbereich	Name	Bezeichnung
Oberbauleitung	Raphael Stadelmann	I-AEP-PJM-RME-T2
Geomatik	Jens Noack	I-AEP-ENG-GEO-RME
Fahrbahn	Stéphane Decrauzat	I-AEP-ENG-FB-RME
Ingenieurbau Tiefbau	Raphael Stadelmann	I-AEP-PJM-RME-T2
Ingenieurbau Tragkonstruktion		
Ingenieurbau Tunnel		
Architektur, Bahnzugang		
Technische Anlagen		
Sicherungsanlagen		
Fahrstrom	Andreas Kilchenmann	I-AEP-ENG-FS-RME-PL1
Energie		
Kabel		
Telecom		
Umwelt	Margarita Osses de Eicker	I-AEP-ENG-UMW-RME
Land- und Rechterwerb		
IM Bahnhofsmanagement		

Änderungsjournal Vorlage

Datum der Änderung	Name	Änderungsinhalt/Bemerkung
27.11.2017	Urs Honold	Neues Dokument
22.05.2018	Andreas Kessler	Kap. 7
19.06.2018	Jan Flückiger	Kap. 7.5
27.03.2020	Denise Engel	Neue Organisation angepasst und Signatur

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung / Management Summary	6
1. Auftrag.....	7
1.1. Aufgabenstellung (SOLL)	7
1.2. Ziele	7
1.3. Bestellungs- und Projektänderungen	7
2. Ausgangslage	8
2.1. Projektbezeichnung, Lage im Netz	8
2.2. Beschreibung der vorhandenen Anlagen (IST)	8
2.2.1. Geomatik	8
2.2.2. Fahrbahn	8
2.2.3. Ingenieurbau	8
2.2.4. Bahnzugang und technische Gebäude.....	18
2.2.5. Technische Anlagen	18
2.2.6. Sicherungsanlagen	18
2.2.7. Fahrstrom	18
2.2.8. Kabelanlagen	18
2.2.9. Telecomanlagen	18
2.3. Grundlagen und Planungsannahmen	18
2.4. Projektabgrenzung	19
2.5. Auswirkung bei Nichtausführung.....	19
3. Projektübersicht (SOLL)	21
3.1. Geomatik	21
3.1.1. Gleisanlagen	21
3.2. Fahrbahn	21
3.3. Ingenieurbau	21
3.3.1. Ziel der Begrenzung der Verformungen.....	21
3.4. Bahnzugang und technische Gebäude	22
3.5. Technische Anlagen	22
3.6. Sicherungsanlagen.....	22
3.7. Fahrstrom	22
3.8. Kabelanlagen	22
3.9. Telecomanlagen.....	22
4. Fachtechnische Projektierungen.....	23
4.1. Geomatik	23
4.2. Fahrbahn	23
4.3. Ingenieurbau	23
4.3.1. Geologische und geotechnische Untersuchungen	23
4.3.2. Versagensmatrix Übersicht	24
4.3.3. Untersuchung mögliche Versagensmechanismen - Detailbetrachtung	25
4.3.4. Sanierungsmatrix Übersicht	33
4.3.5. Sanierungsmassnahmen - Detailbetrachtung.....	34
4.3.6. Kostenvergleich verschiedene Sanierungsmassnahmen	47
4.3.7. Unterbau.....	48
4.3.8. Entwässerung.....	49
4.3.9. Stützbauwerke.....	49
4.3.10. Erdbauwerke	49
4.4. Bahnzugang und technische Gebäude	50
4.5. Technische Anlagen	51
4.6. Sicherungsanlagen.....	51
4.7. Fahrstrom	51
4.8. Kabelanlagen	51

4.9.	Telecomanlagen	51
5.	Umwelt.....	52
6.	Land und Rechtserwerb, Aussteckung.....	53
6.1.	Definitiver Landerwerb	53
6.2.	Erwerb von Dienstbarkeiten	53
6.3.	Vorübergehende Beanspruchung	53
7.	Bauphasen und Baurealisierung	54
7.1.	Bauablauf	54
7.2.	Installationsplatz	54
7.3.	Abstellgleise	55
7.4.	Erschliessung und Logistik.....	55
7.5.	Arbeitsstellensicherheit/ Auswahl der geeigneten Warnmethode.....	55
8.	Termine	56
9.	Kommunikation und Stakeholdermanagement	57
10.	Kosten und Finanzierung	58
11.	Chancen und Risiken.....	59
11.1.	Chancen	59
11.2.	Risiken.....	59
12.	CAPEX / Value Engineering	60
13.	Sicherheitsbericht	61
13.1.	Grundsatzerklärung.....	61
13.2.	Bahnbetrieb während Bauphase.....	61
13.3.	Risikoanalyse und Risikobeurteilung	61
13.3.1.	Abgrenzung	61
13.3.2.	IST-Zustand.....	61
13.3.3.	Bauphase	63
13.3.4.	Betriebsphase	65
14.	Fazit und Anträge	66

Zusammenfassung / Management Summary

Auf der Bahnlinie 500 Basel – Olten befindet sich im Bereich km 22.50 – 23.05 der Bahndamm in Böckten. Für die Minimierung der anhaltenden Verformungen im Dammkörper von ca. 3-4 mm / Jahr (horizontal und vertikal) wird eine Bodenverbesserung durch Rüttelstopfsäulen in Kombination mit einer Bankettsicherung (Rückverankerter Kopfbalken und Dammreprofilierung) als Vorzugsvariante ermittelt. Die Sanierungsarbeiten erfolgen unter wechselseitigen Gleissperrungen und dauern ca. 17 Monate (Jeweils WE-Sperrung 50 h von Sa. 02:00 Uhr bis Mo 04:00 Uhr). Die Baukosten exkl. Sicherheitskosten, Entschädigungen und Honorare belaufen sich auf ca. 9.1 Mio. CHF ($\pm 20\%$). Ziel ist es die Verformungen auf ca. 0 – 1 mm/Jahr zu reduzieren.

1. Auftrag

1.1. Aufgabenstellung (SOLL)

Auf der Bahnlinie 500 Basel – Olten befindet sich im Bereich km 22.50 – 23.05 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 auf ein Minimum (ca. 0 – 1 mm/Jahr) reduziert werden sollen.

Dabei sollen in einem ersten Schritt anhand bestehender Unterlagen die Verformungen im Dammkörper untersucht und daraus mögliche Versagensmechanismen abgeleitet werden. Die als möglich betrachteten Versagensmechanismen werden eng zusammen mit dem Bodengutachter bewertet. Anhand der ermittelten Versagensmechanismen werden passende Sanierungsmassnahmen ermittelt. Ziel ist es, dass mit Hilfe der Sanierungsmassnahmen die Verformungen des Dammkörpers auf ca. 0 – 1 mm/Jahr zu reduzieren. Dabei steht die Ursachenbekämpfung im Vordergrund, damit die im Dammkörper wirkenden Zwänge abgebaut und nicht nur zurückgehalten werden.

Neben dem massgebenden Versagensmechanismus bzw. Kombination mehrerer Versagensmechanismen sollen als Randbedingung für die Wahl der Sanierungsmassnahme die Aspekte Auswirkungen auf den Bahnbetrieb, Umwelt, Dauerhaftigkeit/Restnutzung, Unterhaltsbedarf und Baukosten mitbetrachtet werden.

Für den optimalen Ablauf der Sanierungsmassnahmen wird eine erste Bauphasenplanung mit Intervallen und jeweils benötigten Gleissperrungen erstellt.

1.2. Ziele

- Reduktion der vertikalen Verformungen durch eine Bodenverbesserung mittels rüttelstopfsäulen
- Reduktion der horizontalen Verformungen durch eine Bankettsicherung mittels abschnittweiser Dammreprofilierung bzw. einem rückverankerten Kopfbalken
- Erreichen der Standsicherheit im GZT3 nach aktuellem Normenwerk durch die gesamthafte Sanierungsmassnahme.

1.3. Bestellungs- und Projektänderungen

Es liegen bis zur aktuellen Phase keine Bestellungs- oder Projektänderungen vor.

2. Ausgangslage

2.1. Projektbezeichnung, Lage im Netz

- Projektbezeichnung: SIS-GKD Verstärkung EB Km 22.693
- Lage im Netz: Linie 500, Sissach – Gelterkinden, km 22.50 bis 23.05

2.2. Beschreibung der vorhandenen Anlagen (IST)

2.2.1. Geomatik

Erarbeitung durch den Fachdienst GEO

2.2.1.1. Gleisanlagen

2.2.2. Fahrbahn

Erarbeitung durch den Fachdienst FB

Auf der Linie 500 sind folgende Gleise vom Projekt betroffen:

Gleis Nr.	Gleis-be-lastung [GBRT/d]	Gleis-kategorie	Gleis-be-lastungs-gruppe	Km von	Km bis	Letzte Er-neuerung	Schwellentyp, Schienenprofil	Unterbau (Einbaujahr)
122	15'000 – 30'000	HG1	N2	22.545	22.809	2008	B91, UIC 60	PSS (2008)
222	15'000 – 30'000	HG1	N2	22.545	22.809	2008	B91, UIC 60	PSS (2008)
122	15'000 – 30'000	HG1	N2	22.817	23.042	2008	B91, UIC 60	Schotterreinigung (2008)
222	15'000 – 30'000	HG1	N2	22.817	23.042	2008	B91, UIC 60	Schotterreinigung (2008)

Die Gleise werden heute wie folgt entwässert:

Gleis-Nr.	Km von	Km bis	Gleisentwässerung
500	22.545	22.809	Beidseitig seitliche Entwässerung, Baujahr 2008
500	22.817	23.042	Keine Entwässerung

2.2.3. Ingenieurbau

2.2.3.1. Eckdaten Dammkörper

Auf der Bahnlinie 500 Basel – Olten befindet sich im Bereich km 22.50 – 23.05 der Bahndamm in Böckten. Dieser wurde im Jahre 1912 – 1914 mit dem Bau des Hauenstein Basistunnels aufgebaut und weist eine Höhe zwischen 6 – 9 m auf. Die Dammkrone hat eine Breite von ca. 12 m. Das Material des Dammkörpers ist sehr heterogen, kaum verdichtet und weist eine bindige Matrix auf.

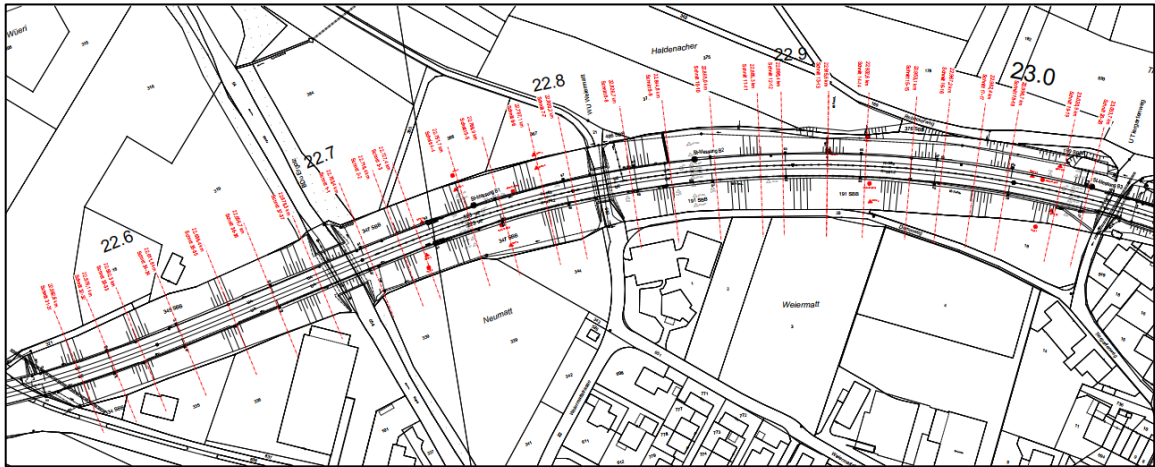


Abbildung 1 Situation Bahndamm km 22.50 – 23.05

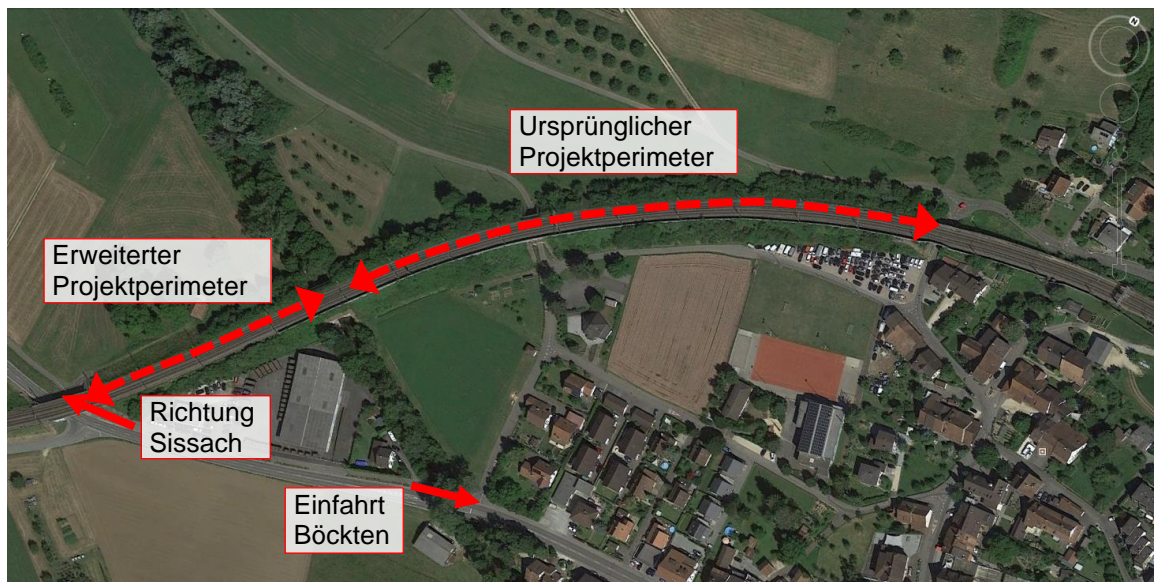


Abbildung 2 Satellitenaufnahme Bahndamm mit Projektperimeter

Streckenabschnitt	Linie 500, Sissach – Gelterkinden, km 22.565 bis 23.040
Baujahr	Ca. 1914
Eigentümer / Unterhaltungspflicht	Schweizerische Bundesbahnen SBB
Dammkörper	Künstlich geschüttet
Dammdimensionen	Höhe von 6 – 9 m, Kronenbreite von ca. 12.5 m, Böschungeneigung von ca. 30 – 35°
Kurvenradius Bahnlinie	Ca. 580 m
Streckenklasse	D4
Ausbaugeswindigkeit	100 km/h
Lichtraumprofil	EBV3
Stromabnehmerprofil	S2

Instandsetzungen	<ul style="list-style-type: none"> - 1985 Oberbauerneuerung - 1992-93: Dammsanierung km 22.69 – 23.04, Für die Erhöhung der inneren Festigkeit wurden auf der Nordseite Injektionen und Verdübelungen durchgeführt. Dabei kam es zu einem Schadenfall, da mit den Injektionsarbeiten das Schotterbett ausinjiziert wurde. - 1993: Oberbauerneuerung km 22.68 – 23.04 (aufgrund Schadenfall "Injektion Schotterbett") - 2007-09: km 22.70 bis 22.81 und km 23.05 bis 23.60: Unterbau Sanierung mit Einbau PSS und neuen Drainageleitungen km 22.81 bis 23.05: Schotterreinigung, neue Lärmschutzwand auf Südseite (Mikropfahlgründung)
Sondierbohrungen	B1 bis B3 auf der Nordseite für die Überwachung der horizontalen Verschiebungen des Dammkörpers. Überwachung der horizontalen Verschiebungen seit 1993
Unterbau	Von km 22.545 – km 22.809 wurde der Unterbau (40 cm PSS) zusammen mit dem Oberbau erneuert. Von km 22.817 – km 23.042 wurde im Jahr 2008 lediglich der Schotter gereinigt.
Entwässerung	Von km 22.545 – km 22.809 erfolgt die Entwässerung über seitlich verlaufende Entwässerungsrohre. Diese wurde im Zuge der Oberbauerneuerung im Jahr 2008 gebaut.

Tabelle 1 Objektbeschreibung Bahndamm Böckten

2.2.3.2. Bestandsbilder vom 22.01.2020 und 26.02.2021

Übersicht

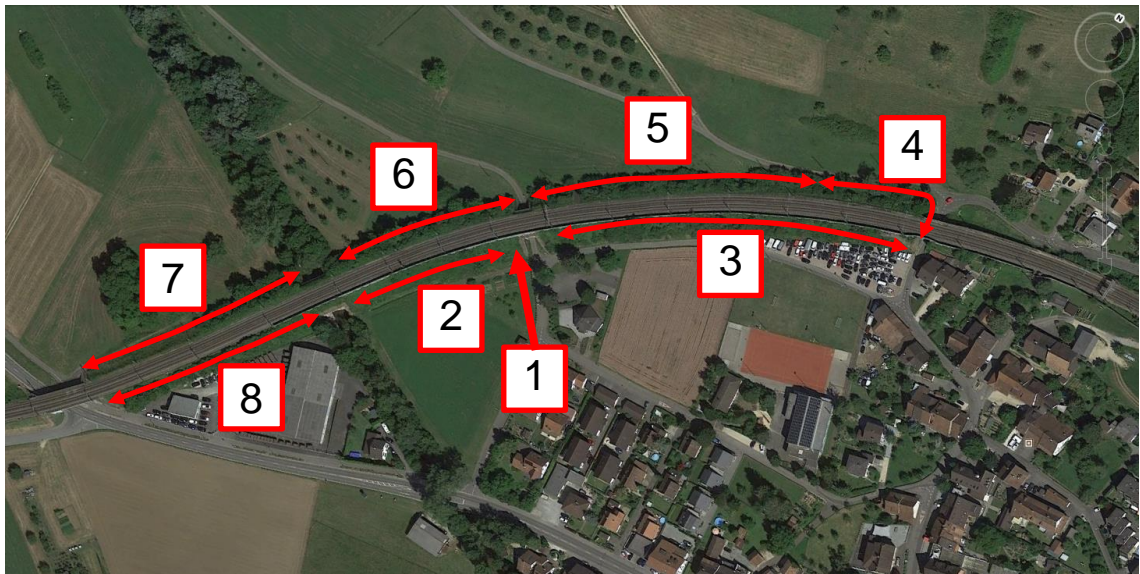


Abbildung 3 Situation Bahndamm mit Unterteilung in verschiedene Abschnitte für Zuordnung Bestandsbilder

Dammabschnitt 1



Abbildung 4 Bestandsbilder Dammabschnitt 1 mit Blick in Richtung Norden

Dammabschnitt 2



Abbildung 5 Dammabschnitt 2 mit Blick Richtung Westen (links) und Osten (rechts)

Dammabschnitt 3



Abbildung 6 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 4 mit Blick Richtung Westen (links) und Osten (rechts)

Dammabschnitt 4



Abbildung 7 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 5 mit Blick Richtung Westen (links) und Osten (rechts)

Dammabschnitt 5



Abbildung 8 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 5 mit Blick Richtung Westen (links) und Osten (rechts)



Abbildung 9 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 5 vom 26.02.2021 mit Sicht auf frei liegenden Kabelkanal in rot

Dammabschnitt 6



Abbildung 10 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 6 mit Blick Richtung Westen (links) und Osten (rechts)

Dammabschnitt 7



Abbildung 11 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 7 mit Blick Richtung Osten (links und rechts)

Dammabschnitt 8



Abbildung 12 Bestandsfoto vom Dammabschnitt 7 mit Blick Richtung Westen (links und rechts)

2.2.3.3. Bewuchs Dammkörper

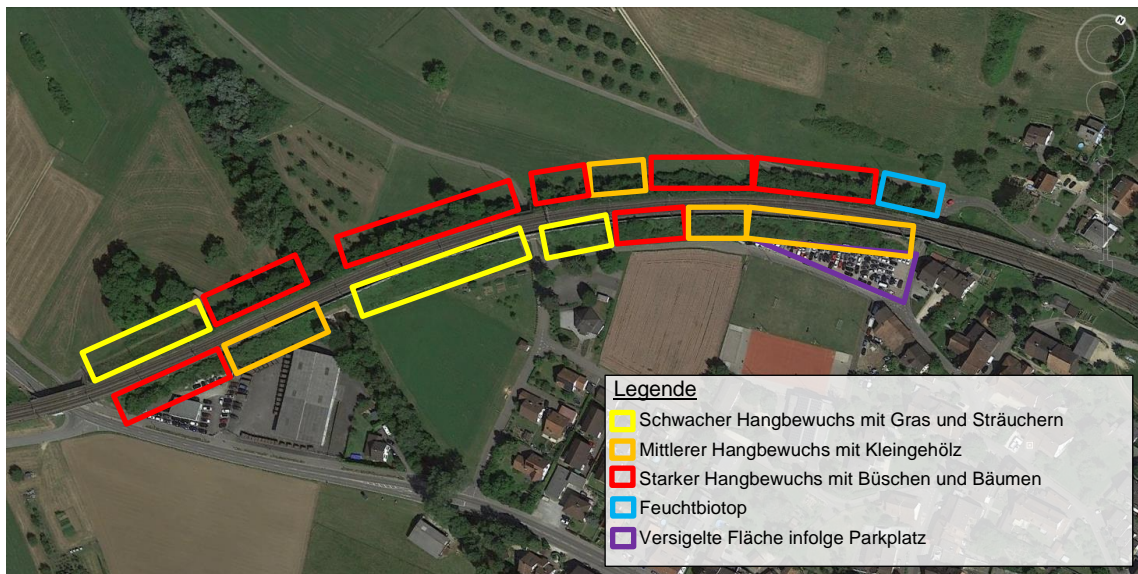


Abbildung 13 Situation Bahndamm mit qualitativer Unterteilung Bewuchs

Der Bahndamm weist je nach Streckenabschnitt einen unterschiedlich starken Bewuchs auf. Dabei wird die Stärke des Hangbewuchs in drei Kategorien unterteilt (schwach, mittel und stark). Weiter gibt es im Nordöstlichen Teil des Projektperimeters ein Feuchtbiotop.

