

Appenzeller Bahnen AG  
Frau Marielle Müller  
St. Gallerstrasse 53  
9101 Herisau

Amberg Engineering AG  
Trockenloostrasse 21  
8105 Regensdorf  
Schweiz

Tel. +41 44 870 91 19  
mpuglia@amberg.ch  
www.ambergengineering.ch  
CHE-116.289.290 MWST

**Durchlass Mattenbach, Linie Rorschach – Heiden**

# Technischer Bericht

**Vorprojekt 2019 – Variante E und Flügelmauern**

Bericht Nr. K030-101

Regensdorf, 28. November 2019



Inhalt	Seite
1. Einleitung .....	4
1.1. Situation und Ausgangslage .....	4
1.2. Ziel .....	5
1.3. Geltungsbereich .....	6
2. Grundlagen.....	7
2.1. Dokumente .....	7
2.2. Relevante Normen und Richtlinien .....	8
2.3. Nutzungsvereinbarung und Projektbasis .....	8
3. Beschreibung des Bauwerks .....	11
3.1. Durchlass Mattenbach – bestehende Bausubstanz .....	11
3.2. Bekannte Erhaltungsmassnahmen und Erweiterungen.....	15
4. Geologie und Hydrogeologie .....	16
5. Zustandserfassung.....	17
5.1. Zusammenstellung der Informationen zu den Flügelmauern im Auslaufbereich .....	17
6. Zustandsbeurteilung des Durchlasses in Bezug auf Sicherheit, Nutzung, Instandsetzungsbedarf und Restlebensdauer.....	18
7. Instandsetzungskonzepte, Kostenschätzung .....	19
7.1. Instandsetzungskonzept E, lokale Instandsetzung.....	19
7.2. Lokale Instandsetzung der Flügelmauern im Auslaufbereich .....	24
8. Aktualisierung der Varianten A und B .....	28
8.1. Instandsetzungskonzept A, Erneuerung Innenschale .....	28
8.2. Instandsetzungskonzept B, lokale Erneuerung der Innenschale und Zwischeninspektionen .....	32
9. Bauablauf .....	35
9.1. Neubau Schwemmholzrechen .....	35
9.2. Erschliessung .....	35
9.3. Instandsetzungskonzepte .....	35
10. Variantenvergleich.....	41
10.1. Gesamtkosten .....	41
10.2. Gesamtzeitprognose .....	44
10.3. Vor- und Nachteile.....	45
10.4. Offene Punkte / Optimierungsmöglichkeiten .....	46
11. Empfehlung, weiteres Vorgehen.....	48
11.1. Empfehlung zur Durchführung von baulichen Massnahmen .....	48
11.2. Variantenempfehlung .....	48
11.3. Weiteres Vorgehen.....	49
12. Beilagen .....	50

Durchlass Mattenbach, Linie Rorschach – Heiden  
**Vorprojekt 2019 – Variante E und Flügelmauern**  
Bericht Nr. K030-101  
Regensdorf, 28. November 2019  
Seite 3 von 50



## 1. Einleitung

### 1.1. Situation und Ausgangslage

Der rund 9 km lange Mattenbach verläuft auf den ersten 3.1 km auf der Kantonsgrenze zwischen Appenzell Ausserrhoden und St. Gallen. Der Bachverlauf führt durch ein Tobel. Beim Gewässer-km 2.6 (GN10) unterquert der Mattenbach die Bahnlinie Rorschach-Heiden der Appenzeller Bahnen AG. In diesem Bereich wurde beim Bau der Rorschach-Heiden-Bergbahn 1874/1875 eine Blockstein-Gewölbe-Konstruktion aus lokalem Sandstein (Typ Rorschacher) über dem ursprünglichen Gerinne errichtet. Aus dem anfallenden Aushubmaterial wurde darüber der Damm aufgeschüttet.



**Abb. 1: Situation - Lage Durchlass Mattenbach**

#### 1.1.1. Vorstudie und Vorprojekt 2018

Zur Vermeidung einer Verklausung des Einlaufbauwerks war beim Büro Ribi AG, Heiden, ein Schwemmholzurückhalt in Planung. Zur Abschätzung einer allfälligen Instandsetzung des Durchlasses, vor der Ausführung des Rechenbauwerks beim Einlauf, erfolgte am 20. März 2018 eine Begehung durch die Amberg Engineering AG, im Beisein der Appenzeller Bahnen AG. Aufgrund der Erstbeurteilung vor Ort hatten die Appenzeller Bahnen AG eine Offerte für die Ausarbeitung einer Massnahmenstudie und eines Vorprojekts für die Instandsetzung des Durchlasses Mattenbach bei der Amberg Engineering AG angefragt, welche in der Auftragsbestellung vom 03. April 2018 resultierte.

In der Massnahmenstudie wurde der Zustand des Bauwerks erfasst und beurteilt und mögliche Instandsetzungsmassnahmen zur Behebung von schadhaften Bereichen vorgeschlagen.



Die Ergebnisse der Studie wurden an einer Besprechung mit der Bauherrschaft am 25.09.2018 präsentiert. An dieser Besprechung wurde entschieden, den Detaillierungsgrad des darauffolgenden Vorprojekts zu erhöhen.

Mittels einer Sondagekampagne sollten die Baustoffe des Durchlasses und dessen Bauweise abgeklärt sowie weitere Informationen zum Aufbau des Dammes erhalten werden. Diese Erkenntnisse sollten die Analyse der Struktur des Durchlasses, die Einschätzung der Notwendigkeit bzw. Dringlichkeit der Massnahmen der Vorstudie sowie die Verfeinerung der Kostenschätzung ermöglichen.

Die zur weiteren Betrachtung ausgewählten Massnahmenpakete aus der Vorstudie (Erneuerung der Innenschale Gesamtbauwerk resp. lokal) wurden im Vorprojekt 2018 ausgearbeitet. Die Ergebnisse des durch die AB beauftragten vertieften Vorprojekts wurden an einer Besprechung mit der Bauherrschaft am 13.03.2019 von Frau M. Puglia präsentiert. Zu dieser Besprechung wurde Herr P. Rück von der Firma Mattec, welche im Rahmen der Bearbeitung des Vorprojekts die Prüfungen und die Beschreibung der Bohrkerne sowie eine materialtechnische Beurteilung ausgeführt hatte, als Berater eingeladen. Die Ergebnisse wurden gutgeheissen und die Weiterführung des Projekts lag bei den AB. Von der Fa. Mattec wurde jedoch ein anderes Massnahmenkonzept (Zwischenvariante) vorgeschlagen. Dieses sah vor, im restlichen Bauwerk eine lokale Instandsetzung der betroffenen Paramentbereiche inkl. Gewölbe mittels Spritzbetonersatz und -plomben auszuführen. Der Zustand der Flügelmauern, die bis anhin nicht Bestandteil der Variantenstudie oder des vertieften Vorprojekts waren, wurde in Frage gestellt. Diese Fragen waren noch zu klären.

#### 1.1.2. Vorprojekt 2019, Massnahmenvorschlag gemäss Bericht Nr. 19031 [2]:

Eine weitere Sondagekampagne und Zustandsaufnahme wurde von der Fa. Mattec als Grundlage für die Zwischenvariante und Analyse der Flügelmauern erstellt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde das Massnahmenkonzept der neuen Zwischenvariante sowie die Massnahmen an den Flügelmauern in einem Technischen Bericht [2] beschrieben.

Die Fa. Mattec schlug vor, im Rahmen der weiteren Bearbeitung eine Beratung durch lokale Unternehmen durchzuführen, um so praktische Vorschläge und Lösungsansätze in Bezug auf die Logistik, Wasserhaltung und das Bauverfahren bei diesen ortskundigen Bauunternehmungen einzuholen.

