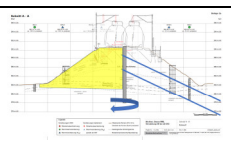
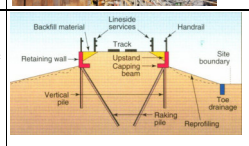
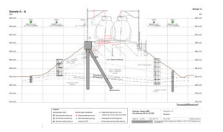
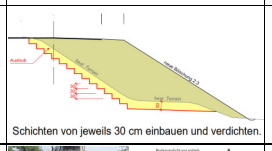
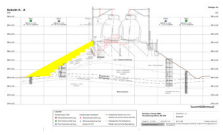
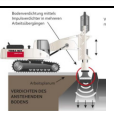
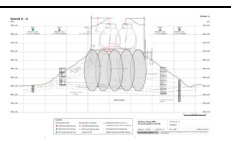
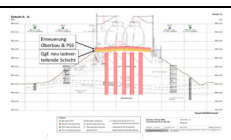
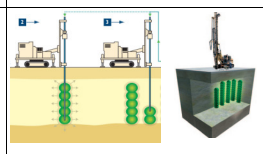
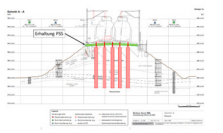
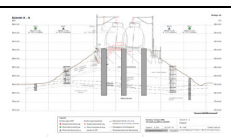
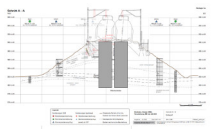
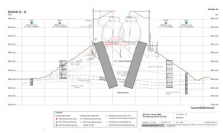
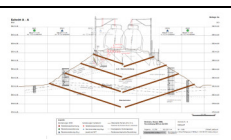
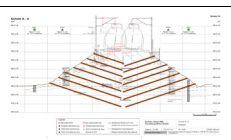
Beilage 2

Variantenmatrix Sanierungsmassnahmen V003

Arbeitsstand 25.05.2021

Variante	Bauweise	Skizzen / Ansicht / Regelquerschnitt	Beschreibung Bauweise / Bauart	Wirksamkeit auf Versagensmechanismus (1 = keine, 2 = geringe, 3 = mittlere, 4 = gute, 5 = sehr gute; Wirksamkeit)									Weitere Kritikpunke zur Umsetzbarkeit (1 = sehr schlecht, 2 = schlecht, 3 = neutral, 4 = gut, 5 = sehr gut)										TOTAL	
				1 Setzungen und Gleiten auf Schichtgrenzen	Note 1-5	4 Blockgleiten	Note 1-5	5 Setzungen und horiz. Verschiebungen inf. V.kräfte	Note 1-5	6 Saisonale Einflüsse	Note 1-5	Teil-benotung	Auswirkungen auf den Bahnbetrieb	Note 1-5	Umwelt (insb. Reptilien)	Note 1-5	Dauerhaftigkeit / Restnutzung	Note 1-5	Unterhaltsbedarf	Note 1-5	Baukosten	Note 1-5	Teil-bewertung	Gesamt-benotung	Bauweise
				Gewichtung		Gewichtung		Gewichtung		Gewichtung			Gewichtung		Gewichtung		Gewichtung		Gewichtung		Gewichtung			
				15.0%		12.5%		12.5%		10.0%		50.0%	12.5%		5.0%		12.5%		5.0%		15.0%		50.0%	100.0%	
A	Komplett neuer Damm			Vorkonsolidierung, jedoch keine aktive Verdichtung/Verbesserung Dammkörper --> Weiter Setzungen infolge dyn. Einwirkungen	5	Vorkonsolidierung, jedoch kein Einfluss auf Gleitschichten	5	Vorkonsolidierung, jedoch keine aktive Verdichtung/Verbesserung Dammkörper --> Weiter Setzungen infolge dyn. Einwirkungen	5	+Verminderung der horizontalen und vertikalen Setzungen -Unkonventionelle Bauweise - Verringerung der Porenwasserdrücke / Saugspannungen im Allgemeinen, jedoch infolge starker Heterogenität unterschiedlich gute Wirksamkeit bzgl. Sensitivität gegenüber Saisonalen Einflüssen / Saugspannungen	5	5.0	- Provisorien für Gleise notwendig (Hilfsbrücken etc.) - Grösere Sperrungen von 60h und Langsamfahrstellen grösser 1 Monat	1	- Durch umfangreiche Bauarbeiten temporär grosser Einfluss, Mittel- und langfristig neuer Dammkörper mit Ausgleichsflächen - Renaturierung in grossem Stile erforderlich - Reptilien wieder neu ansiedeln	1	+ 100 Jahre + Komplett neuer Damm mit definierter Qualität	5	+ Komplett neuer Damm mit definierter Qualität	5	- Sehr hohe Kosten für Materialentsorgung (ggf. Altlasten) und Wiederaufbau Damm - Rückverankerte Baugrubensicherung - Ca. >20 Mio CHF	1	2.4	3.7	Komplett neuer Damm