2.2.3.4. Bewegungen Mastfundamente

Von der Vermessung der SBB wurden die horizontalen und vertikalen Verschiebungen der Mastfundamente aufgenommen. Im Projektperimeter bewegen sich die horizontalen Verschiebungen zwischen 2 bis maximal 44 mm.

Wenn die Stärke des Bewuchses (Vgl. Abbildung 14) mit der Grösse der horizontalen Verschiebungen der Mastfundamente verglichen wird, fällt auf, dass die stärksten Verschiebungen vor allem in Bereichen auftreten, wo der Bewuchs sehr stark ist. Dies deutet darauf hin, dass der Bewuchs der Dammböschungen einen Einfluss auf die Verformungen des Dammkörpers hat. Näheres zu den Effekten aus Bewuchs wird in Kapitel 2.2.3.4 erläutert.

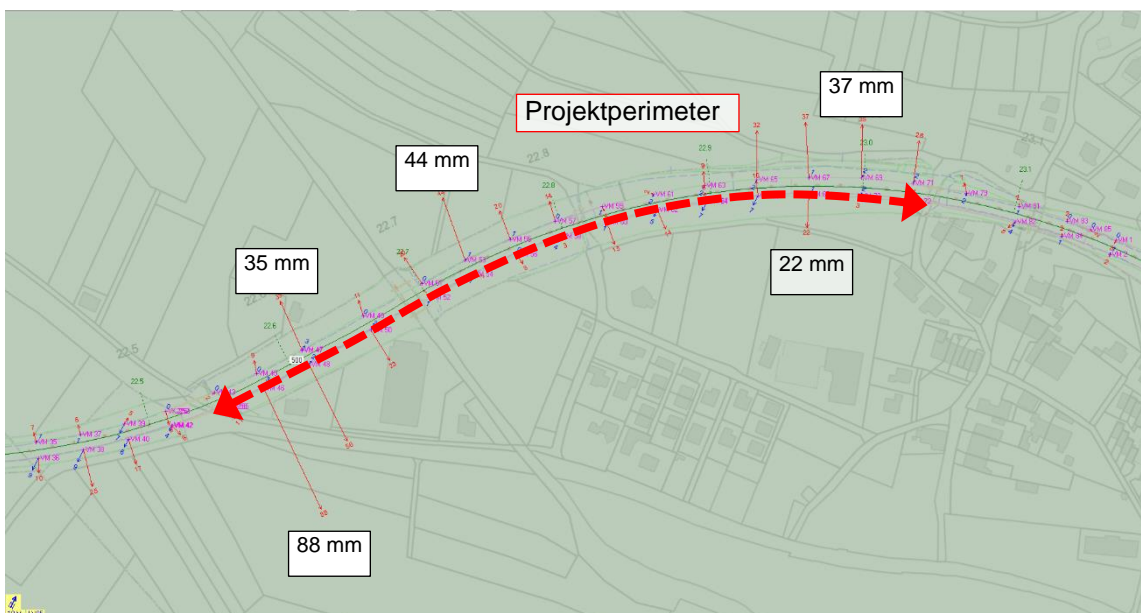


Abbildung 14 Situation Projektperimeter mit horizontale Verschiebung Mastfundamente (Stand: Jahr 2020)

2.2.3.5. SI-Messungen

Zusammenfassende Beurteilung der SI-Messungen als Auszug aus [9]:

Der Damm Böckten zeigte in den Jahren 2007-2009, während der Bauarbeiten, ein stark verändertes (beschleunigtes) Bewegungsverhalten.

Die Kontrollmessungen vom Juni 2020 (Periode 2015-2020) zeigen gegenüber der Periode 2007-2009 eine starke Reduktion der Deformationszunahmen.

Bezüglich der Vormessungen 2011-2015 zeigen die neuen Messungen, mit Deformationsgeschwindigkeiten von 3.1 mm/Jahr (B1 Süd), 0.3 mm/Jahr (B2 Mitte) und

1.7 mm/Jahr in B3 (Nord),

- eine weitere Reduktion der Deformationszunahmen im Messrohr B2 (Mitte), jedoch
- eine Zunahme der Deformationsgeschwindigkeit in der Messstelle B1 (Süd) von 1.7 auf 3.1 mm/Jahr bzw. an der Messstelle B3 (Nord) von 0.9 auf 1.7 mm/Jahr.

Die in der Periode 2015-2020 gemessenen Deformationsgeschwindigkeiten liegen in der Größenordnung des Deformationsverhaltens in der früheren Zeitperiode 1994-2007.



Abbildung 15 Situation SI-Messungen [9]

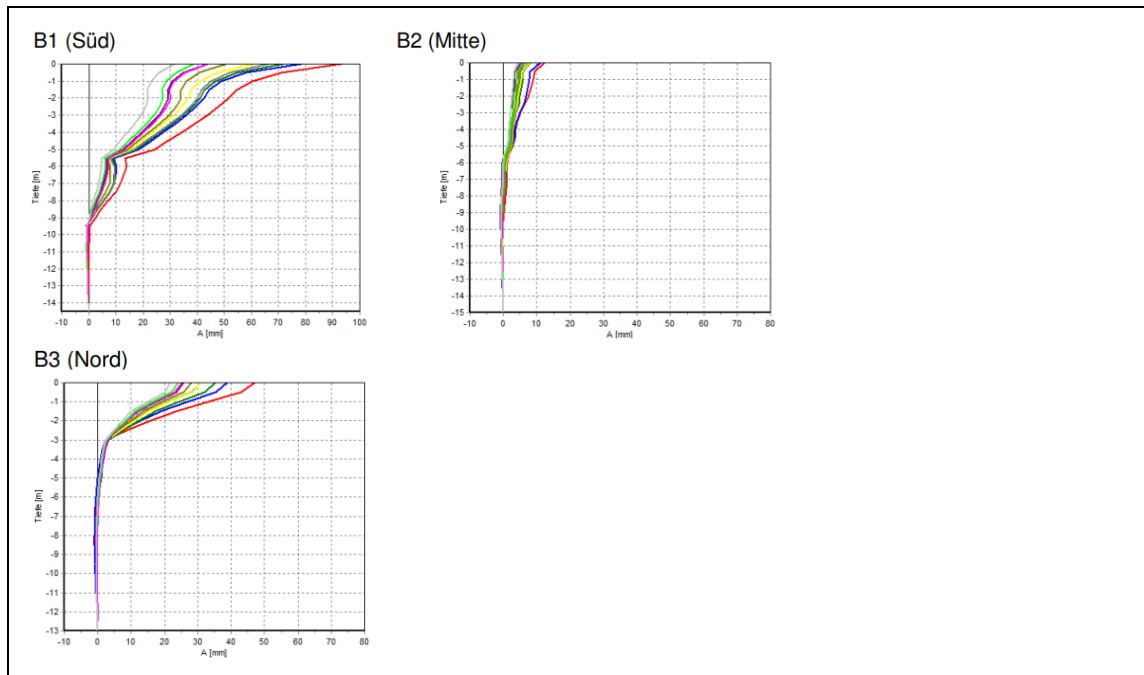


Abbildung 16 Deformationsänderungen SI-Rohre 1993/94 – 2020 in Richtung Hang [9]

Aus dem Bericht vom 19.06.1992 [3] geht hervor, dass die in den Jahren 1990 und 1991 gemessenen Horizontalverformungen an der Dammkrone jeweils anfangs Herbst auftraten. Weiter wird beschrieben, dass die Bewegungen bis in Tiefen von 4.5 bis 6.5 m auftreten. Das Bewegungsverhältnis vertikale Setzungen zu den horizontalen Kopfbewegungen beträgt dabei 1:1.

Unterschiedliche Bewegungsverhalten in den einzelnen Halbjahres-Kontrollperioden werden in [9] ebenfalls nochmals erwähnt.

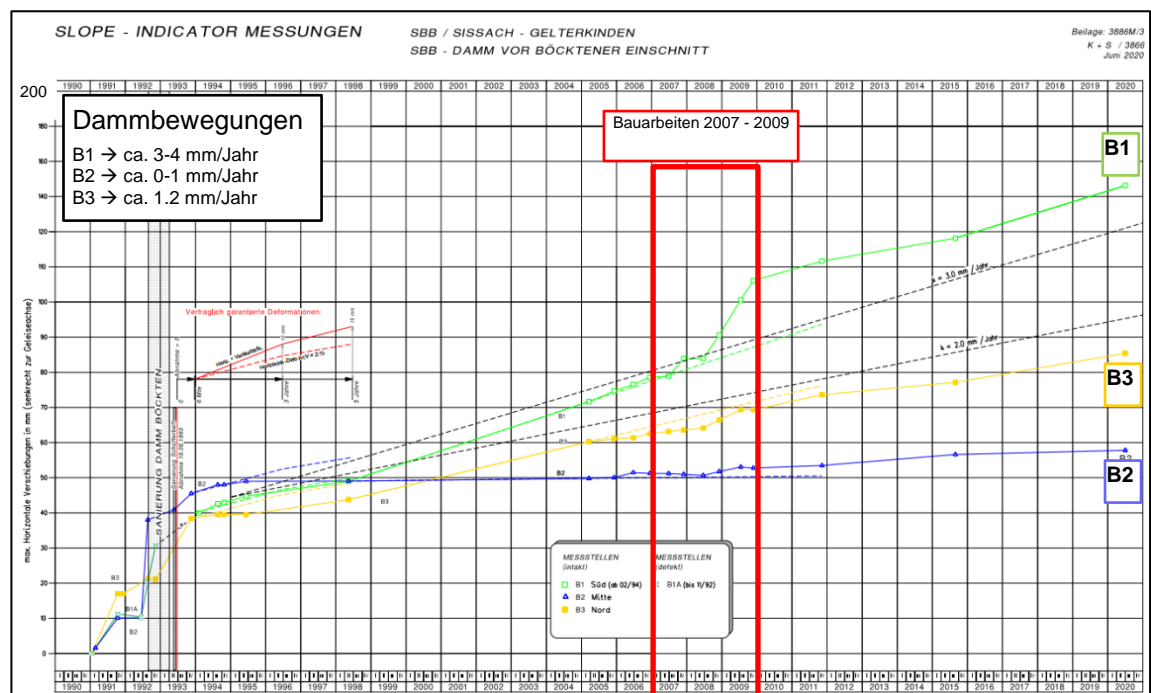


Abbildung 17 Zeitlicher Verlauf der Deformationen an der Geländeoberkante [9]

Gesamthaft deutet das unterschiedliche Bewegungsverhalten in den Halbjahreshälfte auf saisonale Einflüsse hin, welche die beobachtete Korrelation zwischen Hangbewuchs und horizontale

Bewegung der Mastfundamente (Abbildung 13 und Abbildung 14) unterstreicht. Im Spätsommer (Monate August bis September) herrschen die höchsten Temperaturen, was zu lokalen Trockenperioden führen kann. Die Pflanzen (V.A. Bäume mit tiefer greifenden Wurzeln) ziehen Feuchtigkeit aus dem Boden (hier Dammkörper), was bei bindiger Bodenstruktur zu Saugspannungen in Richtung Bewuchs führt.

2.2.3.6. Vermessung Querprofile

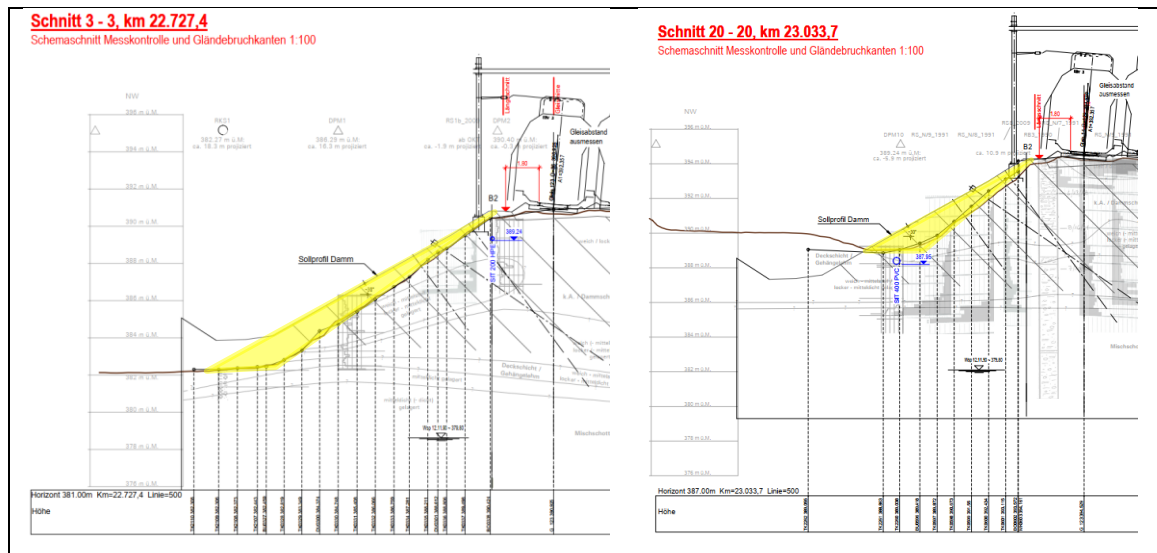


Abbildung 18 Ausgewählte Vergleiche Soll-Profil Damm und Ist-Profil aus Vermessung mit Aufzeichnung Massendefizit bei Hang (gelbe Markierung)

Aus der Vermessung der Querprofile geht hervor, dass vor allem bei den Schnitten A bis C und F bis G das Soll-Profil mit einer Böschungsneigung von maximal 2:3 (ca. 33°) nicht eingehalten wird (Vgl. gelbe Markierung in Abbildung 18). Ebenso beim Querschnitt im erweiterten Projektbereich tritt dieses Unterprofil auf. Weiter, wenn die Verformungen aus Abbildung 14 und Abbildung 15 betrachtet werden, stellt man fest, dass ein Zusammenhang zwischen Verformungsgrösse und Nichterfüllung des Soll-Profils besteht.

2.2.3.7. Versagensmechanismen

Anhand der Verformungen im Dammkörper werden mögliche Versagensmechanismen ausgewertet und aus ihnen die passende Sanierung des Dammkörpers eruiert. Dabei werden neben den statischen auch bauphysikalische Aspekte, Bauzeit, Kosten, Bauen unter Betrieb etc. mitberücksichtigt. Dabei gilt es die Ursache der anhaltenden Verformungen und nicht nur die Wirkung (Kräfte und daraus resultierende Verformungen) zu sanieren, damit innerhalb des Dammkörpers keine Zwänge entstehen. Ziel ist es die Verformungen auf ca. 0 – 1 mm/Jahr zu reduzieren.

Bei der Ermittlung der Versagensmechanismen werden neben den klassischen Versagensmechanismen wie Grundbruch, Gleiten und Instabile Zonen auch Umwelteinflüsse mitbetrachtet. Dabei fällt auf, dass die Verformungen vorwiegend im Spätsommer auftreten und hin zu den stärker bewachsenen Dammsseiten tendieren. Dies zeigt, dass neben den dynamischen Beanspruchungen aus Bahnverkehr die ungleichmässige Bepflanzung des Dammkörpers einen wesentlichen Einfluss auf die anhaltenden Verformungen im Dammkörper hat. In den Sommermonaten, wo auch verstärkt Trockenperioden auftreten, entstehen in der bindigen Matrix des Dammmaterials Saugspannungen. Diese bewirken anhaltende, horizontale Verformungen im Dammkörper. Die betragsmässig grössten Verformungen sind in Bereichen, wo die Bepflanzung des Hangs am stärksten ist.

Eine Übersicht aller untersuchten und beurteilten Versagensmechanismen kann der Beilage 5 (Übersichtsmatrix Versagensmechanismen) entnommen werden.

2.2.3.8. Bereits durchgeführte Sanierungen

Bereits in den 1990-er Jahren wurde aufgrund starker Deformationen (Setzungen und horizontale Verschiebungen) der Damm geotechnisch untersucht und Sanierungen mittels Injektionen und Verdübelungen (Nägel) durchgeführt. Ziel war es die innere Festigkeit des Dammkörpers zu erhöhen. Nach Beendigung der Sanierungsmassnahmen wurden auf der nördlichen Dammseite drei Inklinometermessstellen installiert, mit welchen periodisch die Dammverschiebungen (horizontal) festgehalten werden können. Diese betragen in der Dammkrone 1 – 4 mm/Jahr, welche für die zunehmend wachsenden Ansprüche des Bahnverkehr zu gross sind.