Die Begehung fand am 26.09.2019 zusammen mit drei lokalen Unternehmern statt. Es wurde im Projektgremium festgelegt (Aktennotizen der Projektsitzungen [1]), dass die Angaben der Unternehmer – soweit sinnvoll für das Projekt und die jetzige Projektstufe – in Betracht gezogen werden sollten.

### 1.2. Ziel

Im Rahmen der Erstellung eines Einlaufrechens wird die Struktur des Durchlasses Mattenbach überprüft und die Notwendigkeit von Gewölbemassnahmen beurteilt.

Aus der Massnahmenstudie und aus dem Vorprojekt 2018 ist bekannt, dass die Sandsteine, die der Grundfeuchte, dem versickernden Wasser und den Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, sich weiter abbauen werden.

Die ausgewählten Massnahmen aus der Vorstudie wurden im vertieften Vorprojekt 2018 mit den Ergebnissen der Sondagekampagne und der statischen Überprüfung ergänzt und vertieft.

Die im Technischen Bericht [2] vorgeschlagenen Massnahmen der Zwischenvariante werden wie die vorherigen Varianten im Vorprojekt 2018 analysiert und mit diesen verglichen. Diese neue Variante wird Variante E genannt, da die Vorstudie die Varianten A bis D abgedeckt hat. Für die Flügelmauern wird im Bericht [2] eine Massnahme vorgeschlagen. Es wird keine weitere Variante für die Instandsetzung der Flügelmauer erarbeitet.

Die Resultate dieser Arbeiten sind im vorliegenden Technischen Bericht festgehalten.

### **1.3. Geltungsbereich**

Für die Instandsetzungsmassnahmen wird ein Betrachtungszeitraum (Restnutzungsdauer) von bis zu 50 Jahren zugrunde gelegt. Die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit des Durchlasses sind aufgrund der darüberliegenden Bahnlinie und des Waldes auch nach der Restnutzungsdauer zu gewährleisten.

Die Instandsetzungsmassnahmen betreffen ausschliesslich die bauliche Instandsetzung des Gewölbes. Die wasserbaulichen Aspekte (Dimensionierung des Durchlasses, Sohlenbeschaffenheit sowie Anschluss an das bestehende Bachbett) müssen in weiteren Projektphasen abgeklärt werden.

Die statische Überprüfung des Dammes als Bauwerk ist nicht Bestandteil dieses Vorprojekts.

Allfällige bauliche Massnahmen, die im Zusammenhang mit den unterquerten bahntechnischen Ausrüstungen durchzuführen sind (z.B. Kabel- und Fahrleitungsanlagen), sind nicht Bestandteil der vorliegenden Abklärung.

## **2. Grundlagen**

### **2.1. Dokumente**

Zur Erarbeitung des Vorprojekts 2019 (Variante E und Flügelmauern) standen folgende Unterlagen und Informationen zur Verfügung:

- [1] Aktennotizen der Projektbesprechungen von März bis Oktober 2019 inkl. Beilagen, Durchlass Mattenbach Vorprojekt 2019, Amberg Engineering AG
- [2] Ergänzende materialtechnische Untersuchungen, Technischer Bericht, Bericht-Nr. 19031, Materialtechnik am Bau AG, 05.07.2019
- [3] Vorprojekt Instandsetzung Durchlass Mattenbach, Technischer Bericht, Amberg Engineering AG, 04.02.2019, inkl. Beilagen
- [4] Materialtechnische Untersuchung des Durchlasses, Laborbericht, Bericht-Nr. 18176, Materialtechnik am Bau AG, 10.12.2018
- [5] Sondagekonzept Mattenbach, Amberg Engineering AG, 19.10.2018
- [6] Vorstudie Instandsetzung Durchlass Mattenbach, Technischer Bericht, Amberg Engineering AG, 12.09.2018, inkl. Beilagen
- [7] Geologischer Atlas der Schweiz, 1:25000 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo), <https://s.geo.admin.ch/7ca730060e>, Datenstand 20.11.2013, letzter Zugriff 27.08.2018
- [8] Hydrogeologische Karte der Schweiz, 1:100'000, Blatt Bodensee, 1980 (Bundesamt für Landestopografie swisstopo), <https://s.geo.admin.ch/7f9bd9ef9a>, Datenstand 31.12.2014, letzter Zugriff 21.01.2019
- [9] Fotos aus der Instandsetzung 2016 und von Hochwasserschäden, E-Mail vom 17.08.2018, F. Rechsteiner, Ribi AG, Heiden
- [10] Durchlass AB, km 2.6 (GN10), Vorprojekt Schwemmholzurückhalt, Technischer Bericht, Ribi AG, Heiden, 19.07.2018
- [11] Zustandsbeurteilung 2018/1, Durchlass Mattenbach, Fotodokumentation, Ribi AG, Heiden, 19.06.2018
- [12] Zustandsbeurteilung 2017, Durchlass Mattenbach, Fotodokumentation, Ribi AG, Heiden, 12.10.2017
- [13] Gemeinden Heiden AR / Eggersriet SG, Mattenbach, km 2.5 – km 2.7, Durchlass Appenzeller Bahnen, Technischer Bericht, Ribi AG, Heiden, 29.11.2013
- [14] 2013 094 Grub SG / Grub AR, Rorschach-Heiden-Bahn RHB, km 4.4 – km 4.5, Durchlass unter Damm über den Mattenbach, Rückstaurisiko, Kurzbericht, Rüegger+Flum AG, St. Gallen, 09.07.2013
- [15] Dammsicherung Verlängerung Durchlass Mattenbach, Bauprojekt, Pläne R 9315-2, R 9315-3 und R 9315-7, Ingenieurbüro Wälli AG, Rorschach, 2001
- [16] Die Eisenbahn – Le chemin de fer, Band (Jahr): 2/3, 1875, Heft 10; persistenter Link: <http://doi.org/10.5169/seals-3874>

## **2.2. Relevante Normen und Richtlinien**

Die Grundlage für die Projektierung und Ausführung von Erhaltungsmassnahmen ist der aktuelle Stand der Technik. Die wichtigsten Normen, Empfehlungen und Verordnungen sind:

- SIA 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen
- SIA 198 Untertagbau, Ausführung
- SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 262 Betonbau
- SIA 266/2 Natursteinmauerwerk
- SIA 267 Geotechnik
- SIA 267/1 Geotechnik – Ergänzende Festlegungen
- SIA 269 Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken
- SIA 269/1 Erhaltung von Tragwerken – Einwirkungen
- SIA 269/2 Erhaltung von Tragwerken – Betonbau
- SIA 269/6 Erhaltung von Tragwerken – Mauerwerksbau
- SIA 269/7 Erhaltung von Tragwerken – Geotechnik
- SIA 469 Erhaltung von Bauwerken

## **2.3. Nutzungsvereinbarung und Projektbasis**

Es liegt keine Nutzungsvereinbarung oder Projektbasis für den bestehenden Durchlass vor. Es wird auch keine neue Nutzungsvereinbarung oder Projektbasis auf dieser Projektstufe verfasst.

Die wesentlichen Anforderungen hinsichtlich der Nutzung sind im vorliegenden Bericht enthalten. Die Angaben zum Tragwerkskonzept und den Baustoffeigenschaften sind im statischen Bericht (Beilage 8 des vertieften Vorprojekts 2018, [3]) beschrieben.

### **2.3.1. Restnutzungsdauer**

Die vom Bauherrn angestrebte Restnutzungsdauer des Durchlasses beträgt voraussichtlich ca. 50 Jahre. Die Restnutzung soll ohne Einschränkungen der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, unter Berücksichtigung der vorgesehenen Restnutzungsdauer, gewährleistet werden.

### **2.3.2. Anforderungen an die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit**

Die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit des Durchlasses sind aufgrund der darüberliegenden Bahnlinie und des Waldes sowie zur Vermeidung eines Wasseraufstaus mit Stabilitätsfolgen für den Bahndamm auch nach dieser Restnutzungsdauer zu gewährleisten.