B	Bankettsicherung mit Ortbetonbalken und Verankerung durch Mikropfähle /Nägel			Dynamische Kräfte in Horizontalrichtung können teilaufgenommen werden, und so Sicherung gegen Gleiten auf Schichtgrenzen, Jedoch keine Wirksamkeit gegen Setzungen und keine Verbesserung / Stabilisierung des Dammkörpers in sich	3	Stabilisierung der Dammschulter --> Reduktion H-Kräfte, Aber keine/ geringe Wirkung gegen Gleiten in tieferen Lagen. Gleitschicht / Schwächezone nach wie vor vorhanden --> Verformungen um Nagel herum	2	Aufnahme von Horizontalkräften. Jedoch keine Wirksamkeit gegen Setzungen --> Dammkörper nach wie vor instabil in sich mit Weichen Lagen	2	Aufnahme der horiz. Kräfte infolge saisonalen Einflüssen mgl. Jedoch Schlupf für Aktivierung der Mikropfähle mgl. Langzeitverhalten nur sehr schwer berechenbar mit globalen Bewegungen im ganzen Dammkörper	3	2.5	-Arbeitsplattform erforderlich um Arbeiten vom Betrieb zu entkoppeln -Massnahme mit Anpassugnen auch unter Betrieb möglich - Herstellung Kopfbalken weitestgehend betriebsunabhängig - Für Ein-/Ausbau Schotterhalterung werden ca. 20-30 Nachsperrpausen à 4h benötigt	3	+Durchgehender Pfahlkopfriegel + Kein einfluss auf Vegetation in Hangbewuchs und Reptilien	5	+ 50 Jahre + Robuste Bauweise mit genügend Betondeckung - Carbonatisierung - Lokale Betoninstandsetzungen möglich nach erreicheichen der Lebensdauer - Lebensdauer Mikropfähle mit geeigneter Produktwahl mgl. steuern	3	+ Sicerung gegen seilt. Verschiebungen - Inspektionen in definierten Intervallen - Lokale Betoninstandsetzungen möglich nach erreicheichen der Lebensdauer	4	- Hohe Anzahl von Mikropfählen und Nägeln - Ca. 475 m langer, durchgehender Betonbalken - Ca. 2.9 Mio CHF	3	3.3	2.9	Bankettsicherung mit Ortbetonbalken und Verankerung durch Mikropfähle /Nägel
C	Bankettsicherung mit Reprofilierung Dammprofil			Durch Erstellung Soll-Profil werden Dammschultern seitlich gehalten. Jedoch keine Verbesserung gegen Setzungen, da Dammkörper nicht verbessert wird.	3	Heterogene Schichten Nachwievor, jedoch kann Blockgleiten durch Soll-Profil entgegengewirkt werden	2	Stärkung der Dammschulter gegen horizontale Kräfte. Keine Wirkung gegen Setzungen	2	Stabilisierung Dammschulter jedoch Weiterbestehen der Saisonalen Einflüsse mit dessen Bewegungen	1	2.1	-Seitliche Abrodung best. Bewuchs erforderlich - Seitlich ohne grössere Konflikte mit Bahnbetrieb mgl. - Ggf. wenige Nachtintervalle für Arbeiten im Kopfbereich	4	-Grössere Einwirkung, da best. Vegetation komplett abgerodet und wieder angepflanzt werden muss - Wiederansiedlung Reptilien	2	+ Erstellung IST-Profil mit definiertem Material - Nach wie vor schlechtes Material darunter, dass es weiter zu gewissen Verschiebungen kommen kann - Kein Nutzen gegen Setzungen --> Gleisstopfunen weiterhin nötig	2	+ Grundsätzlich kein Unterhalt notwendig + Sicerung gegen seilt. Verschiebungen, da IST-Profil erstellt wird - Keine Verbesserung bzgl. Setzungen --> Weiter regelmässig Nachstopfungen	4	- Sanierung auf Länge von ca. 250 m, wo Soll-Profil nicht eingehalten wird. - Ca. 1 - 1.5 Mio CHF	5	3.6	2.9	Bankettsicherung mit Reprofilierung Dammprofil