2.2.4. Bahnzugang und technische Gebäude

nicht betroffen

2.2.5. Technische Anlagen

nicht betroffen

2.2.6. Sicherungsanlagen

Erarbeitung durch den Fachdienst SAZ

2.2.7. Fahrstrom

Erarbeitung durch den Fachdienst FS

2.2.8. Kabelanlagen

Erarbeitung durch den Fachdienst KAB

2.2.9. Telecomanlagen

Erarbeitung durch den Fachdienst KAB

2.3. Grundlagen und Planungsannahmen

- [1] Vektoren Verschiebung Mastfundamente, SBB AG, 20.01.2021
- [2] Vermessung Querprofile, SBB AG, 03.03.2021
- [3] SBB-Damm nach Böcktener Einschnitt, Dammsetzungsuntersuchung, Dok. 1319, Kiefer & Studer AG, Reinach, 31.01.1992
- [4] SBB-Damm nach Böcktener Einschnitt, Sanierungsmöglichkeiten und Ausführungsantrag, Dok. 1319, Kiefer & Studer AG, Reinach, 19.06.1992
- [5] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, Feststellung der inneren Dammfestigkeit 2009, Dok. 3866 K, Kiefer & Studer AG, Reinach, 26.02.2010
- [6] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, SI – Kontrollmessung 2011, Dok. 3866 L, Kiefer & Studer AG, Reinach, 22.03.2012
- [7] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, SI – Kontrollmessung 2015, Dok. 3866 M, Kiefer & Studer AG, Reinach, 02.09.2015
- [8] Objektstudie, 4461 Böckten, Dammsanierung Linie 500, km 22.7 bis km 23.2, Pfirter, Nyfeler + Partner AG, 17.02.2016
- [9] SBB-Damm vor Böcktener Einschnitt, SI – Kontrollmessung 2020, Dok. 3866 M, Kiefer & Studer AG, Reinach, 29.06.2020
- [10] Auszug Gleisplan Böckten-Gelterkinden, SBB AG

- [11] Situation und Schnitte des Dammkörpers mit Schichtenverlauf, Geotechnisches Institut, 15.01.2021
- [12] GeoPortal, Kanton Basel-Landschaft
- [13] Swisstopo, Bundesamt für Landestopografie
- [14] Geologischer Bericht mit Angaben zum Baugrund und den Grundwasserverhältnissen, Geotechnisches Institut, 16.07.2021
- [15] Dammbau in Theorie und Praxis, 2. Auflage, Werner Striegler, 1998
- [16] Soil nail remediation of seasonal slope movements in an old clay fill embankment dam, Andrew Lees, September 2013
- [17] Embankment stabilization works between Rayners Lane and South Harrow Underground stations, Antoine Andréi, Oktober 1999
- [18] Baugrundverbesserung, Mitteilung der Geotechnik Schweiz, Heft 170, Mai 2015
- [19] Rüttelstopfverdichtung:
<https://www.kellergrundbau.de/kompetenzen/verfahren/ruettelstopfverdichtung>
- [20] Mixed-In-Place:
<https://www.bauer-schweiz.ch/de/bauverfahren/mip/>
- [21] Fräs-Misch-Injektionstechnologie:
[https://www.zueblin-spezialtiefbau.de/databases/internet/_public/files30.nsf/Search-View/632292B929DE3DF2C12582B20028C792/\\$File/STR_ZUEB_Spezialtiefbau_Fraes_Misch_Injektionstechnologie.pdf](https://www.zueblin-spezialtiefbau.de/databases/internet/_public/files30.nsf/Search-View/632292B929DE3DF2C12582B20028C792/$File/STR_ZUEB_Spezialtiefbau_Fraes_Misch_Injektionstechnologie.pdf)
- [22] Soilcrete:
<http://www.keller-mts.ch/de/soilcrete.asp>
- [23] Verdichtungsinjektion:
<http://www.keller-mts.ch/de/injektionen.asp>
- [24] Drainagebohrungen:
<https://gstb.ch/drainagebohrungen/>
- [25] Hangstabilisierung durch Elektroosmose:
<http://www.electrokinetic.co.uk/reinforcement.htm>

2.4. Projektbegrenzung

Der durch das Projekt direkt betroffene Projektperimeter erstreckt sich von km 22.50 bis 23.05.

Als Drittprojekt zu berücksichtigen:

- Sanierung Hauenstein Basistunnel

Weitere Vorhaben Dritter (Kanton, Gemeinde, Private), welche an den Projektperimeter angrenzen oder diesen beeinflussen, sind aktuell keine bekannt.

2.5. Auswirkung bei Nichtausführung

Der Damm hat im Mittel eine Böschungsnäigung von ca. 36°. In Kombination mit den schlechten Bodenkennwerten aus der künstlichen Auffüllung resultiert eine statische Ausnutzung von 1.48 und ist somit nicht erfüllt (Details dazu im Dokument 01.6). Weiter weist die Dammkrone horizontale und vertikale Verformungen von ca. 3 – 4 mm / Jahr auf. Daraus resultieren erhöhter Unterhaltsbedarf der Gleise, welche mit Langsamfahrstellen verbunden sind. Bei deutlicher Zunahme der Verschiebungen und Andeutung von Versagensmechanismen sind Sofortmassnahmen (z.B. Langsamfahrstellen bis zur Totalsperrung) anzuordnen.

Bei Hinauszögerung der Sanierungsmassnahme um 5 bzw. 10 Jahre (Jahr 2030 bzw. 2035) resultieren neben der Gefahr eines Versagens im Dammkörper auch höhere Gesamtinvestitionskosten (zuzüglich Bauwerksüberwachungen und -beurteilungen) von +2.7 Mio CHF (Jahr 2030) bzw. +5.7 Mio. CHF (Jahr 2035).

Näheres dazu kann dem Bericht «Investitionskosten O-IBN / S-IBN» in der Version 03 vom 17.09.2021 entnommen werden.

3. Projektübersicht (SOLL)

3.1. Geomatik

IST = SOLL

3.1.1. Gleisanlagen

3.2. Fahrbahn

IST = SOLL

3.3. Ingenieurbau

3.3.1. Ziel der Begrenzung der Verformungen

Von Seiten SBB bestehen folgende Randbedingungen für die Wahl der Sanierungsmassnahme:

- Nachhaltigkeit bzw. Dauerhaftigkeit der Sanierung
- Baulogistik (Bauen unter Betrieb)
- Möglichst kurze Bauzeit
- Kosten
- Möglichst kurze Sperrpausen

Eine Übersicht der untersuchten Versagensmechanismen in fünf Schnitten von km 22.695 – km 23.042 kann der Beilage 1 entnommen werden. Dort werden die jeweiligen Versagensmechanismen auf ihre Wahrscheinlichkeit (Interaktion mit dem Geologen) geprüft und die Weiterverfolgbarkeit beurteilt. Aus diesen Versagensmechanismen werden folgende als am wahrscheinlichsten eintretend beurteilt:

- Setzungen und Gleiten auf Schichtgrenzen
- Blockgleiten
- Setzungen und horizontale Verschiebungen infolge Vertikalkräfte
- Saisonale Einflüsse

Anhand dieser herausgefilterten Versagensmechanismen werden verschiedene Sanierungsmöglichkeiten untersucht (Vgl. Bewertungsmatrix in Beilage 2). Eine konsolidierte Matrix mit den bevorzugten Sanierungsmöglichkeiten kann Beilage 3 entnommen werden.

Für die Bodenverbesserung bzw. -verdichtung ist das Verfahren mittels Rüttelstopfsäulen die Vorzugsvariante. Näheres zum Entscheid bzgl. Rüttelstopfsäulen kann der Aktennotiz 01a vom 25.05.2021 (Beilage 4) entnommen werden.

Als Bankettsicherung gegen die horizontalen Verformungen soll abschnittsweise ein rückvreankerter Kopfbalken und eine Dammreprofilierung zur Anwendung kommen.

In den Kapiteln 4.3.2 bis 4.3.6 wird die Untersuchung der Versagensmechanismen und der Sanierungsmassnahmen nochmals näher erläutert.

3.4.

3.4. Bahnzugang und technische Gebäude

nicht betroffen

3.5. Technische Anlagen

nicht betroffen

3.6. Sicherungsanlagen

IST = SOLL

3.7. Fahrstrom

IST = SOLL

3.8. Kabelanlagen

IST = SOLL

3.9. Telecomanlagen

IST = SOLL

Beschreibung	Wichte [kN/m³]	Reibungswinkel phi° [°]	Kohäsion c' [kN/m²]	ME-Wert [MN/m²]
Allgemein	19 – 20.5	22 – 28	0 – 20	7 – 20

Tabelle 3: Bodenmechanische Kennwerte Deckschicht

- Mischschotter
 - o Die unter dem Dammkörper liegenden Mischschotter weisen eine relativ niedrige Lagerungsdichte auf.
 - o Dabei handelt es sich häufig um recht bindige Kiese.

Beschreibung	Wichte [kN/m³]	Reibungswinkel φ ⁱ [°]	Kohäsion c ⁱ [kN/m²]	ME-Wert [MN/m²]
Allgemein	20 – 21.5	30 - 38	0 - 10	30 - 70

Tabelle 4: Bodenmechanische Kennwerte Mischschotter

4.3.2. Versagensmatrix Übersicht

Eine Übersicht der verschiedenen Versagensmechanismen in den jeweiligen Schnitten wurde in einer Entscheidungsmatrix zusammengestellt. Siehe Beilage 1.

[illegible]

Abbildung 20 Versagensmatrix Übersicht informativ

4.3.3. Untersuchung mögliche Versagensmechanismen - Detailbetrachtung

Eine Gesamtübersicht mit Beurteilungsmatrix der Versagensmechanismen in den jeweiligen Schnitten kann der Beilage 1 entnommen werden.

4.3.3.1. Setzung und Gleiten auf Schichtgrenzen

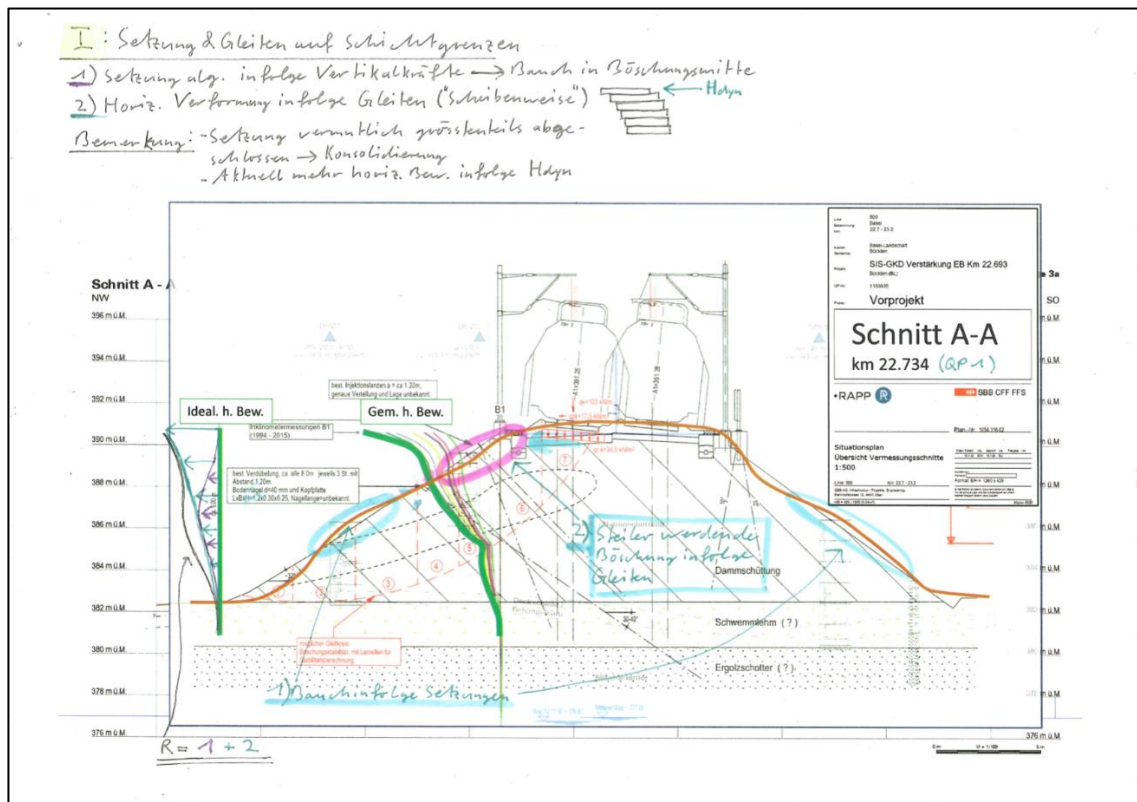


Abbildung 21 Versagensmechanismus 1: Setzung infolge Vertikalkräfte und Gleiten auf Schichtgrenzen

- Versagensmechanismus
 - o Setzungen infolge Vertikalkräfte
 - o Horiz. Verformungen infolge Gleiten
- Resultierende Verformungsbilder
 - o Bauchbildung auf halber Höhe inf. Setzung
 - o Steiler werdende Böschung in Richtung Dammkrone infolge Gleiten
- Weitere Bemerkung
 - o -
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 4 (wahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Ja

4.3.3.2. Gleitkreismechanismus

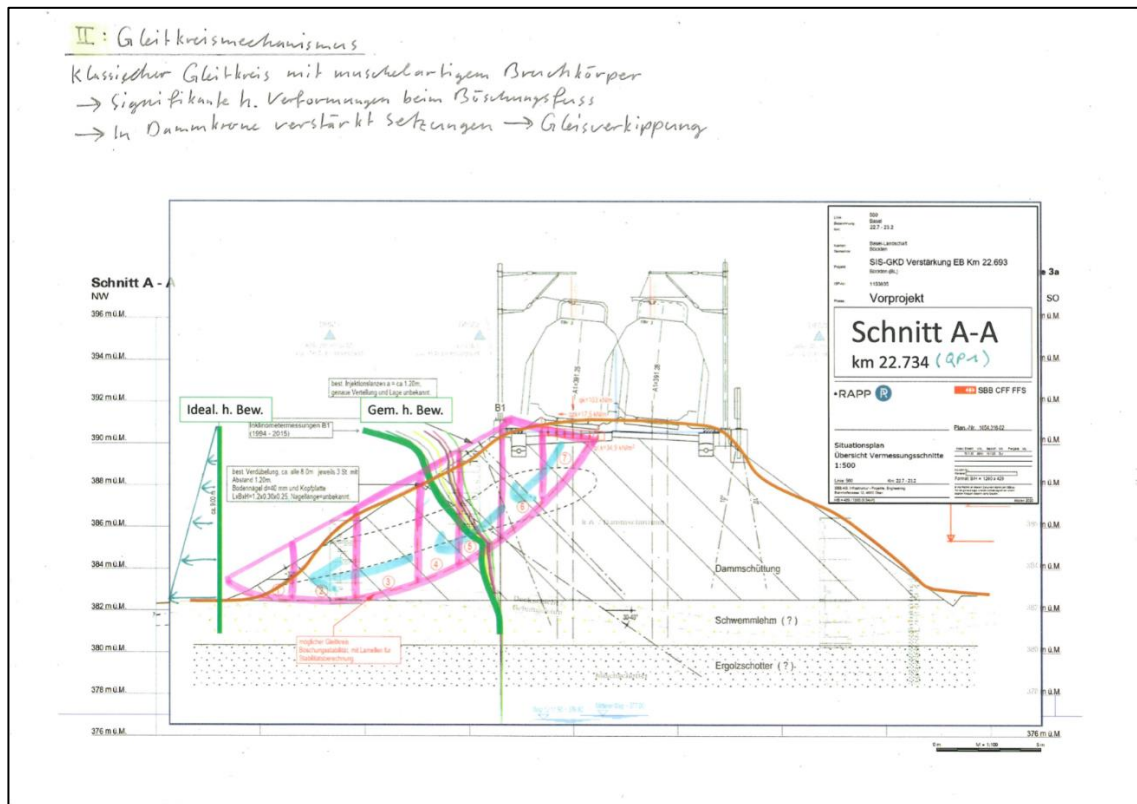


Abbildung 22 Versagensmechanismus2: Gleitkreismechanismus

- Versagensmechanismus
 - o Klassischer Gleitkreismechanismus infolge Vertikallasten
- Resultierende Verformungsbilder
 - o Wegrutschen des Böschungsfusses (max. horiz. Verf. am böschungsfuss)
 - o (Differenz)Setzungen bei der Dammkrone → untersch. Gleishöhen
- Weitere Bemerkung
 - o Ggf. in Kombination mit Gleiten in Schichten (Analog zu I)
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 2 (weniger wahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Nein

4.3.3.3. Lokaler Gleitkreis bzw. instabile Lamellen

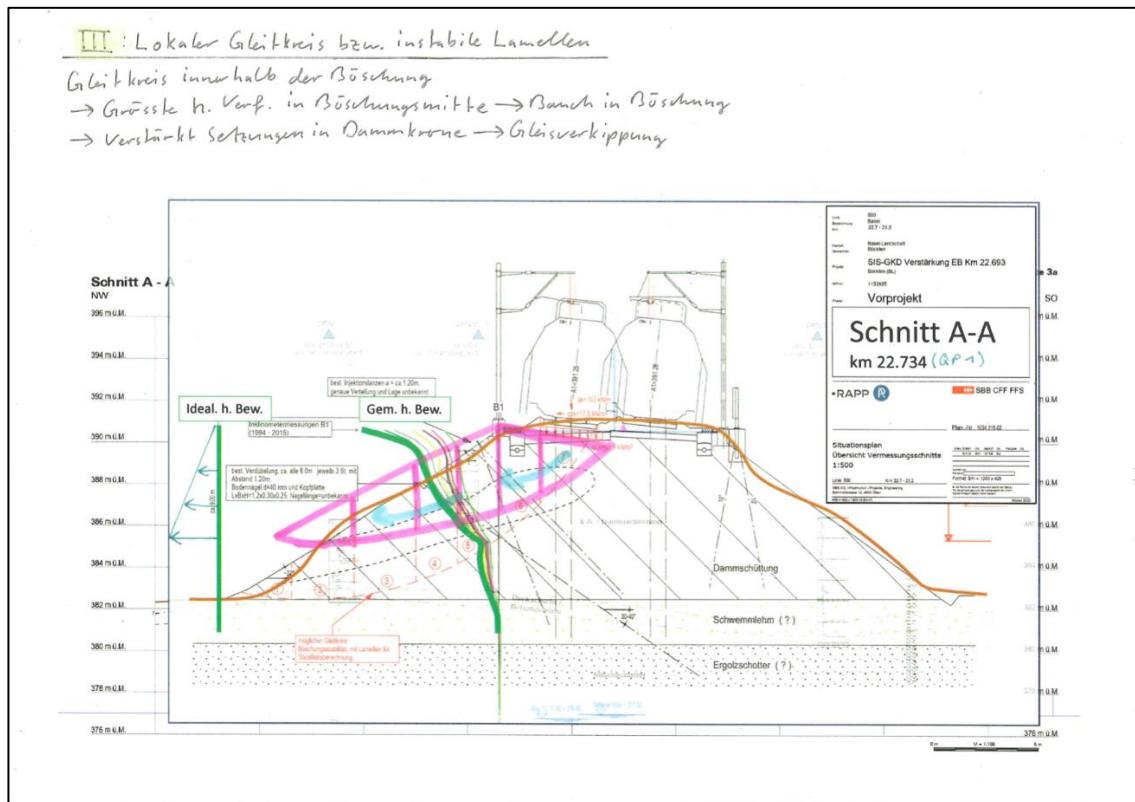


Abbildung 23 Versagensmechanismus 3: Lokaler Gleitkreis bzw. instabile Lamelle

- Versagensmechanismus
 - o Lokaler (kleinerer) Gleitkreis infolge Vertikal-lasten
- Resultierende Verformungsbilder
 - o Wegrutschen der Böschungsmitte (max. horiz. Verf.)
 - o (Differenz)Setzungen bei der Dammkrone → unterschiedliche Gleishöhen!
- Weitere Bemerkung
 - o Ggf. in Kombination mit Gleiten in Schichten (Ana-log zu I)
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 3 (bedingt wahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Nein