Der Durchlass unterquert die Bahnlinie Rorschach-Heiden der Appenzeller Bahnen AG auf ca. 35 m Tiefe. Es handelt sich um eine Normalspurbahn mit Zahnstange, Zugdichte ca. 2 Züge / Std. Die Überlagerung des Durchlasses wurde anhand der zur Verfügung gestellten Unterlagen (s. Kapitel 2.1) und geodätischen Grundlagen auf dem Geoportal des Kantons AR zusammengestellt.

Änderungen im Dammkörper sowie in Bezug auf die Nutzung des Dammes oder die Verkehrslast der Bahn (Zugdichte und Achslast) haben einen direkten Einfluss auf den Durchlass.

Im Falle eines Erdbebens ist die Standsicherheit des Dammes massgebend. Der Damm als Bauwerk wird im Rahmen dieses Vorprojekts nicht untersucht. Bei einer Verklausung wird sich das Wasser hinter dem Damm (in Längsrichtung zum Durchlass) stauen. Somit ist die Standsicherheit des Dammes massgebend und nicht diejenige des Durchlasses. Es werden demnach keine Anforderungen an die Erdbebensicherheit für den Durchlass gestellt.

Für die Ermittlung der Stärke der neuen Innenschale wurde eine statische Vordimensionierung im Rahmen des vertieften Vorprojekts 2018 ([3]) erstellt. Zusätzlich wurde das bestehende Mauerwerksgewölbe auf seine Standsicherheit untersucht. Die grundlegenden Ergebnisse sind im Technischen Bericht des vertieften Vorprojekts 2018 enthalten. Die Grundlagen und Berechnungen sind in einem separaten statischen Bericht (Beilage 8 des vertieften Vorprojektes 2018) festgehalten.

Das Instandsetzungskonzept 2019 (Variante E) sieht die lokale Instandsetzung der betroffenen Paramentbereiche mittels Spritzbetonersatz und -plomben auf der gesamten Länge vor. Im First- und Kämpferbereich sind lokale Instandsetzungen (als Betonplomben) sowie flächige Spritzbetonapplikationen vorgesehen.

Für die Flügelmauern wird im Bericht [2] die Instandsetzung der Fugen und ein lokaler Steinersatz (als Betonplomben) vorgeschlagen. Der Mauerfuss im Auslaufbecken soll mittels eines Teilersatzes in Spritzbeton gesichert werden. Im Auslaufbecken sollte mittels Betonierung der Sohle die Unterspülung der Flügelmauern (bei Hochwasser) verhindert werden.

### 2.3.3.      Hydraulische Eigenschaften

Die hydraulischen Eigenschaften des Durchlasses werden in diesem Bericht nicht im Detail betrachtet. Die theoretische Abflusskapazität des bestehenden Durchlasses ist gemäss den wasserbaulichen Berichten ([10] und [14]) genügend gross bemessen, um auch die bei einem Extremereignis anfallenden Wassermengen abzuleiten.

Die wasserbaulichen Aspekte (Dimensionierung des Durchlasses und Sohlenbeschaffenheit, sowohl bestehend als auch für die vorgesehenen Instandsetzungskonzepte) werden vom Bauingenieurbüro Ribl AG in einem separaten Projekt beurteilt. Zum Zeitpunkt dieses Vorprojekts bestehen keine Einschränkungen bei der Lichtbreite oder -höhe des Durchlasses nach den Instandsetzungsmassnahmen. Dies trifft auch auf die Sohlenkoten zu, sodass die bestehenden Koten für das Vorprojekt angenommen wurden.

Basierend auf Erfahrungswerten und den Beobachtungen vor Ort, wird der Abrieb durch Geschiebetransport mit ca. 5 mm alle 2 Jahre geschätzt.

#### 2.3.4. Dichtigkeitsklasse

Aufgrund der Art des Bauwerks wird angenommen, dass Feucht- und Tropfstellen zugelassen werden, was gemäss SIA 197 einer Dichtigkeitsklasse von 4 entspricht.

#### 2.3.5. Umfeld und Drittanforderungen

Der Durchlass liegt in keiner gesondert ausgewiesenen Grundwasser-/Gewässerschutzzone. Bei Bauarbeiten im / entlang von Gewässern ist grösste Vorsicht geboten. Deshalb gelten für Arbeiten in / entlang von Gewässern die gleichen Vorschriften, wie für Arbeiten in Grundwasserschutzonen. Die Weisungen und Vorschriften des sia und des Amtes für Umwelt sind einzuhalten.

Der bestehende Bahnverkehr wird während der Ausführung von Instandsetzungsmassnahmen im Durchlass aufrechterhalten.

Südlich vom Bahndamm gibt es ca. drei Querungen der Bahnlinie durch private Wege (Bauernhöfe), nördlich mind. eine. Bei Lutzeland gibt es eine mündliche Vereinbarung mit den AB und der Forstwirtschaft für die Benutzung des Weges.

Falls für die Arbeiten am Durchlass häufigere Bahnfahrten notwendig sind, sind Abklärungen mit den Benutzern dieser Wege notwendig.

Für die Zufahrtswege, Installations- und Umschlagplätze sind Abklärungen zu den Eigentumsverhältnissen bei den betroffenen Parzellen und Wegen sowie die Rahmenbedingungen, wie z.B. Umweltbelange, notwendig. Bei den Grundeigentümern sind Genehmigungen einzuholen und die vorhandenen Restriktionen (Abmessungen, Lasten etc.) zu formulieren.

### **3. Beschreibung des Bauwerks**

#### **3.1. Durchlass Mattenbach – bestehende Bausubstanz**

Die Eisenbahnlinie Rorschach – Heiden (ehemals Rorschach-Heiden-Bergbahn RHB) überquert zwischen den Streckenkilometern 4.4 und 4.5 das Mattenbachtobel. In diesem eingetieften Tal fliesst der Mattenbach durch eine beim Bau der RHB um 1874/75 erstellte Blockstein-Gewölbe-Konstruktion aus lokalem Sandstein, dem eigentlichen Durchlass. Aus dem anfallenden Aushubmaterial wurde darüber ein rund 35 m hoher Damm für die Eisenbahn aufgeschüttet.

Im Bauwerk können unterschiedliche Varietäten des lokalen Sandsteins (Typ Rorschacher Sandstein, möglicherweise aus dem ehemaligen Steinbruch Eggersriet), erkannt werden – blaugraue, feinkörnige, harte Sandsteine bis hin zu gelblichgrauen, mittelkörnigen und eher weichen Sandsteintypen. Gewölbe und Sohle bestehen eher aus den harten Typen. Die Paramente weisen gemischte Varietäten sowie andere Gesteine auf (in der Regel sehr festes, glaziales Geschiebe: Granit, Kieselkalk, Nagelfluh). Als Mauermörtel liegt ein heller, magerer, meist feinkörniger Kalkmörtel vor. Im Gewölbe ist in sehr schmalen Fugen lokal auch hydraulischer Mörtel (ockerbraun) zu erkennen (gem. [2]).

Der Durchlass weist eine Länge von ca. 130 m auf ([2]) und besitzt – bis auf das im Jahr 2001 erweiterte, als Rechteckprofil ausgebildete Einlaufbauwerk aus Ortbeton – ein Hufeisenprofil mit einer variierenden Querschnittsfläche zwischen 8 und 11 m<sup>2</sup> (resp. für das Einlaufbauwerk ca. 11 m<sup>2</sup>). Gemäss den geltenden Normen ist der Durchlass somit ein Stollen (QS < 20 m<sup>2</sup>).