D	Dyn. Intensiv-verdichtung bzw. Impulsver-dichtung			Stabilisierung / Verdichtung der Bodenstruktur, Gesamthafte Stabilisierung des Dammkörpers, Vorsicht vor lokalen Versagensmechanismen bei Baudurchführung, Geringe Wirksamkeit gegen Gleiten auf Schichtgrenzen	3	Stabilisierung / Verdichtung der Bodenstruktur, jedoch nicht kontrollierbarer Einfluss auf allfällige Gleitzonen, da diese nicht direkt bearbeitet werden.	2	Stabilisierung / Verdichtung der Bodenstruktur, Gesamthafte Stabilisierung des Dammkörpers, Vorsicht vor lokalen Versagensmechanismen bei Baudurchführung	3	Verdichtung der Bodenstruktur bei bindigem Boden kann zu höheren Saugspannungen / Porenwasserdrücken führen.	1	2.4	- Demontage und Wiederaufbau Gleise mit Schotterbett. -Gleisbetrieb während Bauarbeiten nicht mgl. - Totalsperrungen grösser 60 h - Neubau Oberbau erforderlich	1	- Keine neuen Baustoffe, da nur verdichtet wird. - Auswirkung auf Bewuchs nicht voraussehbar - Weniger werdender Bewuchs nur geringer Einfluss auf reptilien, da diese zu dichten Bewuchs nicht bevorzugen	4	+ Verdichtung Dammkörper - Schlecht kontollierbare Qualität - Schwächezonen weiterhin vorhanden Kann weiterhin zu Dammverschiebungen infolge Saugspannungen kommen	2	+ Unterhalt des Dammkörpers grundsätzlich nicht notwendig - Lokal schlechter verdichtete Bereiche, bei welchen Bewegungen stattfinden --> Nachstopfen	3	- Erhöhte Kosten aufgrund spezieller Maschinen und Einschränkung des Bahnbetriebs -Rückbau der Gleise notwendig - Gleisrückbau und -wiederaufbau mit Schotterbett - Ca. 4.2 Mio. CHF	2	2.1	2.2	Dyn. Intensiv-verdichtung bzw. Impulsver-dichtung
E	Rüttelstopf-verdichtung			Stabilisierung der Bodenstruktur, jedoch keine/geringe Erhöhung der Kohäsion. Wirksam gegen Setzungen, Wahrsch. weniger wirksam gegen Gleiten auf Schichtgrenzen	5	Verbesserung / Stabilisierung der Bodenstruktur, ggf. Aufhebung von Gleitzonen	4	Verbesserung / Stabilisierung der Bodenstruktur, Besserer Abtrag der Vertikalkräfte in tiefere, besser tragfähige Bodenschichten	5	Lokale Drainagewirkung im Bereich der Rüttelstopfsäulen. Jedoch Verdichtung der umliegenden Bodenstruktur. Bei bindigem Boden kann es zu höheren Saugspannungen/ Porenwasserdrücken führen. Rüttelstopf. mit grobem Kies für Drainagewirkung	4	4.6	- Beim zu verdichtenden Gleis ist Sperrung notwendig - Bahnbetrieb nur eingleisig mgl. - Mehrwöchige Gleissperrung - Bei der Herstellung der Mittelsäulen zwischen den beiden Gleisen werden beidseitige Gleissperrungen notwendig sein - Neubau Oberbau erforderlich; Neubau PSS in gleicher Qualität - Rück- und Wiedereinbau Gleisoberbau erforderlich - Grosse Geräte/ gröberes Arbeiten - Auswirkungen auf Oberleitung In der Realisierung - grössere Auswirkungen auf den Betrieb während der Ausführung	2	+Massnahme nur lokal +umweltfreundliche Materialien + Kein Einfluss auf Reptilien + Sickerfähigkeit / Drainagewirkung weiterhin gegeben bzw. verbessernd	3	+ Grundsätzlich 100 Jahre + Robustes Verfahren mit definiertem Durchmesser, einfachere Sicherung der Qualität + Homogenisierung und Verdichtung des Bau- grundes ohne Versiegelung + Natürliche Drainagewirkung über den durchörterten Bereich + Nachhaltige Qualitätsverbesserung + Fahrbahn unbeeinträchtigt, da Neueinbau erforderlich + Zusätzliche künstliche Drainage, für mögliche Wassersackbildungen möglich, da Durchbohrung einfach + Nach Sanierung Oberbau und Unterbau/Damm ohne bleibende Störkörper/ Beeinträchtigungen für allfällige spätere Instandsetzungen	4	+ kein Unterhalt notwendig an den Rüttelstopfsäulen →Verletzung PSS durch relativ grosse Rüttel-Lanzen (d = 0.5 - 0.6 m --> ca. 9% der Oberfläche); Jedoch duch Erneuerung Fahrbahn und PSS keine Beeinträchtigung - Verziehung / Demontage Fahrleitungen	3	- Erhöhte Kosten aufgrund spezieller Maschinen und Einschränkung des Bahnbetriebs - Umhängung über dem Gleis liegenden Fahrstromleitungen notwendig - Direkt auf Bauzug durchführbar - Ca. 5.1 Mio CHF (inkl. Erneuerung Oberbau von ca. 2.2 Mio CHF)	3	3.2	3.9	Rüttelstopf-verdichtung
F	Verdichtungsinjektion (Compact Grouting)			Stabilisierung des Dammkörpers, Mitverdichtung Dammkörper	5	Stabilisierung des Dammkörpers, Mitverdichtung Dammkörper	5	Stabilisierung des Dammkörpers, jedcoh seitlich der Gleise, Verbesserung Dammmateriel durch Mitverdichtung	5	Durch Suspension entsteht ein Boden-Zement- Gemisch, welches relativ wasserundurchlässig ist. Kann zu einer Verstärkung der saisonalen Einflüsse führen.	2	4.4	+ Kleinteiliges Arbeiten/kleine Geräte + Gleisoberbau kann erhalten werden während Injektion + Verhältnismässig geringe Betriebseinschränkungen - Mehrwöchig mehrere Eingleisperrung , und kurze Totalsperrung für Mittelbereich - Durch Injektionsarbeiten in den oberen Bereichen Betriebabhängigkeiten - **Risiko** Injektionsauslauf in Oberbau/Oberfläche & ungewollte Hebungen	3	+ Massnahme nur lokal +umweltfreundliche Materialien (Zementsuspension) +Ressourcenschonend -Durchmischen des Baugrunds mit anderen Materialien -Versiegelungswirkung bzgl. Sickerfähigkeit	3	+ Grundsätzlich 100 Jahre - Spezielles Verfahren mit Abhängigkeiten zu vorhandenem Baugrund - Beschädigung / Qualitätsminderung der Planumsschutzschicht (PSS) - erhöhter Aufwand in Ausführungsüberwachung - Bei Fahrbahnerneuerung sind Betonsäulen Bohrloch im PSS Bereich ein Hindernis - Versiegelung Boden im Bereich Injektionsbeton - Kontrolle der Ausführungsqualität schwierig möglich nur über Analogie zu Probefeld. - Restrisko durch «Wasserstau/Kavernenbildung» zwischen Betonsäulen bei Durchörterung von potenziellen Tonlinsen / bindigen dichtgelagerten Schichten. Gefahr für schlagartigen Einbruch → Gleissperrung/Havarie. Dadurch ggf. Restlebensdauer tiefer	2	+ kein Unterhalt notwendig an den Injektionskörpern - Sanierung der verletzten PSS durch gezieltes Verfüllen Oberbohrraum beherrschbar (d = 0.15 m --> ca. 0.8% der Oberfläche) -Dauerhafte Beeinträchtigung PSS durch bverbleibende "Betonnadeln" -**Restrisiko** Wassersack-/Kavernenbildung -Ggf. Dränbohrungen als Zusatzsanierung falls wasserundurchlässige Schichten angetroffen werden	5	- Erhöhte Kosten aufgrund spezieller Maschinen und Einschränkung des Bahnbetriebs - Einseitige Gleissperrung notwendig - Ca. 4.9 Mio CHF (ohne Zusatzsanierung Dränbohrungen)	3	3.0	3.7	Verdichtungs-injektion (Compact Grouting)