4.3.3.4. Blockgleiten

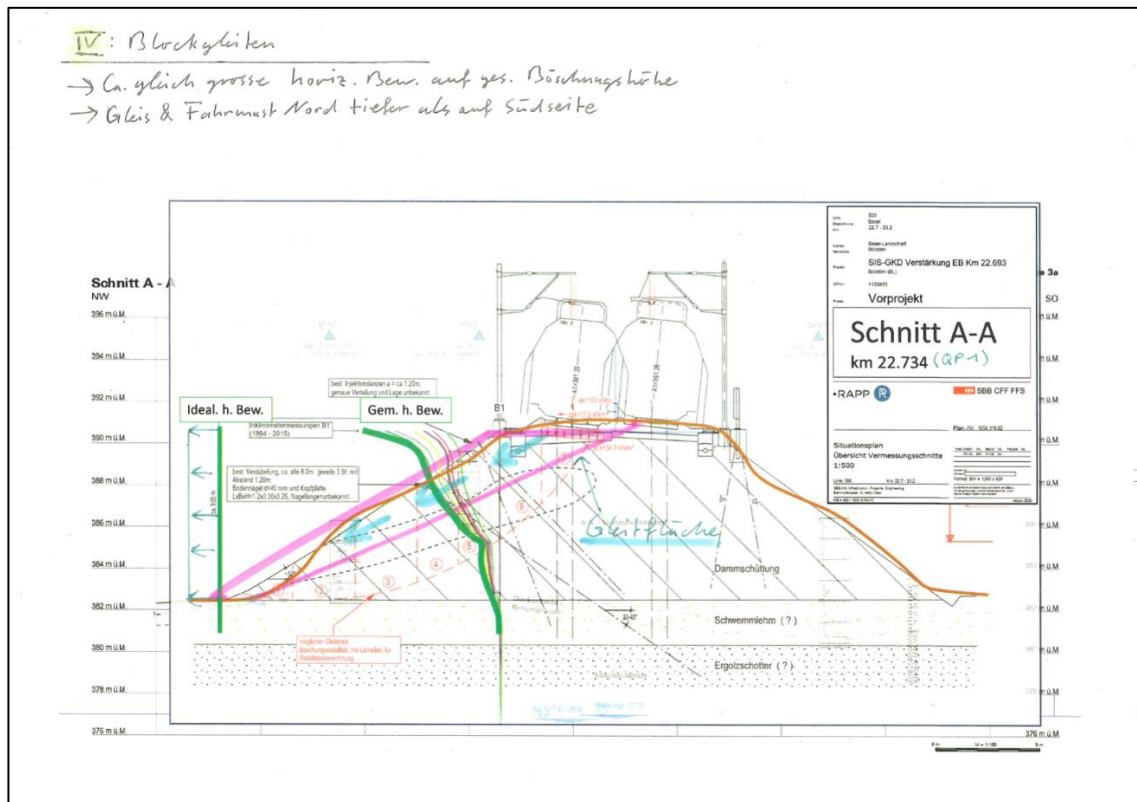


Abbildung 24 Versagensmechanismus 4: Blockgleiten

- Versagensmechanismus
 - o Wegrutschen eines Bruchkörpers entlang einer Gleitfläche (Schwächezone) in Folge Vertikallasten
- Resultierende Verformungsbilder
 - o (Differenz)Setzungen bei der Dammkrone --> untersch. Gleishöhen!
 - o Ausbrüche beim Böschungsfuss
- Weitere Bemerkung
 - o Ggf. in Kombination mit Gleiten in Schichten (Analog zu I)
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 4 (wahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Ja

4.3.3.5. Setzung und horizontale Verschiebung infolge Vertikalkraft

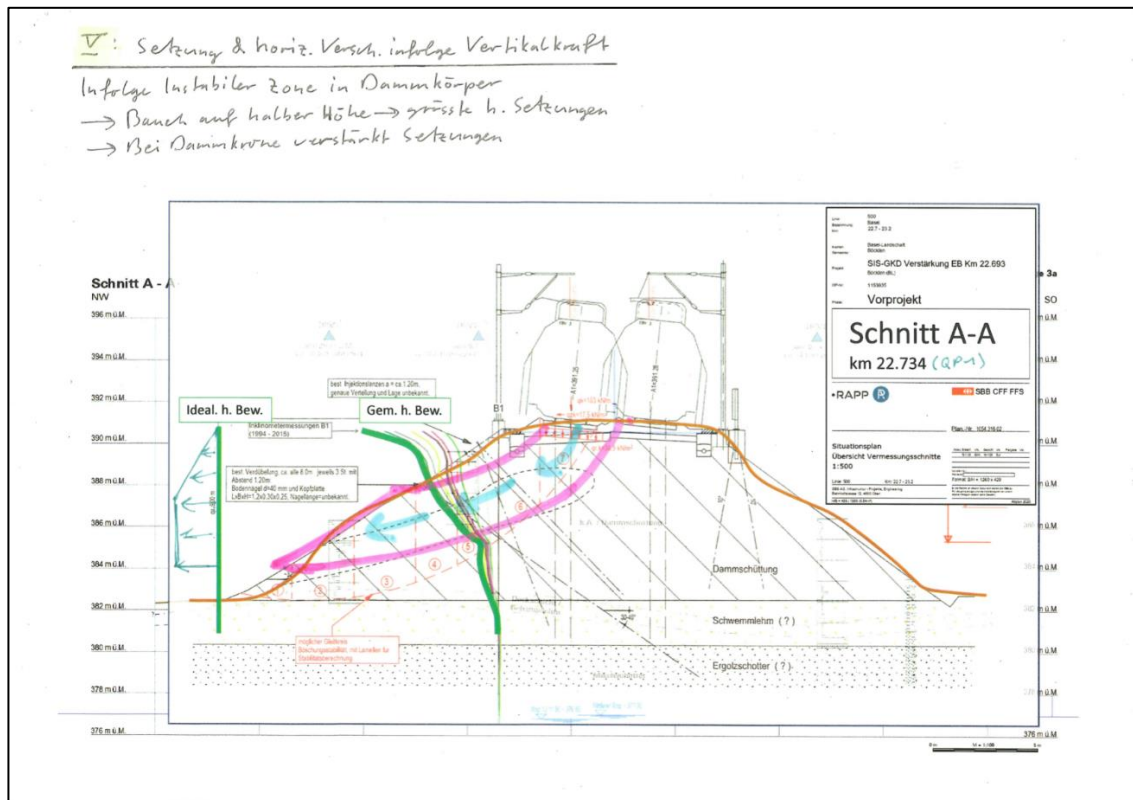


Abbildung 25 Versagensmechanismus 5: Setzungen und horizontale Verformungen infolge Vertikalkräfte

- Versagensmechanismus
 - o Lokal steiferer Körper, welche die Vertikallasten in sich abträgt (Rosa Bereich)
 - o Dammkörper rundherum weicher → zieht weniger Last an.
 - o Ausbruch des besseren (lastabtragenden) Teilkörpers aus der Böschung heraus.
- Resultierende Verformungsbilder
 - o Bauchbildung auf halber Böschungshöhe, da Teilkörper aus dem Damm herausdrückt (-bricht)
 - o (Differenz)Setzungen bei der Dammkrone --> untersch. Gleishöhen!
- Weitere Bemerkung
 - o Ggf. in Kombination mit Gleiten in Schichten (Ana-log zu I), Kriechen um den Nagel herum
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 3 (bedingt wahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Ja

4.3.3.6. Saisonale Einflüsse

Schwind- und Kriechbewegungen infolge Jahreszeiten

Saugspannungen infolge einseitiger Bepflanzung

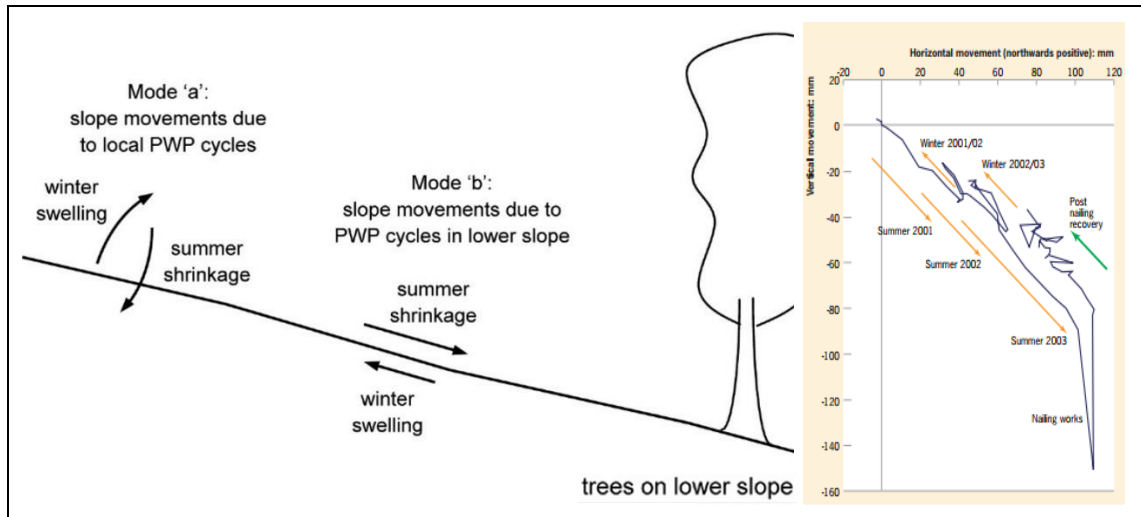


Abbildung 26 Versagensmechanismus 6: Hangverformungen infolge saisonaler Einflüsse: Links (Schemadarstellung), Rechts (Verlauf der Verformungen) [16]

- Versagensmechanismus
 - o Im Sommerhalbjahr gibt es lokal grössere Trockenperioden. Daraus entstehen zur Bepflanzung hin im Dammkörper Saugspannungen.
 - o Bindige Matrix des Dammmaterials begünstigen die Saugspannungen.
 - o Infolge Saugspannungen finden horizontale Verformungen hin in Richtung Bepflanzung statt.
- Resultierende Verformungsbilder
 - o Infolge Saugspannungen finden horizontale Verformungen hin in Richtung Bepflanzung statt.
 - o Durch Massenbilanz im Dammkörper entstehen zusätzlich zu den Horizontalbewegungen auch Vertikalsetzungen statt.
 - o Gemessene Verformungen (grösste bei Dammschulter) passen mit denjenigen in [16] beschriebenen Bewegungsmuster gut überein.
 - o Die grössten horizontalen Verformungen treten dabei auf Höhe Dammkrone auf.
- Weitere Bemerkung
 - o Die draus resultierenden Verformungen korrelieren mit den in Kapitel 2.2.3.3 und 2.2.3.4 beschriebenen Randbedingungen (Bewegungen in Richtung stärkerem Bewuchs und Bewegungen v.a. jeweils Anfangs Herbst).
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 5 (sehr wahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Ja

4.3.3.7. Strukturänderungen im Boden infolge Frosts und Auftauen

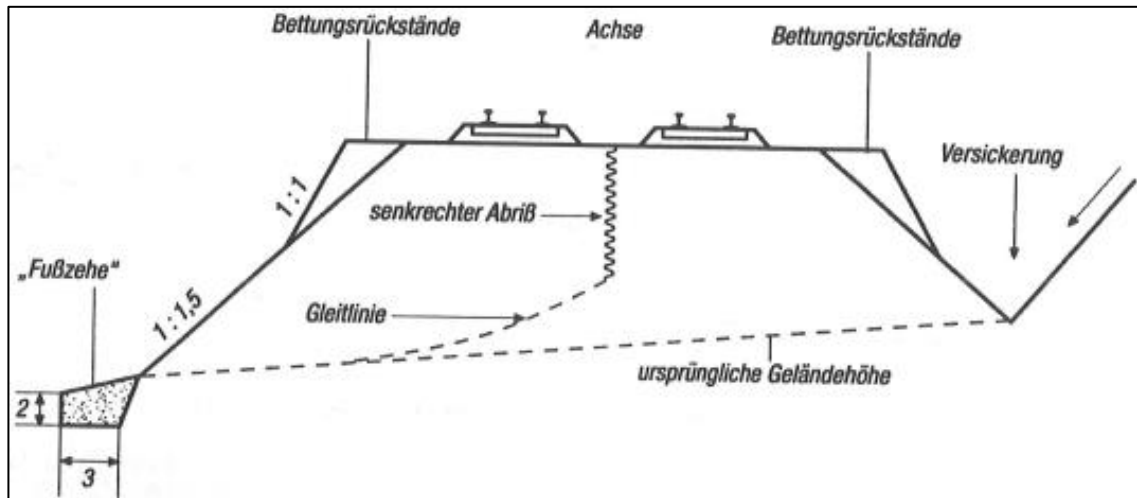


Abbildung 27 Versagensmechanismus 7: Halbseitiges Abreißen eines Bahndamms inf. Strukturänderung [15]

- Versagensmechanismus
 - o Ungenügend verdichtete Dammbaustoffe verwittern im Laufe der Zeit zu plastischen Tonen
 - o In kalten Wintern treten im Böschungsbereich in Tauperioden Verformungen auf
- Resultierende Verformungsbilder
 - o Setzungen und horizontale Verschiebungen
- Weitere Bemerkung
 - o Gemessene Verformungen mit zeitlichem Verlauf finden nicht im Winterhalbjahr auf. Versagensmechanismus passt weniger zu den Messungen und Randbedingungen
- Einschätzung Wahrscheinlichkeit (1-5, 5 = sehr wahrscheinlich)
 - o 2 (eher unwahrscheinlich)
- Weiterverfolgbarkeit des Versagensmechanismus
 - o Nein

4.3.3.8. Beurteilung mgl. Versagensmechanismen

Versagensmechanismus	Beurteilung Möglichkeit	Bemerkung
1. Setzung und Gleiten auf Schichtgrenze	Ja, Weiterverfolgen	Setzungen infolge Vertikalkräfte, Horizontalverformungen auf Schichtgrenzen infolge dynamischer Zentrifugalkräfte
2. Gleitkreismechanismus	Nein	Bruchmechanismus passt weniger zu gemessenen Verformungen
3. Lokaler Gleitkreis bzw. instabile Lamelle	Nein	Bruchmechanismus passt weniger zu gemessenen Verformungen
4. Blockgleiten	Ja, Weiterverfolgen	Sehr heterogener Dammkörper mit unterschiedlich schräg verlaufenden Schichtgrenzen und lokal weichen Zonen
5. Setzungen und horizontale Verschiebung infolge Vertikalkräfte	Ja, Weiterverfolgen	Lokal härtere Zonen, welche Lasten anziehen und sich innerhalb des Dammkörpers bewegen
6. Saisonale Einflüsse	Ja, Weiterverfolgen	Verformungen v.a. in den Sommermonaten, wo auch Trockenperioden vorkommen. Daraus resultieren Saugspannungen hin zum Hangbewuchs. Messungen passen mit Versagensmechanismus gut überein.
7. Strukturänderung infolge Frosts und Auftauen	Nein	Verformungen mehr in den Sommermonaten. Somit weniger zutreffend zu Strukturänderungen im Dammkörper

Tabelle 5 Beurteilung mögliche Versagensmechanismen

Die Versagensmechanismen 1, 4, 5 und 6 werden als am wahrscheinlichsten wirkend betrachtet. Dabei kann infolge Damminhomogenität eine Kombination aus allen drei Versagensmechanismen wirken.

Aus den Umwelteinflüssen und der dynamischen Belastung auf den Dammkörper ist es eine Sanierung zielführend, welche sowohl die Bodenstruktur verbessert bzw. verdichtet (Reduktion der Setzungen) und zeitgleich eine drainierende Wirkung (Reduktion der Saugspannungen) aufweist.

4.3.4. Sanierungsmatrix Übersicht

Eine Übersicht der verschiedenen Sanierungsmassnahmen wurde in einer Entscheidungsmatrix zusammengestellt. Siehe Beilage 2 und 3.

				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000	1001	1002	1003	1004	1005	1006	1007	1008	1009	1010	1011	1012	1013	1014	1015	1016	1017	1018	1019	1020	1021	1022	1023	1024	1025	1026	1027	1028	1029	1030	1031	1032	1033	1034	1035	1036	1037	1038	1039	1040	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1047	1048	1049	1050	1051	1052	1053	1054	1055	1056	1057	1058	1059	1060	1061	1062	1063	1064	1065	1066	1067	1068	1069	1070	1071	1072	1073	1074	1075	1076	1077	1078	1079	1080	1081	1082	1083	1084	1085	1086	1087	1088	1089	1090	1091	1092	1093	1094	1095	1096	1097	1098	1099	1100	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110	1111	1112	1113	1114	1115	1116	1117	1118	1119	1120	1121	1122	1123	1124	1125	1126	1127	1128	1129	1130	1131	1132	1133	1134	1135	1136	1137	1138	1139	1140	1141	1142	1143	1144	1145	1146	1147	1148	1149	1150	1151	1152	1153	1154	1155	1156	1157	1158	1159	1160	1161	1162	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1169	1170	1171	1172	1173	1174	1175	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1182	1183	1184	1185	1186	1187	1188	1189	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1196	1197	1198	1199	1200	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210	1211	1212	1213	1214	1215	1216	1217	1218	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1241	1242	1243	1244	1245	1246	1247	1248	1249	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257	1258	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1267	1268	1269	1270	1271	1272	1273	1274	1275	1276	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284	1285	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1295	1296	1297	1298	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1306	1307	1308	1309	1310	1311	1312	1313	1314	1315	1316	1317	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324	1325	1326	1327	1328	1329	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337	1338	1339	1340	1341	1342	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1357	1358	1359	1360	1361	1362	1363	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1374	1375	1376	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413	1414	1415	1416	1417	1418	1419	1420	1421	1422	1423	1424	1425	1426	1427	1428	1429	1430	1431	1432	1433	1434	1435	1436	1437	1438	1439	1440	1441	1442	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	1450	1451	1452	1453	1454	1455	1456	1457	1458	1459	1460	1461	1462	1463	1464	1465	1466	1467	1468	1469	1470	1471	1472	1473	1474	1475	1476	1477	1478	1479	1480	1481	1482	1483	1484	1485	1486	1487	1488	1489	1490	1491	1492	1493	1494	1495	1496	1497</
--	--	--	--	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	--------

Abbildung 28 Sanierungsmatrix Übersicht informativ

4.3.5. Sanierungsmassnahmen - Detailbetrachtung

4.3.5.1. Komplettersatz Dammkörper

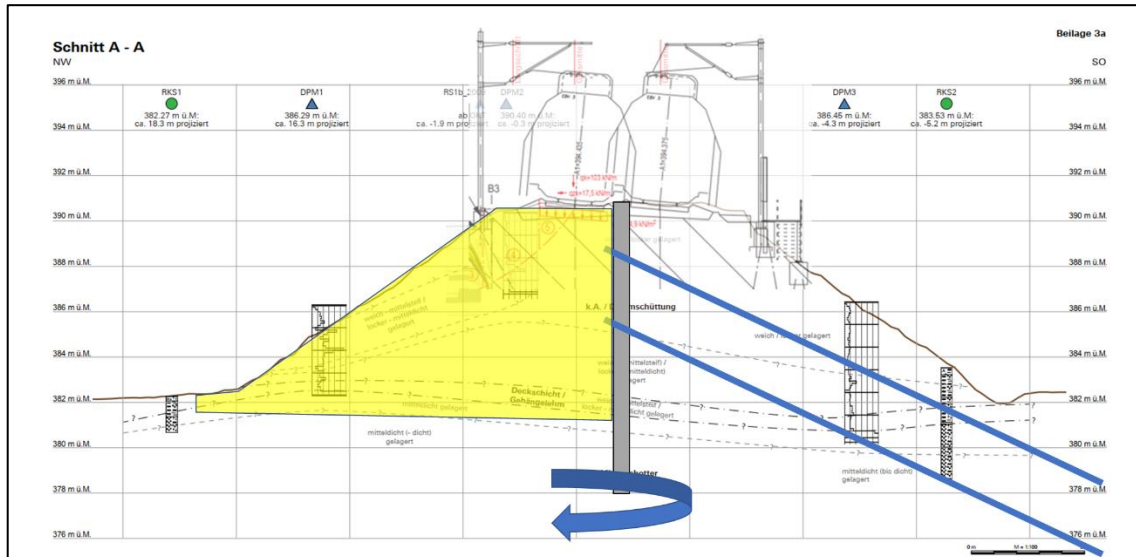


Abbildung 29 Konzept kompletter Ersatz Dammkörper in zwei Schritten mit rückverankertem Mittelverbau

- Funktionsweise
 - Wasser innerhalb des Dammkörpers hat einen grossen Einfluss auf dessen Verhalten bei unterschiedlicher Witterung und Saisonalität
 - Das Wasser sucht sich über die Drainagebohrungen den Weg mit dem geringsten Widerstand.
 - Durch die Elektroosmose wird der Dammkörper zeitlich begrenzt trockengelegt, sodass Konsolidierungen (Setzungen) vorabgenommen werden können.
- Wirkung auf Verformungen
 - Durch Drainagebohrungen werden Porenwasserdrücke und Saugspannungen innerhalb des Dammkörpers reduziert bzw. abgebaut.
 - Dadurch können die Verformungen infolge saisonaler Einflüsse minimiert werden.
 - Durch Vorkonsolidierung können gewisse Setzungen infolge Vertikalkräfte vorweggenommen werden.
- Zwischenbewertung
 - Dieses Verfahren ist vor allem für den Abbau bzw. Reduktion von Porenwasserdrücken geeignet.
 - Diese Variante eignet sich idealerweise als Zusatz zu einer Variante, bei der die Struktur des Bodens gegen Vertikalsetzungen verbessert ist.