Das Mauerwerksgewölbe wurde in verschiedenen, abgetreppten Abschnitten ausgeführt (14 Stück, s. Beilage 1) und 2001 mit einem Einlaufbauwerk von rund 10.5 m Länge ergänzt, um die Böschungsneigung flacher auszugestalten. Die Verbindung zwischen den abgestuften Abschnitten ist unbekannt. Die Verbindung des neuen Stahlbetonbauwerks mit dem Bestand erfolgte über Querkraftdorne (Typ Cret-10, gemäss [15]). Die Fugen der gemauerten Abschnitte sind horizontal ausgerichtet. Die sichtbaren Paramentbereiche weisen abschnittsweise verschiedene Ausführungen auf. Es handelt sich dabei um zyklisches Blockmauerwerk (vermutlich Verband C) oder in Schichten gerichtetes Blockmauerwerk mit einer bruchrohen Sichtfläche (vermutlich Verband D). Zum Teil sind die Paramente im gleichen Abschnitt in verschiedenen Verbandsformen anzutreffen: links (in Fliessrichtung) zyklisches Blockmauerwerk und rechts in Schichten gerichtetes Blockmauerwerk mit einer bruchrohen Sichtfläche. Die Mauerwerkssteine beim zyklischen Blockmauerwerk sowie beim in Schichten gerichteten Blockmauerwerk weisen Fugen mit Breiten von 1 bis 6 cm auf. Die Sondagebohrungen zeigen Paramente mit 1.50 bis 2.00 m Stärke auf, die aus 2 bis 3 massiven Steinen bestehen (s. Beilage 2).

Im First und Kämpfer sind die quaderförmigen Mauerwerkssteine durch Fugen mit Breite < 1 cm vermutlich in Verbandart E aufgebaut (s. Beilage 1). Es handelt sich um ein Quadermauerwerk. Aufgrund der ausgeführten Sondierbohrungen kann von einem einschaligen, ca. 0.55 bis 0.60 m starken Mauerwerk ausgegangen werden (s. Beilage 2).

Diverse Stellen im Parament und Kämpfer weisen eine Vermörtelung oder Vorbetonierung auf, die Paramente sind auf der gesamten Länge betroffen, die Kämpfer mehrheitlich zwischen Tm 11 bis 35.30 (s. Beilage 1). Gemäss den Angaben im Sondagebericht 2019 ([2]) besteht der grösste Teil der Reparaturen aus Ortbeton in unterschiedlichen Tiefen.

Die unterschiedlichen Betonoberflächen weisen auf diverse Instandsetzungsphasen hin, zum Teil sind sie verputzt oder mit Schalbrettstruktur erstellt. Die letzten Stellen wurden 2016 instand gesetzt. Die Paramentteilersätze ragen mehrheitlich in den Lichtraum (ca. 5 bis 10 cm) ein und sind gemäss den Sondagebohrungen 2019 ([2]) 15 bis 50 cm dick. Der Beton der älteren Instandsetzungsstellen ist eher mager, der Beton der neueren Stellen besser verdichtet. Teilweise sind Bewehrungen vorhanden.

Die Sohle (Gerinne) besteht aus ca. 0.40 bis 0.55 m starken, genau bearbeiteten Sandsteinblöcken oder, wo bereits Instandsetzungsarbeiten an der Sohle stattgefunden haben und beim neuen Einlaufbauwerk, aus Ortbeton. Sie weist Schwellen auf, die nicht immer mit den Übergängen von zwei Gewölbeabschnitten übereinstimmen. Diese Schwellen wurden ursprünglich aus Sandstein oder Eisenbahnschienen erstellt. An einzelnen Stellen wurden Instandsetzungsarbeiten in Ortbeton ausgeführt.

Zwischen der Gerinnesohle und dem anstehenden Fels aus Sandstein, Mergel und mergeligem Sandstein befindet sich, gemäss den Ergebnissen der Sondierbohrungen 2018 ([4]), eine 10 bis 80 cm mächtige Auffüllung aus sandigem Kies.

Zur Verbindung zwischen dem Gerinne und den Paramenten liegen keine Angaben vor. Aufgrund der Grundlagenpläne und der Bohrkerne aus der Sohle ist davon auszugehen, dass der Durchlass, bis auf den Neubau beim Einlaufbauwerk, kein statisch relevantes Sohlgewölbe besitzt. Die Bohrungen mit einer Neigung von 45° in den Mauerfuss ([2]) zeigen, dass auch hier 60 bis 80 cm unterhalb der Sohlenoberkante der Fels folgt, sodass die Widerlager mehrheitlich direkt auf dem Fels stehen.

Die Paramenthöhe variiert infolge der vorhandenen Übergänge im Gewölbe und in der Sohle zwischen 2.70 m und 4.00 m. Infolge der verschiedenen Instandsetzungsmassnahmen (partieller Parament- und Kämpferersatz und Vorbetonierungen) verhält es sich ebenso mit der lichten Breite des Gewölbes (zwischen 2.60 und 3.00 m).

Die horizontale Linienführung weist vier gerade Sektionen auf, welche durch einen Knick nach rechts zueinanderstehen. Dadurch befindet sich das Auslaufbauwerk in Fließrichtung rechtsseitig des Einlaufbauwerks (siehe Abb. 2 und Beilage 2). Eine mittlere rechnerische Längsneigung von etwa 14.5 % ergibt sich aus der Höhendifferenz zwischen den beiden Portalen.

Am Einlaufbauwerk sind Flügelmauern aus Mauerwerk oberhalb der Ufermauerungen zu erkennen. Diese liegen quer zum Bachverlauf und sind grösstenteils mit Vegetation bedeckt.

Die Flügelmauern beim Auslauf bestehen aus einem massiven Schichtenmauerwerk an der Sichtseite und Bruchsteinmauerwerk im Mauer Kern. Die Mauer weist lokal Betonplomben sowie partiellen Mauerfussersatz aus Ortbeton auf. Die geometrischen Verhältnisse der Flügelmauern wurden bei der visuellen Zustandserfassung des Bauwerks im Rahmen der Vorstudie 2018 ([6]) aufgenommen. Bei den Sondagen 2019 ([1]) wurde eine Bohrung in der rechten Flügelmauer durchgeführt, wodurch der Aufbau abgeleitet werden konnte. Die Analyse des Bohrkernes ergab eine mehrschalige Mauerwerksstärke von 2.10 m, was gleichzeitig der Länge des Bohrkernes entspricht. Demnach bestehen die Flügelmauern aus einem massiven Schichtenmauerwerk an der Sichtseite und Bruchsteinmauerwerk im Mauer Kern [2]. Ein Verbund zwischen dem Portalbauwerk und den Flügelmauern konnte vor Ort nicht festgestellt werden. Die Sohle im Auslaufbecken weist auf ca. 3.00 m Länge Sohlsteine auf, danach folgt eine natürliche Bachsohle mit Kies.

Oberhalb des Portalbauwerks, beim Auslauf, ist eine ca. 70 cm starke Ort betonplatte vorhanden. Es ist unklar, aus welcher Zeit diese stammt. Es liegen keine Angaben zur Bettung oder zur Länge dieser Platte vor, die Breite beträgt ca. 2.00 m.