G	Mixed in Place			Stabilisierung des Dammkörpers bei Zugabe von Bindemitteln	4	Stabilisierung des Dammkörpers bei Zugabe von Bindemitteln, Gleitzonen können so eliminiert werden.	5	Stabilisierung des Dammkörpers, jedcoh seitlich der Gleise, dadurch nur indirekte Stützung gegen Vertikalkräfte	4	Kann bei kiesigem Gemisch eine gewisse Drainagewirkung / Entlastung der Porenwasserdrücke bewirken	2	3.9	-Bindemittel Herstellung findet vor Ort statt (Mischanlage) -Bahnverkehr zu berücksichtigen (wechselseitig eingleisig) - Längere beidseitige Gleissperrungen bei der Herstellung der Mittelwand sehr wahrscheinlich erforderlich - Neubau Oberbau erforderlich	1	+ Massnahme nur lokal +umweltfreundliche Materialien (Zementsuspension) +Ressourcenschonend -Durchmischen des Baugrunds mit anderen Materialien -ist der Baugrund nicht in Zonen einteilbar durchgehende "Wand" (Kleintierdurchlass)	3	+100 Jahre	3	+ kein Unterhalt notwendig an den MIP-Körpern - Verletzung PSS relativ grossflächig durch Bohrungen - Verziehung / Demontage Fahrleitungen	5	- Erhöhte Kosten aufgrund spezieller Maschinen und Einschränkung des Bahnbetriebs - Einseitige Gleissperrung notwendig - Umhängung der Fahrstromleitungen notwendig - Ca. 5.2 Mio. CHF	2	2.4	3.1	Mixed in Place
H	Dammersatzverfahren (FMI-Verfahren)			Stabilisierung des Dammkörpers	4	Stabilisierung des Dammkörpers	5	Stabilisierung des Dammkörpers, jedcoh seitlich der Gleise, dadurch nur indirekte Stützung gegen Vertikalkräfte	4	Durch Suspension entsteht ein Boden-Zement- Gemisch, welches relativ wasserundurchlässig ist. Kann zu einer Verstärkung der saisonalen Einflüsse führen.	2	3.9	- Beim zu sanierenden Gleis (Hertellung FMI-Körper) ist Sperrung notwendig - Bahnbetrieb nur eingleisig mgl. - Mehrwöchige Gleissperrung - Allfällig Baugubenverbau in Dammmitte - z.T. auch beidseitige Gleissperrungen möglich	1	+ Massnahme nur lokal +umweltfreundliche Materialien (Zementsuspension) +Ressourcenschonend -Durchmischen des Baugrunds mit anderen Materialien -ist der Baugrund nicht in Zonen einteilbar durchgehende "Wand" (Kleintierdurchlass)	2	+ 100 Jahre	4	+ kein Unterhalt notwendig an den FMI-Körpern	5	- Erhöhte Kosten aufgrund spezieller Maschinen und Einschränkung des Bahnbetriebs - Einseitige Gleissperrung Und Baugrubenverbau notwendig - Ca. 7.4 Mio. CHF	2	2.6	3.2	Dammersatzverfahren (FMI-Verfahren)
I	Soilcrete			Stabilisierung des Dammkörpers	4	Stabilisierung des Dammkörpers	5	Stabilisierung des Dammkörpers, jedcoh seitlich der Gleise, dadurch nur indirekte Stützung gegen Vertikalkräfte	4	Durch Suspension entsteht ein Boden-Zement- Gemisch, welches relativ wasserundurchlässig ist. Kann zu einer Verstärkung der saisonalen Einflüsse führen.	2	3.9	+ Grundsätzlich seitlich der Gleise durchführbar + Einseitige Teilsperrung notwendig - Mehrwöchige Gleissperrung -Tiefere Lagen seitlich, betriebsunabhängig injezierbar - Durch Injektionsarbeiten in den oberen Bereichen können Betriebabhängigkeiten entstehen	2	+ Massnahme nur lokal +umweltfreundliche Materialien (Zementsuspension) +Ressourcenschonend -Durchmischen des Baugrunds mit anderen Materialien	3	+ 100 Jahre	4	+ kein Unterhalt notwendig an den Soilcrete-Körpern - Sanierung der verletzten PSS durch gezieltes Verfüllen -Oberbohrraum beherrschbar	5	- Erhöhte Kosten aufgrund spezieller Maschinen und Einschränkung des Bahnbetriebs - Einseitige Gleissperrung notwendig - Ca. 7 Mio CHF	2	2.9	3.4	Soilcrete