4.3.5.2. Bankettsicherung

4.3.5.2.1. Rückverankerter Kopfbaken

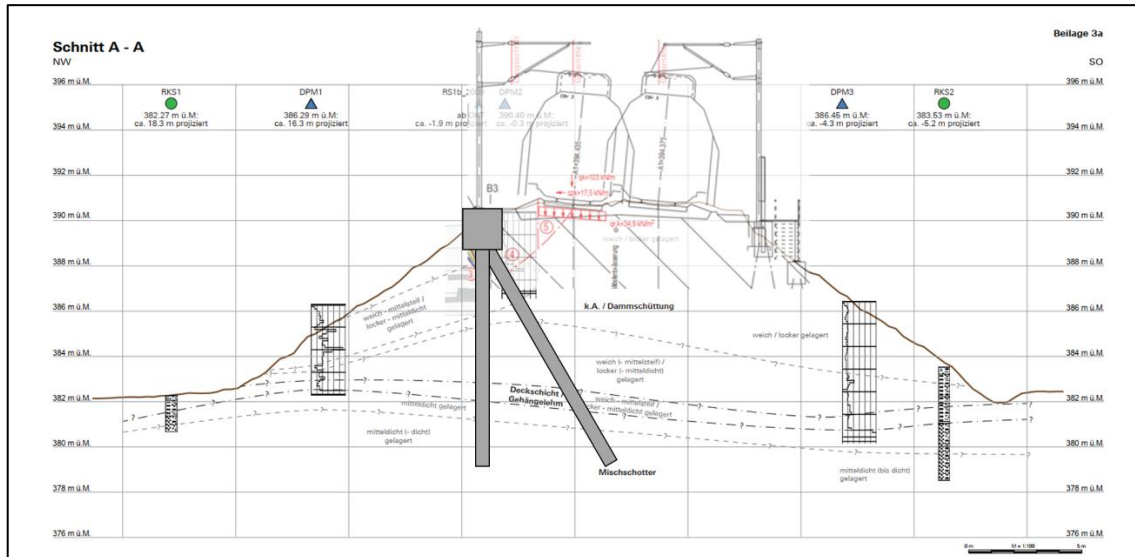


Abbildung 30 Bankettsicherung mittels Ortbetonbalken und Verankerung durch Mikropfähle/Nägel

- Funktionsweise
 - Rückhalt/Sicherung der Dammkrone durch einen horizontalen Balken, welcher auf Mikropfählen fundiert ist.
- Wirkung auf Verformungen
 - Horizontale Verformungen werden dadurch zurückgehalten bzw. minimiert
 - Reduktion von Hangerosion durch Sicherung der Dammkrone.
 - Sicherung der Dammschulter und des Dammprofiles
- Zwischenbewertung
 - Bei diesem Verfahren wird die Wirkung, jedoch nicht die Ursache eliminiert.
 - Daraus kann es langfristig wieder zu Verschiebungen im Dammkörper kommen.
 - Verfahren ist einfach umzusetzen und die Beeinträchtigung des Bahnbetriebes ist gering.
 - Sicherung der lokal frei liegenden Kabelkanäle

4.3.5.2.2. Reprofilierung Dammprofil

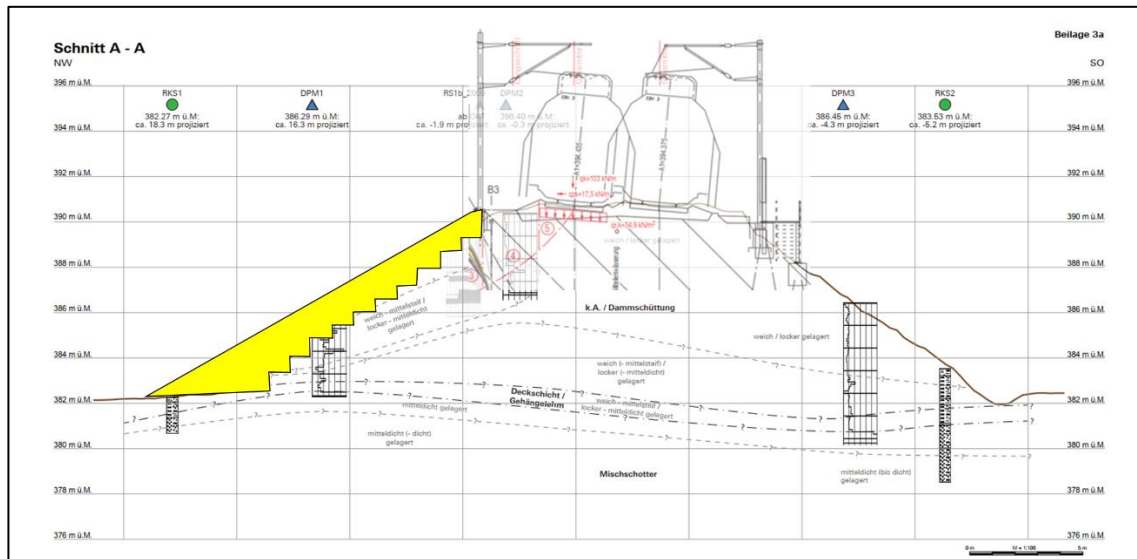


Abbildung 31 Bankettsicherung mittels Reprofilierung (Gelbe Markierung) Dammprofil zu Soll-Profil

- Funktionsweise
 - o Rückhalt/Sicherung der Dammkrone durch Reprofilierung der Dammböschung zu Soll-Profil mit Hangneigung von ca. 2/3
- Wirkung auf Verformungen
 - o Sicherung der Dammschulter und des Dammprofiles
 - o Horizontale Kräfte infolge Bahnbetrieb werden durch Soll-Profil und definiertem Böschungsmaterial zurückgehalten.
 - o Keine Verbesserung allgemeiner Dammkörper bezüglich Setzungen.
 - o Keine bis nur sehr Geringe Wirkung bezüglich horizontaler Verformungen infolge Saugspannungen
- Zwischenbewertung
 - o Bei diesem Verfahren können horizontale Verformungen nur Teilrückgehalten bzw. reduziert werden.
 - o Langfristig können horizontale Verformungen infolge Saisonalität weiter bestehen
 - o Grosser Einschnitt in Umwelt/Naturschutz, da Böschung gerodet und reprofiliert werden muss

4.3.5.3. Übersicht gängiger Verfahren zur Bodenverbesserung

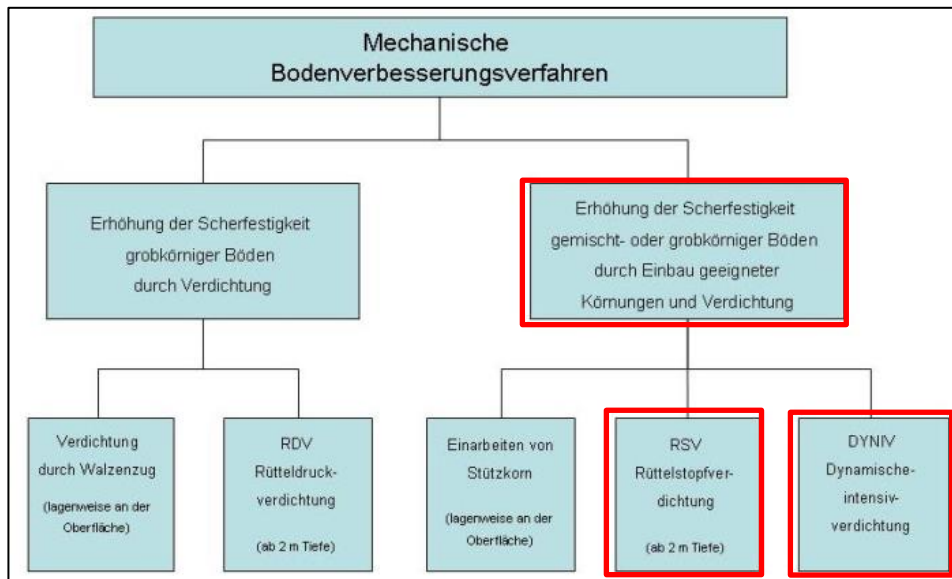


Abbildung 32 Übersicht der mechanischen Bodenverbesserungsverfahren [18]

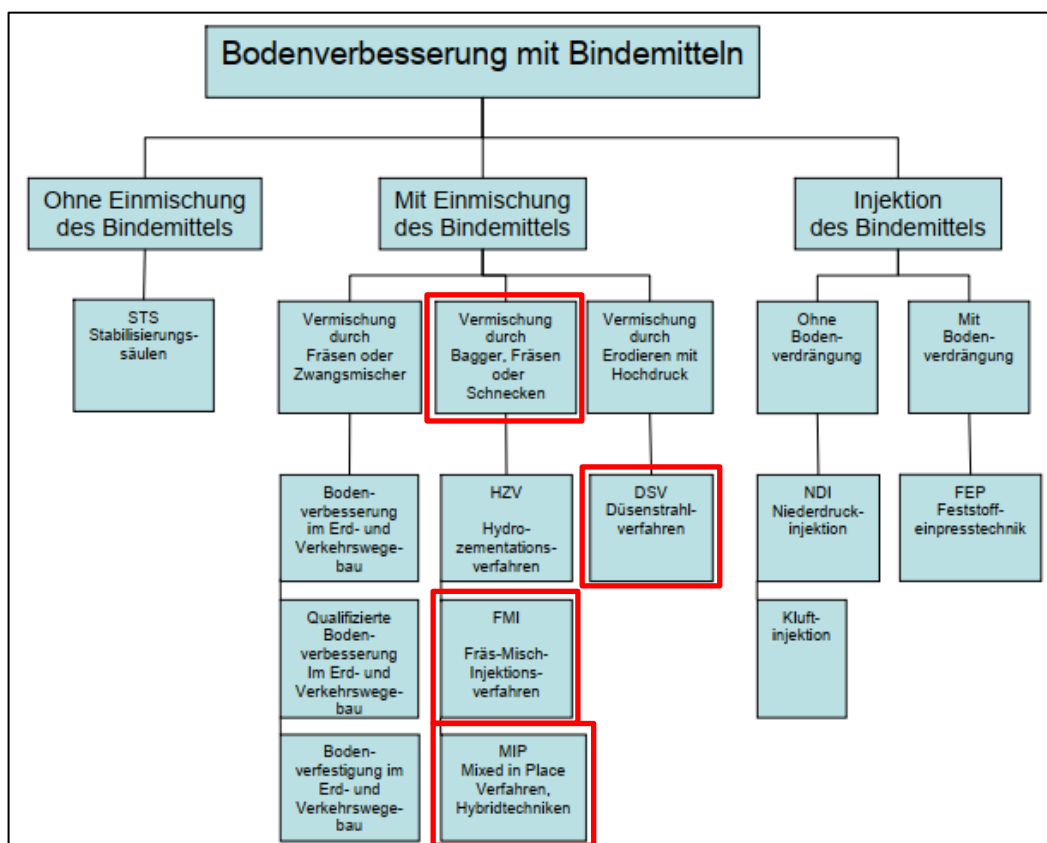


Abbildung 33 Übersicht der Bodenverbesserungsverfahren mit Bindemitteln [18]

4.3.5.3.1. Dynamische Intensivverdichtung bzw. Impulsverdichtung



Abbildung 34 Dynamische Intensivverdichtung: Links (Beispiel Dammsanierung), Rechts (Wirkungsweise) [18]

- Funktionsweise (Auszug aus [18])
 - Bei der Impulsverdichtung handelt es sich um eine dynamische Bodenverdichtung, bei der die Technologie des hydraulischen Schlaghammers ausgenutzt wird, um den Untergrund mit kontrollierten Schlägen zu verdichten.
 - Das Prinzip besteht darin, dass ein Fallgewicht mit einer definierten Masse, mit einer Schlagfrequenz von ca.40-50 Schlägen je Sekunde, auf eine Stahlplatte niedergelassen wird.
- Wirkung auf Verformungen
 - Durch Intensivverdichtung wird die Bodenstruktur des Dammkörpers verdichtet. Dies wirkt sich positiv auf Setzungen infolge Vertikallasten aus, da diese schon vorweggenommen werden.
- Zwischenbewertung
 - Dieses Verfahren deckt die Instandstellung des Dammkörpers gegen den Versagensmechanismus Setzungen gut ab.
 - Auf die weiteren Versagensmechanismen hat dieses Verfahren keine bzw. nur eine sehr geringe Wirkungsweise.
 - Durch die Verdichtung der Bodenstruktur wird die hydraulische Undurchlässigkeit des Dammkörpers weiter verringert. Dies kann zu grösser werdenden Saugspannungen bzw. Porenwasserdrücke führen, was sich in grösser werdenden Horizontalverformungen in den verschiedenen Halbjahreszeiten auswirkt.
 - Für dieses Verfahren müssen Gleise Rückgebaut und Fahrleitung verschoben werden.
 - Für eine einheitliche Wirkung der Verdichtung müssen die dynamischen Verdichtungen in einem engen Raster durchgeführt werden, was zu einer relativ langen Bauzeit führen kann.
 - Durch die dynamische Belastung auf den Dammkörper kann es während den Verdichtungsarbeiten zu lokalen Versagensmechanismen kommen.

4.3.5.3.2. Rüttelstopfverdichtung

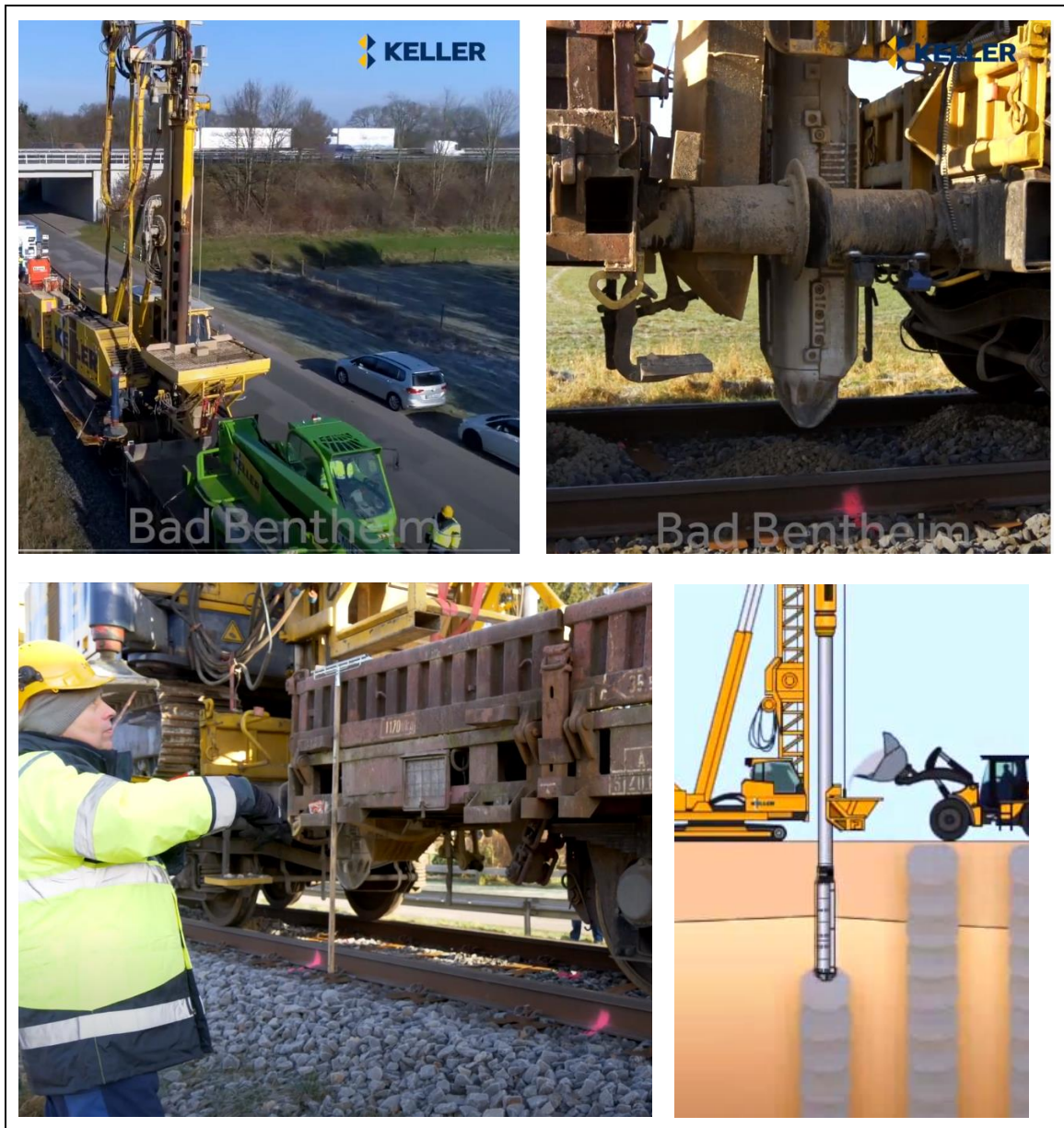


Abbildung 35 Rüttelstopfverdichtung: Obenlinks (Übersicht Bauzug mit Bohrgestell), Obenrechts (Rüttelstopfsonde), Untenlinks (Detail Bauzug mit Bohrgestell), Untenrechts (Beispieldarstellung Herstellung rüttelstopfsäulen) [19]

- Funktionsweise (Auszug aus [19])
 - In den meisten Anwendungsfällen wird ein Schleusenrüttler eingesetzt, bei dem grobkörniges Zugabematerial mit Druckluftunterstützung an der Rüttlerspitze austritt. Weiter wird durch einen zusätzlichen Andruck beim Versenken des Rüttlers und Verdichten des Bodens erzielt.
 - Beim Rüttelstopfverfahren wird in alternierenden Schritten gearbeitet. Der beim Rüttlerhub austretende Kies oder Schotter wird beim Andrücken verdichtet und seitlich in den Boden verdrängt. Auf diese Weise entstehen Stopfsäulen, die im Verbund mit dem Boden die Lasten abtragen. Die Herstellparameter werden digital im Gerät aufgezeichnet.
- Wirkung auf Verformungen

- Durch die Erstellung der Rüttelstopfsäulen wird der darum liegende Boden mitverdichtet
 - So wird Gesamtstruktur des Dammkörpers verbessert und Sensitivität der Vertikalsetzungen infolge Bahnverkehr reduziert
 - Die Rüttelstopfsäulen weisen eine grobkörnige Struktur auf. Durch die relativ grosse Wasserdurchlässigkeit entsteht eine Drainagewirkung. So können Porenwasserüberdrücke bzw. Saugspannungen reduziert werden.
- Zwischenbewertung
- Dieses Verfahren deckt die Instandstellung des Dammkörpers gegen die Versagensmechanismen Setzungen, Gleiten auf Schichten, Blockgleiten und Porenwasserdrücke infolge saisonaler Einflüsse gut bis sehr gut ab.
 - Das Verfahren ist nur mit relativ Grossen Baugeräten ausführbar und erfordert eine grosse Logistik. Weiter müssen Fahrleitung verschoben werden. Für die Baudurchführung mit Hilfe eines Bauzuges ist für die Rüttellanzes ein lichter Schwellenabstand > 0.5 m erforderlich. Beim Schwellentyp B70 beträgt dieser jedoch < 0.4 m. Bei reiner Ausführung neben den Gleisen wird der Säulenabstand zu gross, wodurch die Wirksamkeit der Bodenverbesserung nachlässt und der ME-Wert unter den Gleisen nur geringfügig verbessert werden kann.
 - Weiter wird die Planumsschutzschicht auf einer Fläche von ca. 9% verletzt und muss wiederhergestellt werden.
 - Dieses Verfahren ist mit einer kompletten Oberbauerneuerung zu bevorzugen.