**Tabelle 1: Bauwerkskenndaten – Durchlass Mattenbach**

Bauwerk:	Durchlass Mattenbach
Linie:	Rorschach – Heiden
Objekt-Nr.:	
Streckenkilometer:	
– Gewässernetz	2.643 – 2.526
– Eisenbahnlinie	ca. km 4.45 (Kreuzungspunkt mit Durchlass)
Zwischen den Stationen:	Schwendi bei Heiden und Heiden
Bauwerkslänge:	ca. 130 m
Gewölbe-Abschnitte: (gem. Aufnahme 2019 [2], kursiv Tm bisher)	0 Tm 0.00 – 11.00 ( <i>0.00 – 10.85</i> ) 1 Tm 11.00 – 18.00 ( <i>10.85 – 13.00</i> ) - ( <i>13.00 – 18.50</i> ) 2 Tm 18.00 – 26.30 ( <i>18.50 – 26.00</i> ) 3 Tm 26.30 – 35.30 ( <i>26.00 – 33.00</i> ) 4 Tm 35.30 – 48.30 ( <i>33.00 – 47.00</i> ) 5 Tm 48.30 – 56.30 ( <i>47.00 – 54.00</i> ) 6 Tm 56.30 – 63.80 ( <i>54.00 – 61.80</i> ) 7 Tm 63.80 – 72.30 ( <i>61.80 – 69.00</i> ) 8 Tm 72.30 – 78.30 ( <i>69.00 – 76.50</i> ) 9 Tm 78.30 – 85.30 ( <i>76.50 – 84.50</i> ) 10 Tm 85.30 – 92.00 ( <i>84.50 – 91.00</i> ) 11 Tm 92.00 – 99.80 ( <i>91.00 – 98.00</i> ) 12 Tm 99.80 – 107.00 ( <i>98.00 – 105.70</i> ) 13 Tm 107.00 – 122.50 ( <i>105.70 – 121.30</i> ) 14 Tm 122.50 – 128.00 ( <i>121.30 – 126.00</i> )
Horizontale Linienführung ([2]):	4 gerade Sektionen
Sohlgefälle ([13]):	1. Teil ca. 10-11 % ca. 7 % im Bereich direkt unter der Bahnschiene anschliessend Steigung bis zu ca. 24 % gegen das Ende ca. 10-12 %.
Baujahr:	1874 / 75



**Profile:**

- Aus der Bauzeit                      Hufeisen
- Einlaufbauwerk                    Rechteck (Neubau 2001)

Querschnittsfläche:                ca. 11 m<sup>2</sup> (Hufeisen) resp. ca. 11 m<sup>2</sup> (Rechteck)

**Dimensionen:**

- Gewölbter Durchlass              Paramenthöhe ca. 1.50 bis 1.80 m  
    Sohlenbreite ca. 2.65 bis 3.00 m  
    Höhe Profil (ca. Firstbereich) ca. 2.70 bis 3.00 m, lokal bis  
    zu 4.00 m
- Einlaufbauwerk                    Paramenthöhe ca. 2.70 m  
    Sohlenbreite ca. 4.20 m

**Ausbau:**

- Aus der Bauzeit                    Bruchsteinmauerwerk aus Sandstein (gerichtetes Zyklo-  
    penmauerwerk; regelmässiges Schichtenmauerwerk, Sicht-  
    fläche bruchroh; gerichtetes Quadermauerwerk)
- Heute                                  Bruchsteinmauerwerk aus Sandstein  
    Stahlbeton (verlängertes Einlaufbauwerk, 2001)  
    Ortbeton auf Mauerwerk (teilweise Kämpfer und Gewölbe-  
    fuss bei Hufeisenprofil)

Besonderheiten:                    Sohlschwellen in unregelmässigen Abständen, verteilt über  
    das gesamte Bauwerk  
    Längsneigungsänderung von 9 auf 15 % (ca. Mitte Bau-  
    werk)

**Geologie:**

- Damm                                  Aufschüttung (Moräne grobkörniger Typ, bestehend aus  
    Molassefels)
- Altes Bachbett                      Molassefels (Mergel und Sandstein der Unteren Süsswas-  
    sermolasse)

Überlagerung:                      ca. 35 m



Folgende Erhaltungsmassnahmen, welche im oder am Durchlass ausgeführt wurden, sind bekannt:

- Gemäss den Informationen im Technischen Bericht [10] wurde ein früher bestehender Rechen beim Einlaufbauwerk im Zusammenhang mit einer Rutschung am Bahndamm im Jahr 2001 zum neuen Einlaufbauwerk mit verlängerter Durchlassdecke umgebaut.

#### **4. Geologie und Hydrogeologie**

Der Durchlass weist eine maximale Überlagerung von etwa 35 m auf. Diese besteht aus Aufschüttungsmaterial aus der Bauzeit. Die Böschungen sind steil (bis ca. 37°).

Gemäss dem Bericht [14] bildete der Mattenbach sein Bachbett im Molassefels. Die Felsschichtung fällt mit ca. 30 – 40° nach NNW ab. Auf der linken Tobelseite können dabei mehr oder weniger senkrecht zur Schichtung stehende Klüfte mit 60 bis 70° Neigung Gleitflächen bilden; auf der rechten Tobelseite sind es die Schichtflächen selbst.

Es liegen keine Angaben zum Felsverlauf unterhalb des Dammes vor. Aufgrund der Bauzeit (1874/1875) und des geringen Verkehrsaufkommens sowie unter Berücksichtigung der Rutschungen, die zum Bau des Einlaufbauwerks und vermutlich auch zum Bau der Ortbetonplatte am Auslaufbauwerk geführt hatten, wird angenommen, dass der Damm einen geringeren Verdichtungsgrad im Vergleich zu einem maschinell verdichteten Damm aufweist.

Aus der im November 2018 durchgeführten Sondagekampagne geht hervor, dass es sich beim Dammschüttungsmaterial um grobkörniges Moränenmaterial handelt. Dessen Schüttdichte beträgt laut Literatur 26 kN/m<sup>3</sup> und besitzt einen inneren Reibungswinkel von 37.5°.

Der Durchlass liegt in keiner gesondert ausgewiesenen Gewässerschutzzone (übriger Bereich). Die Hochwasserabflussmengen des Mattenbachs variieren gemäss [10] zwischen 19.5 bis 21 m<sup>3</sup>/s (HQ30) bis zu einem Ereignishochwasser (EHQ) von 42 bis 45 m<sup>3</sup>/s. Dem Vorprojekt für einen Schwemmholzrückhalterechen am Durchlass wurde HQ100 von 28 bis 30 m<sup>3</sup>/s zugrunde gelegt.

Gemäss [8] befindet sich das Bauwerk in einem Gebiet mit mittlerer bis geringer Durchlässigkeit.

Die Sondierbohrungen in die Sohle von 2018 ([4]) zeigen, dass der Fels meistens direkt an der Sohlenunterkante liegt. Zonenweise dringt Wasser andauernd ins Bauwerk, einerseits durch Versickerung, andererseits geführt über Entlastungen ([2]).

## **5. Zustandserfassung**

Der Zustand des Tunnels wurde erstmals im Rahmen von zwei Begehungen im März und Juli 2018 erfasst. Die Begehungen erfolgten zu Fuss, in Fliessrichtung. Die aus den Grundlagenplänen bekannte Geometrie wurde lokal mittels Massband und Hand-Lasermessgerät überprüft und aufgenommen. Die Paramente wurden lokal abgeklopft.

Im Rahmen der Sondagekampagne in der Kalenderwoche 47 (19. bis 22. November 2018) wurden zusätzlich Erkundungsbohrungen in das bestehende Mauerwerksgewölbe und Sondierschlitze in den bachabwärts liegenden Dammfuss ausgeführt. Daraus wurden die Mauerwerksstärke ermittelt und das Aufschüttungsmaterial des Dammes näher bestimmt. Eine Zusammenstellung der Erkenntnisse kann dem Technischen Bericht des vertieften Vorprojekts [3] entnommen werden.

Im Rahmen der ergänzenden Materialuntersuchung durch die Fa. Mattec wurde eine Zustandsaufnahme erstellt, die als Grundlage für die Variante E dient. Diese Informationen können dem Bericht [2] entnommen werden, auf eine zusätzliche Beschreibung in diesem Bericht wird verzichtet.