J	Drainagen (Saugspannungsunterbrechung)			Verringerung der Frostempfindlichkeit und dadurch weniger hohe Empfindlichkeit des Bodens gegenüber saisonalen Einflüssen (horiz. Bewegungen), Jedoch keine Wirksamkeit gegen Setzungen, da Boden nicht aktiv verbessert wird bzgl. Tragfähigkeit	2	Konsolidierung, jedoch kein Einfluss auf Gleitschichten	1	Konsolidierung, jedoch keine aktive Verdichtung/Verbesserung Dammkörper --> Weiter Setzungen infolge dyn. Einwirkungen	2	Verringerung der Porenwasserdrücke / Saugspannungen im Allgemeinen, jedoch infolge starker Heterogenität unterschiedlich gute Wirksamkeit bzgl. Sensitivität gegenüber Saisonalen Einflüssen / Saugspannugen	3	2.0	-Arbeitsplattform erforderlich um Arbeiten vom Betrieb zu entkoppeln -Massnahme mit Anpassugnen auch unter Betrieb möglich - Bohrungen z.T. von oben mittels Bagger notwendig - Ggf. wenige Nachtintervalle für Arbeiten im Kopfbereich	4	- Mittel- und Langfristig kein negativer Einfluss. - Teilrodengen im Hang für Zugänglichkeit ggf. Notwendig	4	- 25 Jahre	2	- Spülung der Drainagen erforderlich in regelmässigen Intervallen	2	- Hohe Anzahl an Bohrungen erforderlich - Ca. 3.1 Mio CHF	3	3.0	2.5	Drainagen (Saugspannungsunterbrechung)
K	Elektroosmose (Zwangskonsolidierung)			Vorkonsolidierung, jedoch keine aktive Verdichtung/Verbesserung Dammkörper --> Weiter Setzungen infolge dyn. Einwirkungen	2	Vorkonsolidierung, jedoch kein Einfluss auf Gleitschichten	1	Vorkonsolidierung, jedoch keine aktive Verdichtung/Verbesserung Dammkörper --> Weiter Setzungen infolge dyn. Einwirkungen	2	+Verminderung der horizontalen und vertikalen Setzungen -Unkonventionelle Bauweise - Verringerung der Porenwasserdrücke / Saugspannungen im Allgemeinen, jedoch infolge starker Heterogenität unterschiedlich gute Wirksamkeit bzgl. Sensitivität gegenüber Saisonalen Einflüssen / Saugspannugen	3	2.0	+ Grossteils seitlich am Hang durchführbar - Bohrungen z.T. von oben mittels Bagger notwendig - Teileinschränkungen Bahnbetrieb - Setzungen infolge Elektroosmose schwer steuerbar, ggf. immer wieder lokal Nachstopfung erf. - Ggf. wenige Nachtintervalle für Arbeiten im Kopfbereich	4	- Trockenlegung kann auf Dammbewuchs negativen Einfluss haben - Nachträgliche Drainage wirken auf Dammkörper entspannend. Sollte keinen negativen Einfluss auf Hangbewuchs haben	3	- 25 Jahre	2	- Spülung der Drainagen erforderlich in regelmässigen Intervallen	2	- Dadurch, dass Verfahren gesamthaft eher unkonventionell ist und sehr viele Einzelbohrungen durchgeführt werden müssen, ist es eher ein teures Verfahren -Vermutlich > 5 Mio CHF, aktuell keine Referenzen	2	2.6	2.3	Elektroosmose (Zwangskonsolidierung)