4.3.5.3.3. Verdichtungsinjektion (Compact Grouting)

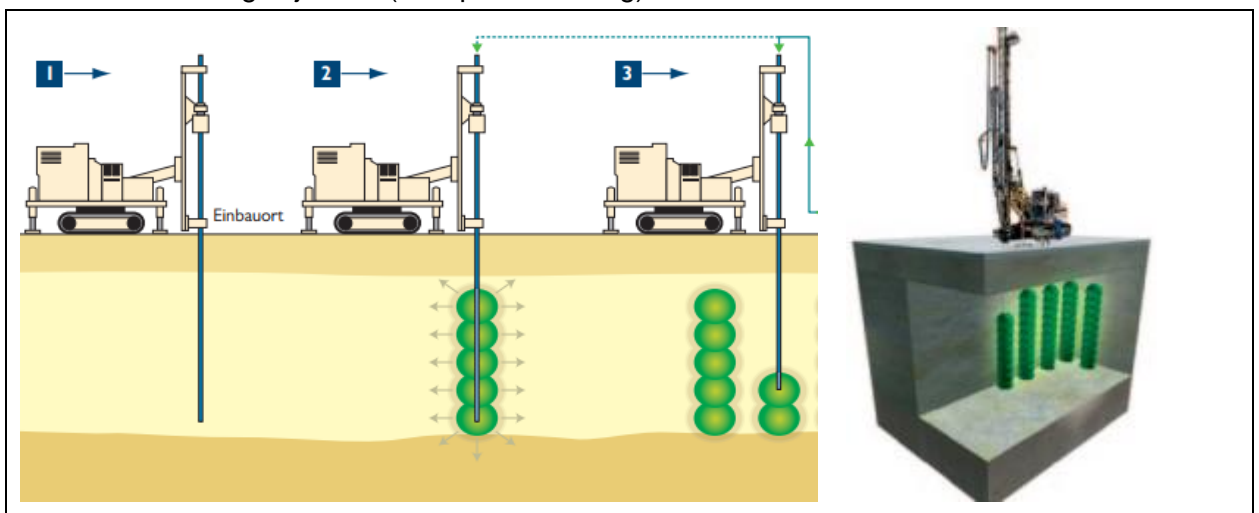


Abbildung 36 Verdichtungsinjektion: Links (Schemadarstellung), Rechts (Beispiel Bohrgerät) [23]

- Funktionsweise Verdichtungsinjektion (Auszug aus [23])
- Bei Verdichtungsinjektionen wird in der Regel ein steifer bis plastischer Injektionsmörtel unter Druck in den Boden eingepresst. Er breitet sich im Baugrund als relativ homogene Masse aus und bildet dabei annähernd kugelförmige Injektionskörper. Der umgebende Boden wird am Injektionsort lokal verdrängt und dabei verdichtet. Im Gegensatz zu anderen Injektionsverfahren dringt der Mörtel weder in die Poren des anstehenden Bodens ein (wie bei der klassischen Injektion), noch bilden sich lokale Risse aus (wie beim Soilfrac®-Verfahren)

- Während der Verdichtungsinjektion werden Druck und Menge sowie gegebenenfalls Verformungen an der Geländeoberfläche bzw. an den Gebäuden aufgezeichnet. Je nach Bauaufgabe wird die Verdichtungsinjektion bei Erreichen eines maximalen Druckes, eines maximalen Volumens, beim Auftreten eines gewünschten Hebungsmaßes oder dem Austreten von Material an der Geländeoberfläche beendet.
- Wirkung auf Verformungen
 - Im Dammkörper werden Boden-Zement-Säulen erstellt, diese haben eine stabilisierende Wirkung auf den Dammkörper
 - Gut gegen Setzungen infolge Vertikalkräfte, Stabilisierung Dammkörper bei lokalen Schwächezonen.
 - Problematik mit Saugspannungen (Saisonalen Einflüssen) bleibt weiterhin bestehen.
- Zwischenbewertung
 - Erfolgreich gegen Setzungen infolge Bahnbetrieb, jedoch Problematik der Saugspannungen bleibt weiterhin bestehen.
 - Bauablauftechnisch gut bis sehr gut geeignet, da mit relativ kompakten Geräten flexibel ausführbar. Bohrungen auch zwischen den Bahnschwellen hindurch möglich da Lanzendurchmesser mit $d = 0.15 \text{ m}$ kleiner als der lichte Schwellenabstand von ca. 0.3 m ist.
 - Die Planumsschutzschicht wird durch die Bohrlöcher auf einer Gesamtfläche von ca. 0.8% verletzt. Diese werden nach dem Injektionsvorgang wieder mit geeignetem Material verfüllt und verdichtet.

4.3.5.3.4. Mixed in Place



Abbildung 37 Mixed-In-Place: Links (Übersicht Bohrgerät), Rechts (Detail Bohrschnecken) [20]

- Funktionsweise (Auszug aus [20])
 - Beim MIP-Verfahren wird der anstehende Boden mit einer Einfach- oder Dreifachschnecke aufgebrochen, umgelagert und die Porenräume mit Bindemittelsuspension verfüllt.

- Die hergestellten Einzelstiche werden im Pilgerschrittverfahren zu Wänden kombiniert. Dabei bestimmt die Dimension der Schnecke(n) letztlich die Stichgröße.
- In das frische MIP-Gemisch können Bewehrungselemente zur statischen Ertüchtigung eingestellt werden.
- Wirkung auf Verformungen
 - Bahndamm wird mit Längsschlitzten verbessert
 - Stabile, Kraft-übertragende Längskörper mit Injektions-verbessertem Material
 - Gut gegen Setzungen infolge Vertikalkräfte, Stabilisierung Dammkörper bei lokalen Schwächezonen.
 - Problematik mit Saugspannungen (Saisonalen Einflüssen) bleibt weiterhin bestehen!
- Zwischenbewertung
 - Bedingter Erfolg bei wirkenden Versagensmechanismen.
 - Bauablauf-technisch weniger gut geeignet, da in Konflikt mit Gleisen

4.3.5.3.5. Fräs-Misch-Injektionsverfahren (FMI-Verfahren)



Abbildung 38 Fräs-Misch-Injektionsverfahren: Links (Beispiel mit Ansicht von oben), Rechts (Beispiel mit Ansicht von vorne) [21]

- Funktionsweise (Auszug aus [21])
 - Während des Fräsens erfolgt die Lösung und Auflockerung des anstehenden Untergrunds. Zeitgleich tritt an der Schwertspitze des Fräsgeräts eine Suspension aus Wasser und Bindemittel aus, die mit dem Bodenmaterial zu einer homogenen Masse vermischt wird. Das Ergebnis des Verfahrens ist ein fugenfreier und verwitterungsbeständiger Erdbetonkörper. [...] Durch die Reduktion überschüssigen Bodenmaterials werden Entsorgungskosten minimiert.
- Wirkung auf Verformungen
 - Bahndamm wird mit Längsschlitzten verbessert
 - Stabile, Kraft-übertragende Längskörper mit Injektions-verbessertem Material
 - Gut gegen Setzungen infolge Vertikalkräfte, Stabilisierung Dammkörper bei lokalen Schwächezonen.

- Problematik mit Saugspannungen (Saisonalen Einflüssen) bleibt weiterhin bestehen!
- Analogie zu MIP-Verfahren
- Weiter besteht die Möglichkeit unter den Schotterbetten in mehreren Schritten 2 – 3 m breite, durchgehende Erd-Beton-Körper zu erstellen. Diese Variante ist nochmals stabiler gegenüber dynamischen Einwirkungen.
- Zwischenbewertung
 - Bedingter Erfolg bei wirkenden Versagensmechanismen.
 - Bauablauf-technisch weniger gut geeignet, da in Konflikt mit Gleisen.
 - Bei der Erstellung der 2 – 3 m breiten, durchgehenden Erd-Beton-Körpern müsste in Dammmitte längs ein Baugrubenverbau erstellt werden. Dies macht das Verfahren bautechnisch sehr aufwändig und sehr teuer.

4.3.5.3.6. Soilcrete

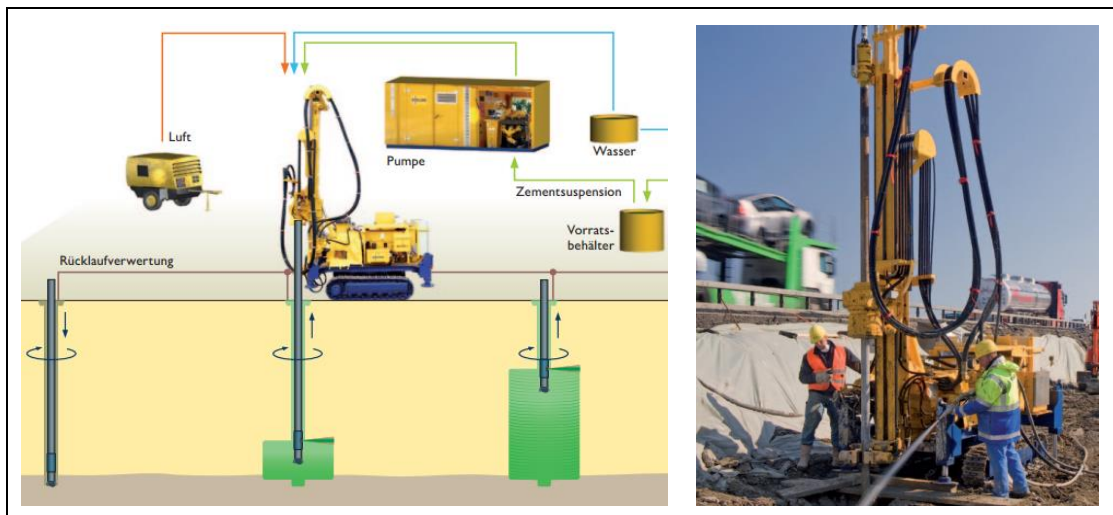


Abbildung 39 Soilcrete: Links (Schemadarstellung), Rechts (Beispiel Bohrgerät) [22]

- Funktionsweise Soilcrete (Auszug aus [22])
 - Unter dem Düsenstrahlverfahren „Soilcrete®“ wird eine Bodenvermörtelung verstanden. Mit Hilfe eines energiereichen Schneidstrahles mit Austrittsgeschwindigkeiten ≥ 100 m/s aus Wasser oder Zementsuspension, der auch mit Luft ummantelt werden kann, wird der im Bereich des Bohrloches anstehende Boden aufgeschnitten bzw. erodiert.
- Wirkung auf Verformungen
 - Im Dammkörper werden Boden-Zement-Säulen erstellt, diese haben eine stabilisierende Wirkung auf den Dammkörper
 - Gut gegen Setzungen infolge Vertikalkräfte, Stabilisierung Dammkörper bei lokalen Schwächezonen.
 - Problematik mit Saugspannungen (Saisonalen Einflüssen) bleibt weiterhin bestehen.
 - Keine Mitverdichtung des umliegenden Dammkörpers
- Zwischenbewertung

- Erfolgreich gegen Setzungen infolge Bahnbetrieb, jedoch Problematik der Saugspannungen bleibt weiterhin bestehen.
- Bauablauftechnisch gut bis sehr gut geeignet, da mit relativ kompakten Geräten flexibel ausführbar. Bohrungen auch zwischen den Bahnschwellen hindurch möglich da Lanzendurchmesser mit $d = 0.15 \text{ m}$ kleiner als der lichte Schwellenabstand von ca. 0.3 m ist.
- Die Planumsschutzschicht wird durch die Bohrlöcher auf einer Gesamtfläche von ca. 0.8% verletzt. Diese werden nach dem Injektionsvorgang wieder mit geeignetem Material verfüllt und verdichtet.
- Jedoch hoher Rückfluss der Suspension, was das Verfahren schnell teurer werden lässt.

4.3.5.4. Durchlässigkeit Dammkörper

4.3.5.4.1. Drainagen



Abbildung 40 Drainagebohrungen: Links (Bagger mit Bohraufsatz und Bohrung von oben), Rechts (Kleinbohrgerät mit Bohrung von unten) [24]

- Funktionsweise
 - Wasser innerhalb des Dammkörpers hat einen grossen Einfluss auf dessen Verhalten bei unterschiedlicher Witterung und Saisonalität
 - Das Wasser sucht sich über die Drainagebohrungen den Weg mit dem geringsten Widerstand.
 - Wirkung auf Verformungen
 - Durch Drainagebohrungen werden Porenwasserdrücke und Saugspannungen innerhalb des Dammkörpers reduziert bzw. abgebaut.
 - Dadurch können die Verformungen infolge saisonaler Einflüsse minimiert werden.
 - Auf die Vertikalverformungen infolge Vertikallasten haben die Drainagen keinen Einfluss, da die Bodenstruktur nicht aktiv verbessert bzw. verdichtet wird.
- Zwischenbewertung
 - Dieses Verfahren ist vor allem für den Abbau bzw. Reduktion von Porenwasserdrücken geeignet.
 - Diese Variante eignet sich idealerweise als Zusatz zu einer Variante, bei der die Struktur des Bodens gegen Vertikalsetzungen verbessert ist.

- Bauablauftechnisch ist dieses Verfahren sehr einfach durchzuführen, da mit relativ kleinen Bohrgeräten flexibel gearbeitet werden kann.
- Durch die Bauarbeiten entsteht lediglich ein kleiner bzw. keinen Einfluss auf den Bahnbetrieb.

4.3.5.4.2. Elektrosmose

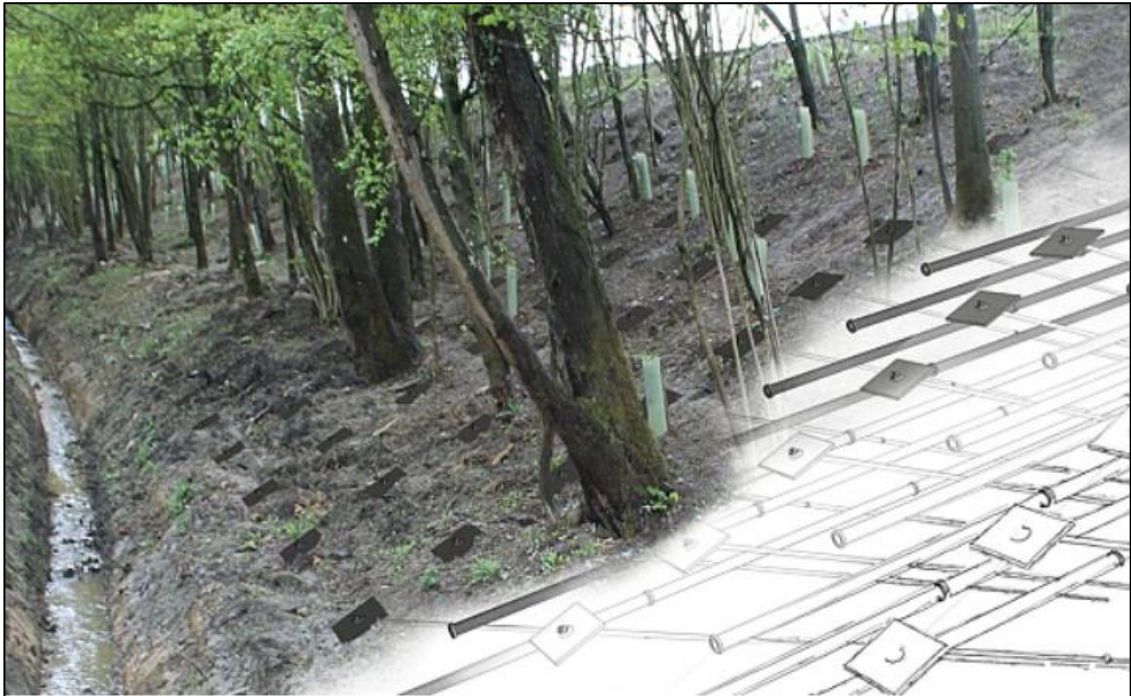


Abbildung 41 Hangstabilisierung durch Elektrosmose [25]

- Funktionsweise
 - Wasser innerhalb des Dammkörpers hat einen grossen Einfluss auf dessen Verhalten bei unterschiedlicher Witterung und Saisonalität
 - Das Wasser sucht sich über die Drainagebohrungen den Weg mit dem geringsten Widerstand.
 - Durch die Elektrosmose wird der Dammkörper zeitlich begrenzt trockengelegt, sodass Konsolidierungen (Setzungen) vorabgenommen werden können.
 - Wirkung auf Verformungen
 - Durch Drainagebohrungen werden Porenwasserdrücke und Saugspannungen innerhalb des Dammkörpers reduziert bzw. abgebaut.
 - Dadurch können die Verformungen infolge saisonaler Einflüsse minimiert werden.
 - Durch Vorkonsolidierung können gewisse Setzungen infolge Vertikalkräfte vorweggenommen werden.
- Zwischenbewertung
 - Dieses Verfahren ist vor allem für den Abbau bzw. Reduktion von Porenwasserdrücken geeignet.

- Diese Variante eignet sich idealerweise als Zusatz zu einer Variante, bei der die Struktur des Bodens gegen Vertikalsetzungen verbessert ist.

4.3.5.5. Interaktion Sanierungsmassnahmen mit Versagensmechanismen

Sanierungs- massnahme	Beschreibung Wirkungsweise	Empfehlung / Weiterver- folgbarkeit
A) Dammersatz	Durch den Komplettersatz des Dammkörpers kann ein neuer mit fest definierter Qualität erstellt werden. Baugrubenverbau nötig und gesamthaft sehr aufwändig und teures Verfahren	Nein
B) Banketsicherung mit Ortbetonbalken und Mikropfählen	Nur Bekämpfung der Wirkung (horizontale Verformungen), jedoch keine Behebung der Ursache. Keine bzw. bedingte Wirkung gegen Setzungen und lokale, tieferliegende Versagensmechanismen. Jedoch gut als Ergänzung Rüttelstopfsäulen, da so Bankett gesichert wird gegen dynamische Einflüsse. Weiter kann so Dammprofil für Fluchtwege etc. definiert und Sicherung der z.T. frei liegenden Kabelkanäle	Ja, in Kombination mit Baugrudverbesserung
C) Bankettsicherung mit Reprofilierung Dammprofil	Nur seitliche Stützung der Dammschulter gegenüber horizontalen Kräften aus Bahnbetrieb. Keine bzw. bedingte Wirkung gegen Setzungen und lokale, tieferliegende Versagensmechanismen. Jedoch gut als Ergänzung Rüttelstopfsäulen, da so Bankett gesichert wird gegen dynamische Einflüsse. Jedoch grosser Einschnitt in Umwelt/Naturschutz.	Ja, in Kombination mit Baugrudverbesserung
D) Dynamische Intensivverdichtung	Wirkt grundsätzlich gut gegen Setzungen, jedoch Wirksamkeit bei bindigem Boden (Porenwasserdruck) und der starken Heterogenität nur sehr schwer kontrollierbar. Hat keine verbessernde Wirkung gegen lokale, tiefer liegende Versagensmechanismen. Kann bei Saugspannungen sogar kontraproduktiv wirken	Nein
E) Rüttelstopfverdichtung	Verbessert Bodenstruktur durch Verdichtung. Rüttelstopfsäulen haben Drainagewirkung. Verfahren zeigt gute Wirkung gegen Setzungen, lokale Versagensmechanismen, sowie die Saugspannungen infolge saisonaler Einflüsse und Hangbewuchs. Jedoch nur mit relativ grossen Baumachinen ausführbar, welche grössere Logistik erfordern. Weiter wird PSS relativ stark verletzt durch Lanzendurchmesser von ca. 0.5 – 0.6 m. Idealerweise mit Neubau Oberbau / Gleise verbinden, da Rüttellanzen nicht zwischen Bahnschwellen durchkommen.	Ja

F) Injektionsverdichtung (Compact Grouting)	Stabilisierung des Dammkörpers mit Mitverdichtung des übrigen Dammkörpers. Saugspannungen infolge Saisonalität bleiben weiterhin bestehen bzw. sogar verstärkt. Mit relativ kompakten Geräten auf den Gleisen ausführbar, ohne dass Fahrleitung verzogen werden muss. Wiederherstellung der verletzten PSS gut steuerbar.	Ja
G) Mixed-In-Place	Stabilisierung des Dammkörpers, jedoch Setzungsempfindlichkeit unter den Gleisen nach wie vor lokal. Grossflächige Verletzung der Planumsschutzschicht, bei der diese wieder instand gestellt werden muss.	Nein
H) Fräs-Misch-Injektionsverfahren	Stabilisierung des Dammkörpers, jedoch Setzungsempfindlichkeit unter den Gleisen nach wie vor lokal. Mittelverbau als Sicherung notwendig für Stabilisierung des Dammkörpers bei Bau unter einseitigem Betrieb. Zerstörung Planumsschutzschicht und Rückbau mit Neubau Oberbau (Gleise) erforderlich.	Nein
I) Soilcrete	Stabilisierung des Dammkörpers, jedoch keine Mitverdichtung des übrigen Dammkörpers. Saugspannungen infolge Saisonalität bleiben weiterhin bestehen. Sehr teures Verfahren mit viel Rückfluss an Suspension.	Nein
J) Drainagebohrungen	Einfach durchführbar. Keine Wirkung gegen Setzungen, da Bodenstruktur nicht verbessert wird. Wirkung v.a. gegen Porenwasserdrücke / Saugspannungen	Nein
K) Elektro-osmose	Aussergewöhnliches Verfahren, was nicht durch viele Firmen gemacht ausgeführt werden kann. Wirkung v.a. gegen Porenwasserdrücke / Saugspannungen	Nein

Tabelle 6 Zusammenfassung Interaktion Sanierungsmassnahmen mit Versagensmechanismen

4.3.6. Kostenvergleich verschiedene Sanierungsmassnahmen

In der Nachfolgenden Tabelle werden die Grobkosten (Genauigkeit $\pm 20\%$) der jeweiligen Sanierungsmassnahmen aufgeführt.