### **5.1. Zusammenstellung der Informationen zu den Flügelmauern im Auslaufbereich**

Im Zuge der visuellen Zustandserfassung des Bauwerks im Rahmen der Vorstudie 2018 ([6]) wurden die geometrischen Verhältnisse der Flügelmauern aufgenommen. Bei den materialtechnischen Untersuchungen [2] wurde der Aufbau und der Zustand der beiden Flügelmauern im Bereich des Auslaufs näher untersucht. Aus der Begehung 2018 und dem Bericht [2] kann der Zustand zusammenfassend wie folgt beschrieben werden:

- Die Mauerwerksfugen sind grösstenteils schadhaft, im Kernbereich ist der Kalkmörtel aufge-  
weicht.
- Die Mauerwerkssteine schalen zum Teil ab, sind in ihrer Substanz aber noch fest.
- Der Mauerfuss wird teilweise unterspült, was zu einem verstärkten Schadensausmass führt.
- Flächiger Pflanzen- und Moosbewuchs.
- Die Sohle im Auslaufbecken ist ausgewaschen, ein paar Sohlsteine befinden sich noch vor  
Ort.

In der Fotodokumentation (Beilage 1) ist der IST-Zustand der beiden Flügelmauern im Auslaufbereich dargelegt. Die Länge des instand zu setzenden Abschnitts beider Flügelmauern beträgt ca. 9 m mit einer Oberfläche von ca. je 30 m<sup>2</sup>. Die restlichen Ufermauern und die Bachsohle sind nicht Bestandteil dieses Vorprojekts.

## **6. Zustandsbeurteilung des Durchlasses in Bezug auf Sicherheit, Nutzung, Instandsetzungsbedarf und Restlebensdauer**

Eine Zusammenstellung der Zustandsbeurteilung kann dem Technischen Bericht des vertieften Vorprojekts [3] entnommen werden.

Im Rahmen der ergänzenden Materialuntersuchung durch die Fa. Mattec wurde eine Zustandsbeurteilung erstellt, die als Grundlage für die Variante E dient. Diese Informationen können dem Bericht [2] entnommen werden, auf eine zusätzliche Beschreibung in diesem Bericht wird verzichtet.



## **7. Instandsetzungskonzepte, Kostenschätzung**

In der Vorstudie wurden vier Massnahmenkonzepte (A, B, C und D) für die Instandsetzung des Durchlasses erarbeitet, welche in einem Zeithorizont von bis zu 5 Jahren ausgeführt werden sollten. Diese Konzepte zogen verschiedene Restnutzungsdauern in Betracht, da die Restnutzungsdauer des Bauwerks noch nicht endgültig bestimmt ist.

Drei Konzepte (A, B und C) gingen von der weiteren Nutzung des bestehenden Bauwerks aus, das Konzept D sah einen Ersatzneubau mittels Microtunneling vor. Die hohen Erstellungskosten für den Neubau und die Verfüllung des bestehenden Durchlasses sind jedoch, verglichen mit den Instandsetzungsmassnahmen, unverhältnismässig, was zum Ausschluss führte. Ein Versagen des Gewölbes in Bereichen mit grosser Schädigung kann nicht deterministisch vorausgesagt werden. Die Planung jährlicher Zwischeninspektionen, in Kombination mit Sonderinspektionen nach Ereignisfällen (Konzept C), führt durch kürzere Inspektionsintervalle zu einer detaillierteren Aussage über den Schadensfortschritt, kann diesen jedoch weder verhindern noch die Folgen eines Versagens entschärfen. Die unzureichende Sicherheit bei diesem Konzept führte zum Ausschluss.

Aufgrund der Beurteilung des Instandsetzungsaufwandes, der Kosten (Investitionskosten, periodische Kosten über die Restnutzungsdauer) und der Zweckmässigkeit wurde der Einbau einer neuen Innenschale im gesamten gemauerten Durchlass (Variante A) resp. lokal im Bereich des Auslaufbauwerks, in Kombination mit regelmässigen Inspektionen für das restliche Bauwerk (Variante B), im vertieften Vorprojekt 2018 bevorzugt.

Eine weitere Sondagekampagne und Zustandsaufnahme wurde von der Fa. Mattec als Grundlage für eine weitere Variante und die Analyse der Flügelmauern erstellt. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde das Massnahmenkonzept E sowie die Massnahmen an den Flügelmauern in einem Technischen Bericht [2] beschrieben.

Das im Technischen Bericht [2] vorgeschlagene Massnahmenkonzept E und die Instandsetzung der Flügelmauern werden wie die vorherigen Varianten des Vorprojekts 2018 analysiert.

### **7.1. Instandsetzungskonzept E, lokale Instandsetzung**

Das Instandsetzungskonzept 2019, Variante E, sieht die lokale Instandsetzung der betroffenen Paramentbereiche mittels Spritzbetonersatz und -plomben auf der gesamten Länge vor. Im First- und Kämpferbereich sind lokale Instandsetzungen (Steinersatz oder Betonplomben) sowie flächige Spritzbetonapplikationen (Mindeststärke von 10 cm ist vorgegeben) vorgesehen. Die schadhaften Mauerwerkssteine werden bis zur erforderlichen Tiefe ausgespitzt und ergänzt, im Parament werden max. 40 cm gespitzt, im Kämpfer und First max. 20 cm. Gemäss Bericht [2] müssen Schäden am bestehenden Mauerwerk und am Beton, die Tiefen von bis zu 10 cm aufweisen, nicht zwingend repariert werden, sofern sie nicht im Fliessbereich (inkl. Hochwasser) liegen. Bestehende Entlastungsöffnungen werden erhalten. Falls notwendig, werden zusätzliche Entlastungsöffnungen erstellt. Das bestehende Tragsystem bleibt bestehen, die neuen Teilersatzmassnahmen werden in ihrem Aufbau qualitativ statisch geprüft. Bestehende Vorbetonierungen und Paramentteilersätze werden gemäss den Angaben im Bericht [2] nachgesichert. Die Details zu den Übergängen der Abschnitte im Gewölbe sowie zum bestehenden Ortbetongewölbe von Tm 11 bis 17 werden in einer späteren Projektphase betrachtet.

Gemäss den Aufnahmen und der Massnahmendefinition im Bericht ([2]) ergeben diese lokalen Instandsetzungsbereiche verschiedene Querschnitte, die betrachtet werden. Es werden 4 Querschnitte dargestellt, die die verschiedenen Massnahmen darstellen. Zwei Details ergänzen die Informationen zu den Arbeiten an den Paramenten und der Sohle. In den Bereichen dazwischen sind die entsprechenden Massnahmen gemäss dem Stollenband im Bericht ([2]) anzuwenden:

- Tm 18 → flächige Spritzbetonschale, Teilersatz des Paraments, flächig sowie lokal
- Tm 30 → flächige Spritzbetonschale zwischen 2 bestehenden, intakten Kämpferteilersätzen aus Ort beton
- Tm 105 → lokaler Teilersatz des Paraments und Kämpferbereichs
- Tm 127 → flächige Spritzbetonschale, lokaler Teilersatz des Paraments

Paramente:

- Fugeninstandsetzung
- Sicherung der bestehenden Instandsetzungsbereiche mittels Vernadelungen
- Steinersatz (mittels Betonplomben)
- Lokale Instandsetzung der bestehenden Vorbetonierungen und Teilersätze, z. T. bewehrt
- Teilersatz auf der gesamten Höhe
- Lokaler Teilersatz
- Neue Entlastungsbohrungen auf ca. 100 cm ab OK Sohle aufsteigend erstellen

Kämpfer:

- Fugeninstandsetzung
- Steinersatz (mittels Betonplomben)
- Lokaler Teilersatz

First und Kämpfer:

- Fugeninstandsetzung
- Flächige Spritzbetonapplikation

Beim Teilersatz eines Paramentbereichs wird in Etappen gearbeitet. In den Mauerwerksbereichen werden die schadhaften Steine von Hand bis zur erforderlichen Tiefe gespitzt. In flächigen Bereichen dürfen die zu bearbeitenden Stellen nicht länger als 100 cm sein, die Etappierungen werden vor Ort den Gegebenheiten angepasst. Der Einsatz von temporären Verankerungen (Longarinen mit Anker im Ankerstrumpf) hängt vom Ausmass der schadhaften Steine in einem Bereich ab und wird vor Ort betrachtet. In Bereichen, die über die Abschnitte hinausgehen, werden die Abschnitte separat behandelt. Der Untergrund wird gereinigt und die Fugen instand gesetzt, um die Haftung des neuen Paramentbereichs aus Spritzbeton zu verbessern. Die Verdübelung oder Vernagelung (je nach Tiefe der schadhaften Steine) dient der Sicherung des Teilersatzes und der Montage der Bewehrungsnetze.

Bestehende Entlastungsöffnungen bleiben erhalten und zusätzliche Öffnungen werden, falls notwendig, erstellt. Der Spritzbeton wird in mehreren Lagen appliziert, je nach Tiefe der schadhaften Steine. Der Einbau von einer oder zwei Lagen Bewehrungsmatten ist von den jeweiligen Spritzbetonstärken abhängig.

Bestehende Teilersätze aus Ortbeton werden mit einer nachträglichen systematischen Vernadelung (im Gewebestrumpf umhüllt) gesichert. Die schadhaften Stellen in den bestehenden Vorbetonierungen und Teilersätzen werden angeschnitten und danach ausgespitzt. Der Untergrund wird gereinigt und die Fugen instand gesetzt, um die Haftung des neuen Paramentbereichs aus Spritzbeton zu verbessern. Die Verdübelung dient der Sicherung des Teilersatzes sowie der Montage der Bewehrungsnetze. Der Spritzbeton wird in mehreren Lagen appliziert, je nach Tiefe der schadhaften Steine. Der Einbau von einer oder zwei Lagen Bewehrungsmatten ist von den jeweiligen Spritzbetonstärken abhängig.

Ein gesonderter Bereich wird in dem am stärksten betroffenen Abschnitt von ca. Tm 107 bis 128 (ca. 21 m) vorgesehen. In diesem Bereich wird eine flächige Spritzbetonschale von Kämpfer zu Kämpfer vorgesehen, die das abschalende Gewölbe ergänzt und schützt. Ein Aufhängen dieser Spritzbetonschale ist aufgrund des Gewölbezustandes nicht möglich. Das Verankern der Schale im Untergrund wird nicht empfohlen, da die Dammaufschüttung als locker angenommen wird. Um die Kräfte abzutragen, ist die neue Spritzbetonschale auf den bestehenden Paramenten oder den neuen Paramenteilersatz zu gründen. Daher werden die Kämpferbereiche abschnittsweise freigelegt und die Spritzbetonschale bis zum oberen Paramentbereich appliziert.

Die Sohle wird sowohl im Natursteinbereich wie auch im Betonbereich lokal instand gesetzt, wobei die Sohlenoberkante und das Gefälle unverändert bleiben. Die Ersatztiefe wird mit mind. 15 cm vorgegeben, Randzonen und der Übergangsbereich werden ausgespitzt. Aufgrund des geschleibeführenden Mattenbachs und der Richtungsänderung im Durchlass wird ein abrasionsresistenter Beton (hohe Druckfestigkeit) für die Instandsetzung der Sohle empfohlen. Im Bereich der instand zu setzenden Schwellen sind keine weiteren Kantenschutzmassnahmen vorgesehen. Falls die ursprünglichen Schienen vorhanden sind, werden sie instand gesetzt. Die Schwelle beim Auslauf wird im Rahmen der Instandsetzung des Auslaufbeckens neu erstellt.

Die Kosten der Baumeisterarbeiten exkl. Installationen für die lokale Instandsetzung auf der gesamten Länge werden auf ca. CHF 447'050.00 geschätzt (Preisbasis Oktober 2019, Genauigkeit  $\pm 30\%$ , exkl. MWST). Dem Ausmass werden die Massen aus dem Technischen Bericht [2] zugrunde gelegt.

**Tabelle 2 Variante E: Kostenschätzung der Baumeisterarbeiten im Bereich des Durchlasses**

**Kostenschätzung der Variante E**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
<b>Baumeisterarbeiten</b>				
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	250.00	35.00	8'750.00
Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand)	m <sup>2</sup>	250.00	70.00	17'500.00
Untergrundvorbereitung (Fugeninstandsetzung und Ausgleichsschicht Spritzbeton)	m <sup>3</sup>	60.00	850.00	51'000.00
Ausbau, Spritzbeton, d=25cm, GFK-bewehrt	m <sup>3</sup>	150.00	850.00	127'500.00
Liefern und Verlegen GFK-Netz (+15 % Überlappung)	m <sup>2</sup>	560.00	60.00	33'600.00
Trennen von Beton und Mauerwerk	m <sup>2</sup>	30.00	300.00	9'000.00
Untergrundvorbereitung und Betonierung Sohle	m <sup>3</sup>	10.00	500.00	5'000.00
Verdübelung Mauerwerk und Sohleninstandsetzung	Stk	980.00	90.00	88'200.00
Vernadelung bestehender Ortbetonersatz	Stk	314.00	250.00	78'500.00
Verankerung / Longarine	Stk	20.00	600.00	12'000.00
Portalinstandsetzung	gl	1.00	16'000.00	16'000.00
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>447'050.00</b>

Die Bauablaufplanung ist in Kapitel 9 beschrieben.

In den oben aufgeführten Kosten sind nachträgliche Instandsetzungsarbeiten an der restlichen Bausubstanz und Inspektionen des Bauwerks nicht berücksichtigt. Eine Alterung der restlichen Bausubstanz kann nicht ausgeschlossen werden. Die Alterung der Bausubstanz führt zudem zu einem baulichen und betrieblichen Unterhaltsaufwand. Eine Verschlechterung des Zustandes des restlichen Bauwerks kann zu höheren Massnahmenkosten innerhalb der Restnutzungsdauer von 50 Jahren führen. Im Bericht [2] werden die folgenden zusätzlichen Arbeiten für die Restnutzungsdauer angegeben:

- Schäden, die im Laufe der Zeit entstehen, sind im Rahmen des regelmässigen Unterhalts zu beheben, sodass ein Hochwasser keine grösseren Schäden verursachen kann. *"Die Schäden durch Hochwasser beschränken sich auf die Sohle und ca. die 0.8 m OK Mauerfuss WDL."*
- *"Mit den genannten Massnahmen können Inspektionen an den WDL und den Bögen in den normalen Intervallen erfolgen. Der Zustand der Sohle ist jährlich bzw. nach aussergewöhnlichen Hochwassern zu kontrollieren. Kolk und Auswaschungen sind umgehend, im Rahmen des Unterhalts zu reparieren."*

Mit der Annahme einer linearen Schadensentwicklung der Sohle des restlichen Bauwerks wie bis anhin von ca. 8 % der Bauwerksoberfläche und einer einzigen Intervention in 50 Jahren resultieren für die gewünschte Restnutzungsdauer zusätzliche Instandhaltungskosten von rund 80'597.40 CHF, wobei allfällige Hochwasserereignisse oder Trockenperioden die Verschleissgeschwindigkeit beeinflussen.