Sanierungsmassnahme	Kosten in Mio. CHF		Bemerkung
	Prim. Projektperimeter, 340 m	Erw. Projektperimeter, 135 m	
A) Dammersatz	> 20	Ca. 5.7	Sehr teuer, unrealistisch
B) Bankettsicherung mit Kopfbalken	Ca. 2.1	Ca. 0.8	Sicherung gegen horizontale Verschiebungen, In Kombination mit Bodenverbesserung

C) Damm Reprofilierung	Ca. 1.1	Ca. 0.4	Sicherung gegen horizontale Verschiebungen, In Kombination mit Bodenverbesserung
D) Dynamische Intensivverdichtung	Ca. 3.0	Ca. 1.2	Eher unrealistisch, da bestehende Gleise komplett aus- und wieder eingebaut werden müssen. Qualität schwer kontrollierbar.
E) Rüttelstopfverdichtung	Ca. 3.7	Ca. 1.4	Grundsätzlich günstig und gute Wirkung bzgl. Bodenverbesserung, jedoch nicht zwischen den Bahnschwellen hindurch ausführbar, Grosse Geräte mit, Kosten inkl. Oberbau von 2.2 Mio. CHF
F) Verdichtungsinjektion	Ca. 3.5	Ca. 1.4	Vorzugsvariant, da mit relativ kompakten Geräten flexibel ausführbar, Verbesserungsmassnahme auch direkt unter den Gleisen zwischen den Bahnschwellen hindurch ausführbar
G) Mixed-In-Place	Ca. 4.1	Ca. 1.1	Eher unrealistisch, da Boden rundherum nicht mitverdichtet wird.
H) Fräs-Misch-Injektionsverfahren	Ca. 5.3	Ca. 2.1	Eher unrealistisch, da Boden rundherum nicht mitverdichtet wird oder das Verfahren schnell sehr teuer wird.
I) Soilcrete	Ca. 5.0	Ca. 2.0	Sehr teuer, eher unrealistisch
J) Drainagebohrungen	Ca. 2.2	Ca. 0.9	Unrealistisch, da schwer steuerbar und verhältnismässig teuer
K) Elektro-osmose	Ca. 3.6	Ca. 1.4	Unrealistisch, da schwer steuerbar und verhältnismässig sehr teuer

Tabelle 7 Vorabschätzung Kosten einzelner Sanierungsmassnahmen auf eine Länge von 475 m

In den aufgeführten Kosten sind lediglich die jeweiligen Baukosten des Verfahrens ohne weitere Kosten aus Umgebungsarbeiten, Landschaftserwerb etc. aufgeführt.

4.3.7. Unterbau

Aktuell ist für den Unterbau schematisch folgender Aufbau vorgesehen (Vgl. Abbildung 42):

- 40 cm Planumsschutzschicht (PSS)
- 20 cm Lastverteilschicht
- Geotextil
- Sanierter Dammkörper

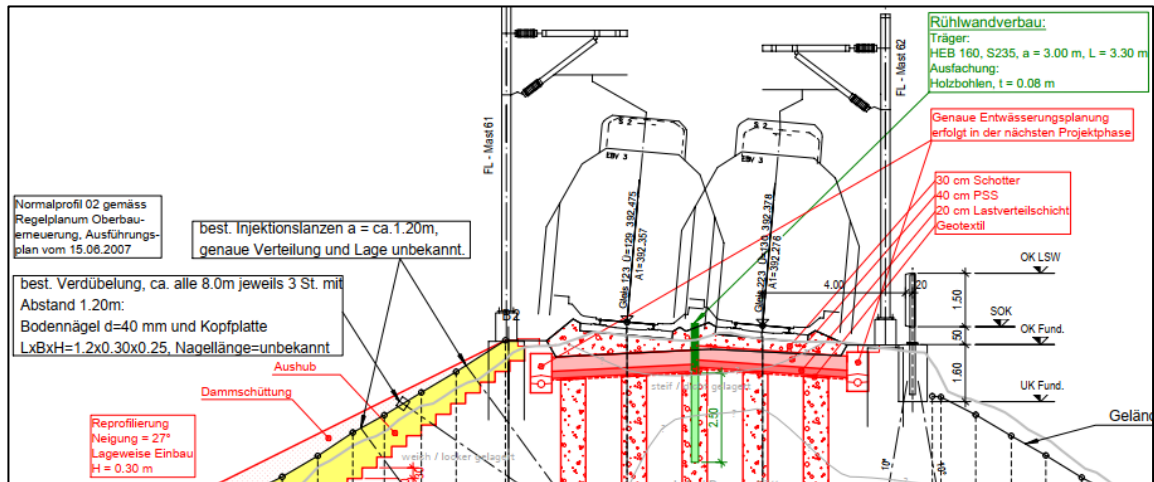


Abbildung 42 Schematischer Aufbau Ober- und Unterbau mit Entwässerung, Schnitt 10

Der gesamte Unterbau (PSS und Lastverteilschicht) wird im Bauprojekt im Detail geplant. Fachbereich Fahrbahn.

4.3.8. Entwässerung

Die Entwässerung kommt seitlich des Schotterbetts zu liegen. Eine schematische Anordnung der Entwässerung kann Abbildung 42 entnommen werden. Die detaillierte Planung zusammen mit dem Aufbau des Unterbaus (OK PSS – Geotextil) erfolgt im Bauprojekt.

4.3.9. Stützbauwerke

Keine Bemerkung

4.3.10. Erdbauwerke

4.3.10.1. Bodenverbesserung

Aus den Umwelteinflüssen und der dynamischen Belastung auf den Dammkörper ist eine Sanierung zielführen, welche sowohl die Bodenstruktur verbessert bzw. verdichtet (Reduktion der Setzungen) und zeitgleich möglichst eine drainierende Wirkung (Reduktion der Saugspannungen) aufweist. Weiter soll das Verfahren flexibel ausführbar sein und einen möglichst geringen Einfluss auf den Bahnbetrieb haben.

Neben klassischen Verfahren für die Bodenverbesserungen wie z.B. Mixed-In-Place, dynamische Verdichtung wird die Rüttelstopfverdichtung als am zielführendsten betrachtet. Bei den Rüttelstopfsäulen wird die umliegende Bodenstruktur mitverdichtet. Weiter haben die Rüttelstopfsäulen eine kiesige Struktur, welche innerhalb des Dammkörpers drainierend wirken und somit Saugspannungen reduzieren können. Schwächezonen innerhalb des Dammkörpers können so verbessert werden. Es werden alle 1.8 m fünf Säulenreihen erstellt. Jeweils zwei unter den Gleisen und eine in Dammmitte. Für die Durchführung der Rüttelstopfverdichtung wird der Oberbau bis UK bestehende PSS rückgebaut (Etappen von 30 m Länge). Nach Fertigstellung der Rüttelstopfverdichtung erfolgt der Neubau von Unter- und Oberbau.

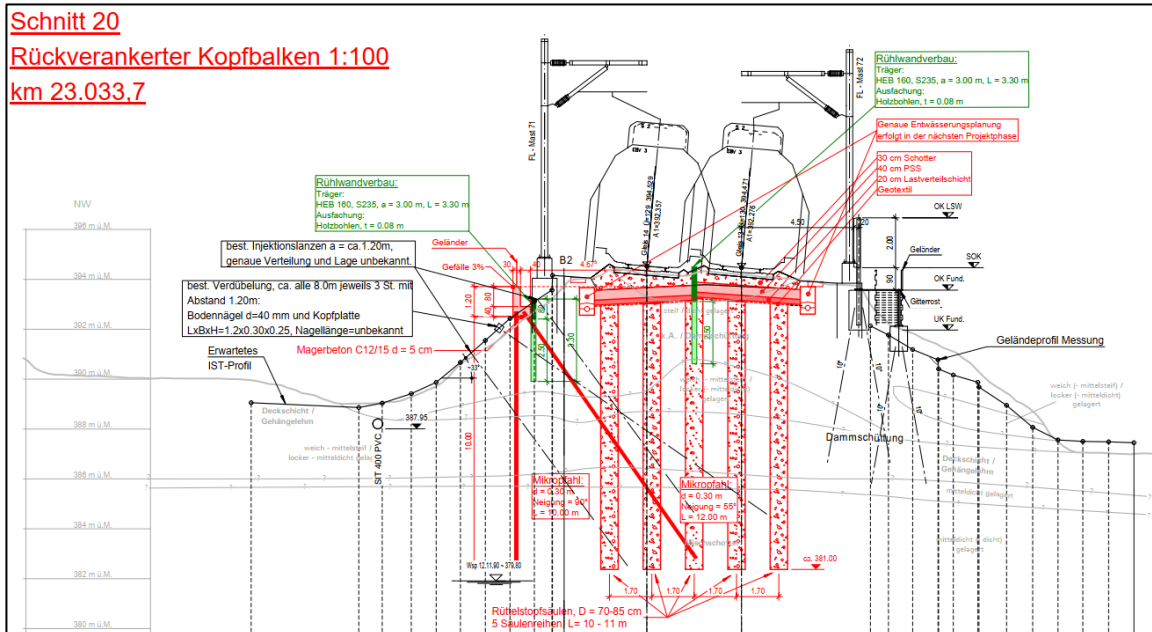


Abbildung 43 Baugrundverbesserung mittels Rüttelstopfsäulen (D = 70 – 85 cm, L = 10 – 11 m), Schnitt 20

4.3.10.2. Bankettsicherung

Zusätzlich zur Rüttelstopfverdichtung wird eine Bankettsicherung der Dammkrone auf der Nordseite (km 22.694 – 23.042) bzw. südseite (km 22.545 – 22.683) empfohlen. Dabei soll aus wirtschaftlichen Betrachtungen eine Kombination aus einem rückverankerten Ortbetonbalken und einer Dammreprofilierung (Erstellung Soll-Profil für Erfüllung Standsicherheit GZT3) angestrebt werden. So soll der zum Teil freiliegende Kabelkanal entlastet und Hangerosion reduziert werden.

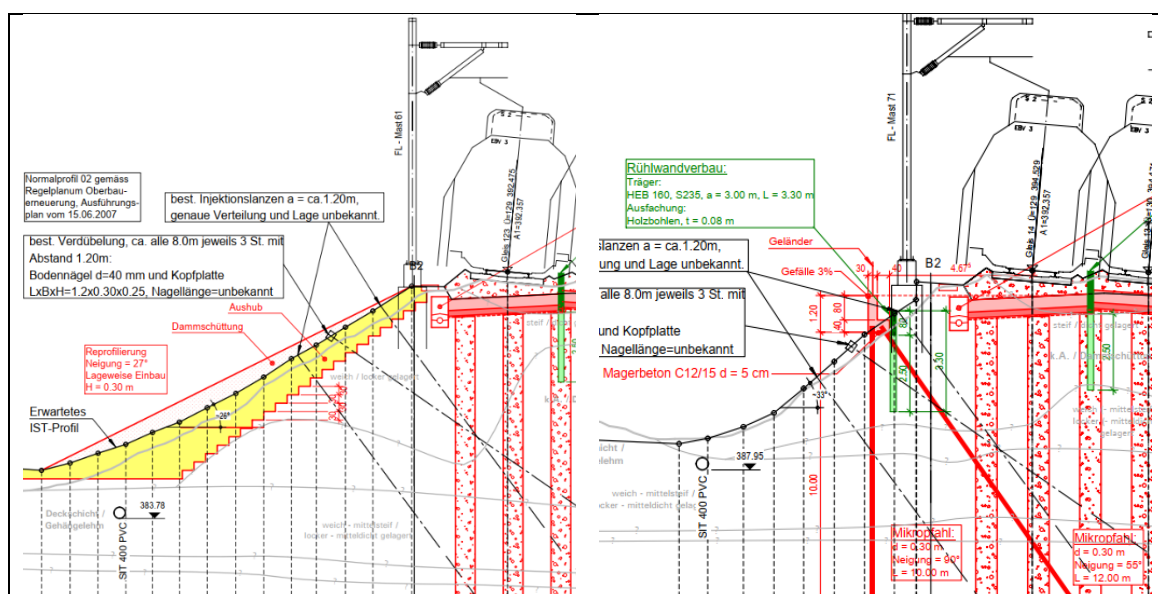


Abbildung 44: Regelquerschnitt Bankettsicher durch Reprofilierung (links) und rückverankerten Kopfbalken (rechts)

4.4. Bahnzugang und technische Gebäude nicht betroffen

4.5. Technische Anlagen

nicht betroffen

4.6. Sicherungsanlagen

Erarbeitung durch den Fachdienst SAZ

4.7. Fahrstrom

Erarbeitung durch den Fachdienst FS

4.8. Kabelanlagen

Erarbeitung durch den Fachdienst KAB

4.9. Telecomanlagen

Erarbeitung durch den Fachdienst KAB

5. Umwelt

Erarbeitung durch den Fachdienst UMW

6. Land und Rechtserwerb, Aussteckung

Definitiver Landerwerb, die vorübergehende Beanspruchung, sowie Dienstbarkeiten werden im Rahmen des Bau- und Ausführungsprojektes aufgeführt. Die betroffenen Flächen werden dann in Landerwerbplänen dargestellt.

6.1. Definitiver Landerwerb

Ein Plan mit Landerwerbstabelle wird im Rahmen des Bau- und Ausführungsprojektes erstellt. In nachfolgender Abbildung wird in Blau dargestellt, wo infolge der Dammprofilierung Landerwerb nötig sein kann.

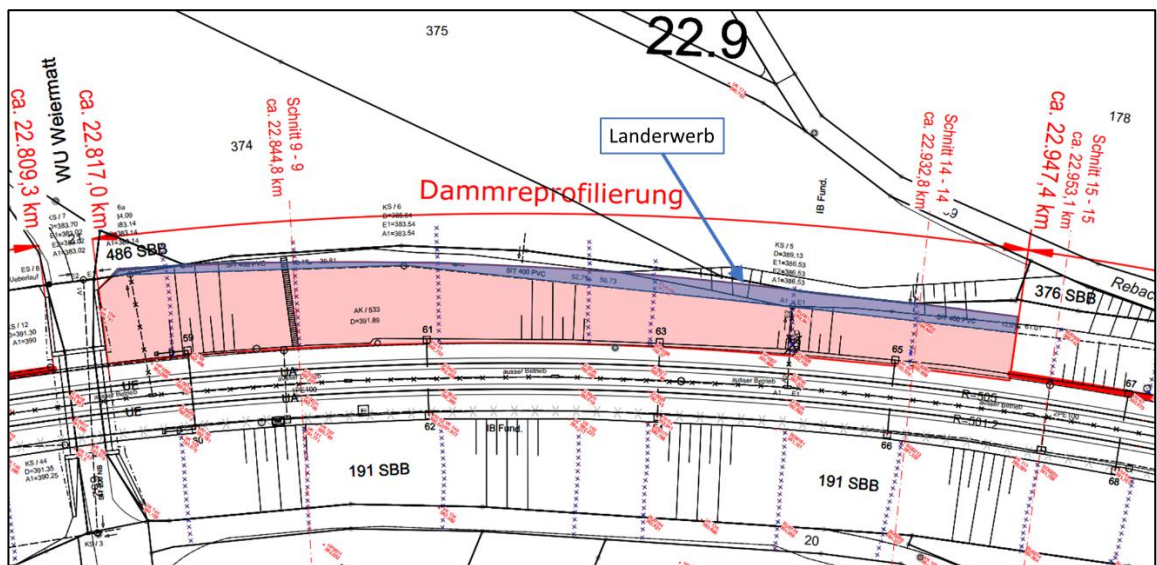


Abbildung 45 Zonen für aktuell möglichen Landerwerb infolge Dammprofilierung (Blaue Markierung)

6.2. Erwerb von Dienstbarkeiten

keine Bemerkungen

6.3. Vorübergehende Beanspruchung

Ein Plan für vorübergehende Beanspruchung wird im Rahmen des Bau- und Ausführungsprojektes erstellt.

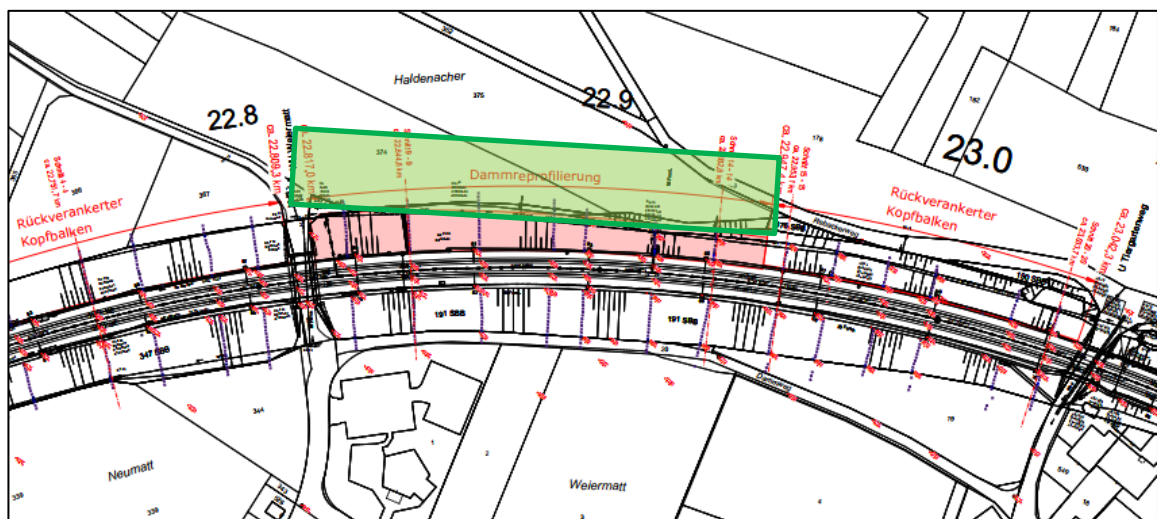


Abbildung 46 Vorübergehende Beanspruchung (Grüne Markierung)

7. Bauphasen und Baurealisierung

7.1. Bauablauf

Die Erstellung der jeweils zwei Säulenreihen unter den Gleisen erfolgt in eingleisigen Sperrintervallen (2 x ca. 16 Intervalle: WE-Sperrung 50 h von Sa. 02:00 Uhr bis Mo 04:00 Uhr). Die Erstellung der Mittelsäulen erfolgt in ca. 6 – 8 Totalsperrungen (WE-Sperrung 50 h von Sa. 02:00 Uhr bis Mo 04:00 Uhr).

Vor- und Nachbearbeitungen wie z.B. Baugrubensicherung Kopfbalken erfolgen grössten teils in Nachtsperrpausen oder in den bereits vorhandenen Intervallen. Der gesamte Zeitbedarf von der Baustelleneinrichtung bis Beendigung Bankettsicherung mit Umgebungsarbeiten beträgt ca. 17 Monate.

Der gesamte Bauphasenplan mit Balkendiagramm kann dem Dokument 8.2 entnommen werden. Nach aktueller Planung sind Gleissperrungen und Langsamfahrstellen vorgesehen. Die Arbeiten auf dem Bahndamm erfolgen primär in 50h Wochenendsperrpausen mit einseitigen Gleissperrungen. Bei der Erstellung der Rüttelstopfsäulen zwischen den Gleisen (Säulenreihe 3) sollen die Arbeiten in Totalsperrungen erfolgen.

Baubeschrieb: Rüttelstopfsäulen, Gleisneubau, Kopfbalken & Dammreprofilierung in 50h Etappen (3-Schichtbetrieb)			
Baustelle einrichten, Keine Gleissperrungen	18 Tage	Mo 13.01.25	Mi 05.02.25
+ Kopfbalken Norden, Gleis 100 gesperrt bei Erstellung Mikropfähle	95 Tage	Sa 08.02.25	Di 13.05.25
+ Reprofilierung Norden, Keine Gleissperrungen	51 Tage	Mo 24.02.25	Mi 07.05.25
Erstellung Baugrubensicherung zwischen den Gleisen 100 & 200 in 4 Etappen mit Totalsperrung, Länge auf 120 m	196 Std.	Sa 10.05.25	Mo 02.06.25
+ Rüttelstopfsäulen & Gleisbau Gleis 100 (Sperrung Gleis 100 bei Säulenreihe 1 + 2, Totalsperrung bei Säulenreihe 3)	122.5 Tage	Sa 07.06.25	Mo 20.10.25
+ Kopfbalken Süden, Gleis 200 gesperrt bei Erstellung Mikropfähle	67 Tage	Sa 25.10.25	Di 30.12.25
+ Rüttelstopfsäulen & Gleisbau Gleis 200 (Sperrung Gleis 200 bei Säulenreihe 4 + 5)	116.38 Tage	Sa 08.11.25	Mo 16.03.26
Rückbau Baugrubensicherung zwischen den Gleisen G100 & G200 in 2 Etappen mit Totalsperrung	98 Std.	Sa 21.03.26	Mo 30.03.26
Nacharbeiten (Gelände, Böschungen etc.), keine Gleissperrungen	20 Tage	Mo 30.03.26	Fr 24.04.26
Baustelle räumen, Keine Gleissperrungen	5 Tage	Mo 27.04.26	Fr 01.05.26

Tabelle 8: Zusammenfassung Bauphasenplanung Stand VP

7.2. Installationsplatz

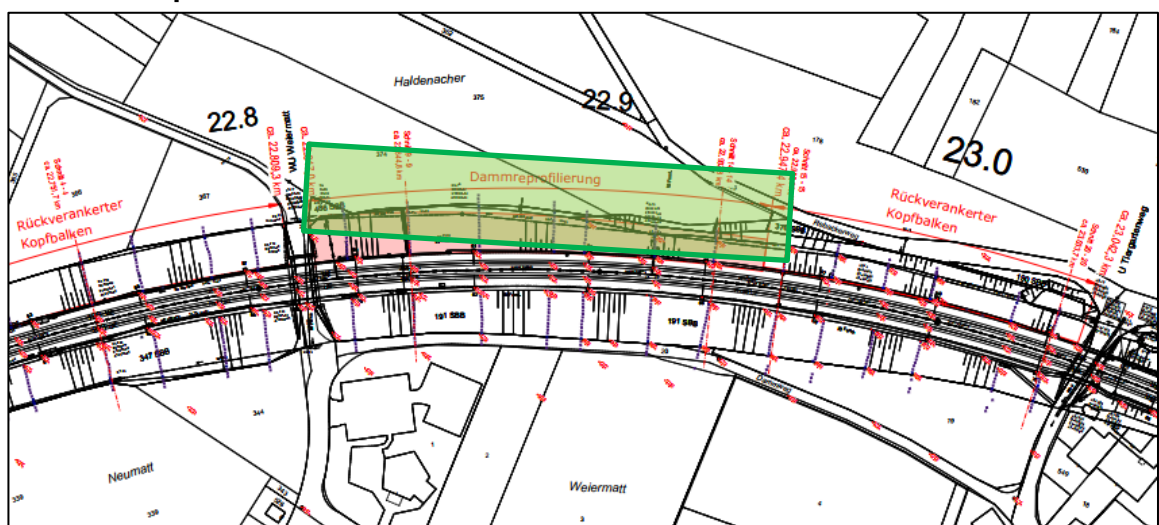


Abbildung 47 Möglicher Installationsplatz mit provisorischer Rampe zur Dammkrone (Grüne Markierung) für Baustellenlogistik

Der Installationsplatz kann direkt im Bereich der Dammreprofilierung zu liegen kommen. Dabei wird eine provisorische Rampe hin zur dammkrone erstellt. Durch diese kann die Baustelle

logistische versorgt werden. Die Dauer der Beanspruchung beträgt ca. 17 Monate (15 Monate Bauzeit plus 2 Monate Auf- und Abräumen der Baustelle)

7.3. Abstellgleise

Nach aktueller Planung keine Bemerkungen

7.4. Erschliessung und Logistik

Die Logistik für Arbeiten auf dem Bahndamm werden über den Baustelleninstallationsplatz erschlossen. Eine nähere Planung dazu erfolgt ab der Stufe Bauprojekt.

7.5. Arbeitsstellensicherheit/ Auswahl der geeigneten Warnmethode

Auf dem zu Arbeitenden Gleis ist der Bahnbetrieb eingestellt. Auf dem benachbarten Gleis werden Langsamfahrstellen (80 km/h) eingerichtet. Für den Baustellenbetrieb werden akustische und optische Warnsignale vorgesehen.

8. Termine

Bau-/Auflageprojekt	01.08.2021 bis 31.10.2022
Plangenehmigungsverfahren BAV	01.11.2022 bis 31.07.2024
Ausführungsprojekt	01.01.2024 bis 31.10.2024
Ausschreibung Bauarbeiten	01.05.2023 bis 31.07.2024
Realisierung:	13.01.2025 bis 30.11.2026 IBN 31.10.2026
Schlussabrechnung	30.04.2027

9. Kommunikation und Stakeholdermanagement

- Die Gemeinde wie auch der Kanton werden betreffend der Naturschutzzone bereits ab der Phase Vorprojekt aktiv seitens SBB abgeholt.
- Die nahen Anwohner wie auch die Gemeinde werden vor Baubeginn über die anstehenden Arbeiten und Einschränkungen informiert.
- Ausserhalb dessen ist im Rahmen dieses Projekts keine Kommunikation oder Stakeholdermanagement vorgesehen.

10. Kosten und Finanzierung

Die Investitionskosten belaufen sich inkl. Sicherungsanlagen auf CHF 9.1 Mio (exkl. Unterhalt, Überwachung, Korrektur Mastfundamente und Langsamfahrstellen vom Jahr 2021 – 2025). Inklusive dieser Zusatzposten betragen die Gesamtinvestitionskosten CHF 10.7 Mio.

Eine genaue Ermittlung der Kosten kann dem Dokument *01.4 Kostenschätzung* entnommen werden.

Kosten für die periodischen Messungen und Angaben zu Mehrkosten bzgl. Optimaler Inbetriebnahme (O-IBN) und spätester Inbetriebnahme (S-IBN) können dem Dokument 01.6 entnommen werden.

11. Chancen und Risiken

11.1. Chancen

- Mit grösseren Sperrintervallen (>50 h) könnten Einsparungen in den Bahnersatzkosten, den Entschädigungen des Güterverkehrs wie auch in den Baukosten erreicht werden.
- Mit einer guten und phasengerechten Planung gemäss SIA wie auch der Durchführung von zweckmässigen Untersuchungen besteht die Chance, dass das Ausmass der Arbeiten möglichst genau erfasst und damit in der Ausführung die Kosten gegenüber dem KS unterschritten werden können.
- Durch Miterneuerung des Ober- und Unterbaus (PSS und Lastverteilungsschicht) können Synergien (z.B. Sperrpausen) genutzt und eine besser definierte Qualität (Gesamtsanierung und nicht nur Teilsanierungen) des gesamten Gleisabschnittes erstellt werden.

11.2. Risiken

- Bei den geplanten Massnahmen handelt es sich grundsätzlich um Erhaltungsmassnahmen. Das Ausmass der Sanierung wird anhand der gewünschten Anforderungen unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit ausgearbeitet. Eine Sanierung entspricht nie einem Neubau. Somit ist eine Überwachung der Anlage auch nach der Sanierung zwingend. Das Risiko besteht entsprechend darin, dass auch nach der Sanierung weitere Schäden gefunden werden. Das Vorgehen diesbezüglich ist in einem Unterhalts- und Überwachungsplan zu erarbeiten.
- Das Bauen im Bestand beinhaltet jeweils das Risiko, dass das endgültige Ausmass der Arbeiten erst in der Realisierung ersichtlich ist. Um diesem Risiko entgegen zu wirken, sind Arbeiten in Regie zwingend einzuplanen.

12. CAPEX / Value Engineering

Im Rahmen dieses Projekts werden von Seitens Ingenieurbau nur die baulich notwendigen Massnahmen geplant. Bezüglich dieser können folgende CAPEX-Massnahmen erfasst werden:

- Mit einer guten und phasengerechten Planung gemäss SIA wie auch der Durchführung von zweckmässigen Untersuchungen sind in der Realisierung gegenüber der Kostenschätzung Kosteneinsparungen von bis zu 5% denkbar (Härtegrad 3)
- Mit grösseren Sperrintervallen (>50 h) sind in der Realisierung gegenüber der Kostenschätzung Kosteneinsparungen von bis zu 8% denkbar (Härtegrad 3)

13. Sicherheitsbericht

13.1. Grundsatzerklärung

Die Anlage wurde so projektiert, dass ein sicherer Betrieb gewährleistet ist. Mit der Realisierung des Projektes entsteht kein erhöhtes Risiko. Das geplante Projekt stellt weder für den Bahnbetrieb noch für die Umgebung bzw. Personen eine erhöhte Gefährdung dar. Es wird auf die folgenden Dokumente verwiesen:

- Nutzungsvereinbarung und Projektbasis (Dossierbeilagen 1 und 2)
- Statische Berechnungen (Dossierbeilage 3)
- Balkendiagramm der Bauphasenplanung (Dossierbeilage 4)

Das Bauvorhaben wird entsprechend den heutigen Vorschriften und den einschlägigen SIA-Normen / Bestimmungen konstruiert und ausgeführt.

13.2. Bahnbetrieb während Bauphase

Die Bauausführung erfolgt, wo der Gleisbereich nicht tangiert ist, während des regulären Zugverkehrs unter Einhaltung der Sicherheitsvorschriften der SBB. Im Gleisbereich wird Nacharbeit angeordnet, wenn die Betriebs- und Personensicherheit dies notwendig machen, bzw. die Arbeiten nur in den Betriebspausen bei gesperrtem Gleis möglich sind. Bei Arbeiten im Gefahrenbereich von Fahrleitungen und Zugverkehr werden Sicherheitsmassnahmen nach den einschlägigen Vorschriften ergriffen. Die Mindestabstände zur Gleisachse sowie die Bestimmungen des Lichtraumprofils und die Abstände zu spannungsführenden Anlagen werden eingehalten.

13.3. Risikoanalyse und Risikobeurteilung

13.3.1. Abgrenzung

Die in den unter 12.1 genannten Dokumenten noch nicht behandelten Gefährdungsbilder werden in Bau- und Betriebsphase unterteilt.

13.3.2. IST-Zustand

Gefährdungsbild	Wahrscheinlichkeit	Schaden-Ausmass	Risiko-beurteilung	Massnahme
Standsicherheit	2: Mittel	3: Hoch	6: Hoch	<p>Infolge des sehr heterogenen und schlechten Aufbaus des Dammkörpers resultieren im Mittel bodenmechanische Kennwerte von $\varphi = 28^\circ$ und $c = 5 \text{ kN/m}^2$.</p> <p>→ Standsicherheit/Böschungsstabilität kann nicht nachgewiesen werden</p> <p>→ Gefahr für Versagen des Dammkörpers</p> <p>→ Grosser Materialschaden</p> <p>→ Personenschaden möglich</p> <p>→ Kompletter Ausfall der Bahnlinie über mehrere Monate / Jahre wegen sehr umfangreicher Sanierung (ggf. kompletter Dammersatz)</p> <p>→ Alf. Dammersatz mit Kosten von ca. 10 Mio. CHF verhältnismässig sehr teuer (Wirtschaftlicher Schaden nicht mitberücksichtigt)</p>
Setzungen Fahrbahn	3: Hoch	2: Mittel	6: Hoch	<p>Anhaltende Setzungen/Verschiebungen von 3 – 5 mm/Jahr</p> <p>→ Kontinuierliche Gleisstopfungen bzw. -korrekturen erforderlich</p> <p>→ Zunehmende Erschwerung Qualität der Gleise beizubehalten</p> <p>→ Bei Erreichen von Grenzwerten wird Fahrdynamik und -sicherheit beeinträchtigt</p>

Gefährdungsbild	Wahrscheinlichkeit	Schaden-Ausmass	Risiko-beurteilung	Massnahme
Differenzverschiebung Mastfundamente	2: Mittel	2: Mittel	4: Mittel	Gleise werden kontinuierlich korrigiert / nachgestopft. Fundamente jedoch nicht. → Zunehmend grösser werdende Differenz zwischen Fahrbahn und Fahrdraht → Beeinträchtigung Fahrdynamik, ggf. Einrichtung Langsamfahrstellen → Sanierung (In Lagebringung) der Mastfundamente nötig, wenn Alarmwert überschritten wird
Langsamfahrstellen	3: Hoch	2: Mittel	6: Hoch	Durch Erreichen der Gleisverschiebungen von Aufmerksamkeits- bzw. Alarmwerten müssen bis Fertigstellung der Gleiskorrektur Langsamfahrstellen veranlasst werden.

Tabelle 9 Risikoanalyse für IST-Zustand

13.3.3. Bauphase

Risiken	Wahrscheinlichkeit	Schadenausmass	Risikobeurteilung	Massnahme
Termine/Bauzeit Verzögerung der Termineinhaltung	3: Hoch	2: Gering	6: Hoch	Def. Meilensteine. Terminreserven. Laufendes Termincontrolling (Soll-/Ist-Vergleich). Ressourcenplanung (MA-Pool) zur Abdeckung von Spitzen. Genügend Zeit für Stellungnahme der Behörden vorsehen.
Geologie	1: Gering	2: Mittel	2: Mittel	Ausreichende geotechnische Untersuchungen für ideale Sanierungsmassnahmen, Controlling während Bauarbeiten, Dokumentierung Unregelmässigkeiten

Risiken	Wahrscheinlichkeit	Schadenausmass	Risikobeurteilung	Massnahme
Austritt von Baustoffen	2: Mittel	2: Mittel	4: Mittel	Im oberflächennahen Bereichen Austritt von Kiesgemisch (alf. Zement bei vermörtelten Rüttelstopfsäulen) → Kontinuierliches Kontrolling, Lokale Anpassung rüttelstopfsäulen an geol. Gegebenheiten, Zeitreserven einplanen
Öffentliche Auflage / Landerwerb	2: Mittel	2: Mittel	4: Mittel	Projektoptimierung (Linienführung, Sichtweiten, Radien) für minimalen Landerwerb. Frühzeitige I+K mit den Betroffenen suchen. Wünsche aller Beteiligten (Behörden, Unterhalt, Parzelleneigentümer usw.) abholen und den Betroffenen die getroffenen Entscheidungen nachvollziehbar erklären.
Verkehrs- und Bauphasen	2: Mittel	2: Mittel	4: Mittel	Aufzeigen von detaillierten Bau- und Verkehrsphasen um eine Behinderung auf der Bahnlinie 500 der SBB so gering wie möglich zu halten.
Behinderung Bahnbetrieb	3: Hoch	3: hHch	9: Hoch	Beachtung Abhängigkeiten zwischen notwendigem Bahnbetrieb und Bauphasen. Erarbeitung Verkehrskonzept für Bauphasen. Berücksichtigung Vorgaben und Richtlinien SBB. Frühe Integration der SBB Fachdienste.
Zusammenstoss zwischen Baumaschinen und Zügen	2: Mittel	3: Hoch	6: Hoch	Personen- und Materialschäden, Betriebsunterbruch → Sicherheitsdispositiv, Arbeiten in Zugspausen, Abschränkungen
Stromschlag	2: Mittel	3: Hoch	6: Hoch	Personenschäden → Sicherheitsdipositive, Fahrleitungen ausschalten und/oder demontieren, Abschränkungen, Erdung von Baumaschinen
Entgleisung infolge Gleisabsenkung oder Gegenstand auf Gleis	2: Mittel	3: Hoch	6: Hoch	Personen- und Materialschaden, Betriebsunterbruch

Risiken	Wahrscheinlichkeit	Schadenausmass	Risikobeurteilung	Massnahme
				→ Schottersicherungen, Permanente Messungen der Gleise, Definition des Aufmerksamkeits-, Interventions- und Soforteingriffswerts
Privatpersonen auf Baustelle	1: Gering	3: Hoch	3: Mittel	Personenschaden → Abschränkungen, Signalisation, Bautellenabspernung

Tabelle 4: Risikoanalyse für Bauphase

13.3.4. Betriebsphase

Gefährdungsbild	Wahrscheinlichkeit	Schaden-Ausmass	Risiko-beurteilung	Massnahme
Dauerhaftigkeit Sanierungsmassnahme	2: Mittel	2: Mittel	4: Mittel	Infolge sehr heterogenem Dammkörper → Vorab detaillierte Baugrunduntersuchungen, Handlungsspielraum bei Sanierungsarbeiten für Intervention auf lokale Gegebenheiten für Erstellung einheitlicher Qualität der Sanierung → Kombination aus Bodenverbesserung und Bankettsicherung für Abdeckung aller als mgl. Betrachteten Versagensmechanismen → Nullmessung mit Nachmessung für Bauwerkscontrolling
Umwelt	1: Gering	2: Gering	2: Mittel	Störung Sickerfähigkeit und Feuchte des Dammkörpers und somit veränderte Bewässerung der Böschungsbepflanzung → Beobachtung der Vegetation → Massnahmenausarbeitung

Tabelle 5: Risikoanalyse für Betriebsphase

14. Fazit und Anträge

Wird in der Beschlussvorlage behandelt.

Anhänge

1. Übersichtsmatrix Versagensmechanismen, Stand VP vom 05.2021
2. Übersichtsmatrix Sanierungsmassnahmen, Stand VP vom 05.2021
3. Übersichtsmatrix Sanierungsmassnahmen reduziert V003, Stand VP vom 07.2021
4. Aktennotiz01a Verdichtungsinjektion vs Rüttelstopfverdichtung, Stand VP vom 25.05.2021