**Tabelle 3: Schadensentwicklung Sohle Durchlass, Angaben Bericht [2]**

	Oberfläche			%
Originale Sohle aus Sandstein (116 m x ca. 2.65 m)	Ca.	307	m <sup>2</sup>	
Ersatz mittels Beton in den letzten 50 Jahren	Ca.	164.0	m <sup>2</sup>	
Schadhafte Betonbereiche (Aufnahme Bericht [2])	Ca.	15.8	m <sup>2</sup>	
Schadhafte Sandsteinbereiche (Aufnahme Bericht [2])	Ca.	18.8	m <sup>2</sup>	
Verschlechterung der Sohle innerhalb von 144 Jahren				59 %
Verschlechterung der Sohle innerhalb der letzten 50 Jahre				
Betonbereich				10 %
Sandsteinbereich				6 %
Mittelwert innerhalb 50 Jahren, Beton und Sandstein				8 %

**Tabelle 4: Kosten für eine zusätzliche Instandhaltung der Sohle des Durchlasses, Annahme einer einzigen Intervention in 50 Jahren**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Baustellenerschliessung und Installationen	%	45		70'000.00
Erschwernisse aufgrund des Tunnelgefälles / Wasser	%	25		2'141.00
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	40.00	35.00	1'400.00
Reinigen der schadhafte Stellen (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m <sup>2</sup>	40.00	30.00	1'200.00
Untergrundvorbereitung und Betonierung Sohle	m <sup>3</sup>	10.	500.00	5'000.00
Diverses und Unvorhergesehenes	%	10		856.40
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>8'564.00</b>
<b>Gesamtkosten</b>			<b>CHF</b>	<b>80'597.40</b>

In den oben aufgeführten Kosten sind die jährlich wiederkehrenden Zwischeninspektionen (ca. 3'213.60 CHF/Inspektion; vgl. Tabelle 5) und die Hauptinspektionen alle 5 Jahre (ca. 11'371.20 CHF/alle 5 Jahre; vgl. Tabelle 6) für das im Bestand belassene Bauwerk und die Sohle nicht berücksichtigt. Für die gewünschte Restnutzungsdauer von 50 Jahren resultieren dadurch zusätzliche Kosten für Zwischeninspektionen (rund 242'256.00 CHF), wobei allfällige Sonderinspektionen nach grösseren Ereignissen nicht eingerechnet sind. Die Intervalle der jährlichen Zwischeninspektionen können im Laufe der Betrachtungszeit angepasst werden, wenn festgestellt wird, dass die Zustandsentwicklung im restlichen Bauwerk langsamer als im Auslaufbereich abläuft.



**Tabelle 5: Kostenschätzung - jährliche Zwischeninspektion**

**Zwischeninspektion, Kosten pro Inspektion**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Zustandserfassung, 2-er Team	h	10	120.00	1'200.00
Zustandsbeurteilung und Empfehlung	h	8	120.00	960.00
Fotodokumentation	h	8	120.00	960.00
<b>Zwischentotal</b>	<b>CHF</b>			<b>3'120.00</b>
Nebenkosten (in % vom Zwischentotal)	%	3		93.60
<b>Gesamtkosten</b>	<b>CHF/a</b>			<b>3'213.60</b>

**Tabelle 6: Kostenschätzung – Hauptinspektionen**

**Hauptinspektion, Kosten pro Inspektion**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Zustandserfassung, 2-er Team	h	16	120.00	1'920.00
Zustandsbeurteilung	h	32	120.00	3'840.00
Massnahmenempfehlung	h	24	120.00	2'880.00
Dokumentation	h	20	120.00	2'400.00
<b>Zwischentotal</b>	<b>CHF</b>			<b>11'040.00</b>
Nebenkosten (in % vom Zwischentotal)	%	3		341.20
<b>Gesamtkosten</b>	<b>CHF/a</b>			<b>11'371.20</b>

## 7.2. Lokale Instandsetzung der Flügelmauern im Auslaufbereich

Die Massnahmen zur lokalen Instandsetzung der Flügelmauern sehen die Reparatur der Flügelmauern im Auslaufbereich sowie der Sohle des Auslaufbeckens vor. Im Rahmen dieses Vorprojekts wurde festgelegt, dass die Flügelmauern auf einer Länge von ca. 9 m betrachtet werden. Die restliche Ufermauer und die restliche Bachsohle sind nicht Bestandteil dieses Projektes.

Die Struktur der Flügelmauern wird mittels lokalem Steinersatz (als Betonplomben) und einer Instandsetzung der Fugen konsolidiert. Die Mauerfüsse werden mittels eines partiellen Ersatzes auf ca. 4.50 m Länge gesichert, um die Unterspülung der Flügelmauern (bei Hochwasser) zu verhindern und den hydraulischen Querschnitt nicht zu stark zu verändern. Das bestehende Tragsystem bleibt somit bestehen. Eine statische Überprüfung der Flügelmauern im Auslaufbereich als Bauwerk ist in dieser Projektstufe nicht vorgesehen.

Im Auslaufbecken werden die vorhandenen Sohlsteine beibehalten und eine neue Sohle darüber betoniert, um die Verwitterung des Beckens und die Unterspülung der Flügelmauern zu verhindern. Aufgrund des geschiebeführenden Mattenbachs wird ein abrasionsresistenter Beton (hohe Druckfestigkeit) für diese neue Sohle empfohlen.

Die Vorbetonierung der Flügelmauern wird mittels Verankerungen im Mauerwerk gesichert. Um die bestehenden Tragstrukturen nicht zu verändern, wird die Sohle von den Mauerwerksfüssen getrennt betoniert, da eine Verbindung der bestehenden Sohle aus Mauerwerk mit den Flügelmauern vor Ort nicht eruiert werden könnte. Die schadhaften Steine werden von Hand bis zu den erforderlichen Tiefen oder max. 15 cm gespitzt.

Die zu bearbeitenden Stellen dürfen nicht länger als 100 cm sein. Der Einsatz von temporären Verankerungen (Longarinen mit Anker im Anker-strumpf) hängt vom Ausmass der schadhaften Steine ab und wird vor Ort betrachtet. Der Untergrund wird gereinigt und die Fugen instand gesetzt, um die Haftung des neuen Paramentbereichs aus Spritzbeton zu verbessern. Die Verdübelung oder Vernagelung (je nach Tiefe der schadhaften Steine) dient der Sicherung des Teilersatzes sowie der Montage der Bewehrungsnetze. Bestehende Entlastungsöffnungen bleiben erhalten und zusätzliche Öffnungen werden, falls notwendig, erstellt. Der Spritzbeton wird in mehreren Lagen appliziert, je nach Tiefe der schadhaften Steine. Der Einbau von einer oder zwei Lagen Bewehrungsmatten ist von den jeweiligen Spritzbetonstärken abhängig.

Aufgrund der zuvor beschriebenen Zustandsbeurteilung der beiden Flügelmauern im Auslaufbereich ergeben sich gemäss Bericht [1] die folgenden lokalen Instandsetzungsmassnahmen:

- Fugeninstandsetzung
- Lokaler Steinersatz / Betonplomben bei abschalenden Mauerwerkssteinen
- Mauerfuss mittels Spritzbetonersatz sichern
- Betonierung der Sohle zur Verhinderung der Unterspülung
- Reinigung der Oberfläche zur Entfernung des Pflanzen- und Moosbewuchses

### **Entfernung des Pflanzen- und Moosbewuchses**

Zur Entfernung des leichten Pflanzen- und Moosbewuchses werden folgende Massnahmenschritte eingeleitet:

1. Abtrag mittels HDW-Reinigung.

### **Fugeninstandsetzung**

Zur Fugeninstandsetzung werden folgende Massnahmenschritte eingeleitet:

1. Reinigung der Mauerwerksfugen mittels HDW.
2. Ausspitzen von ungenügendem Fugenmörtel inkl. Nachreinigung mittels HDW.
3. Fugeninstandsetzung; einzelne Fugen werden als Entwässerungslöcher nicht geschlossen.

### **Lokaler Steinersatz / Betonplomben**

Für den lokalen Steinersatz / Betonplomben werden folgende Massnahmenschritte eingeleitet:

1. Ausspitzen der schadhaften Mauerwerkssteine inkl. Nachreinigung mittels HDW.
2. Steinersatz: Neuverfugung und Einsetzen eines neuen Mauerwerksteins inkl. Nachverfugung.

Betonplombe: Setzen von Ankerstäben zur kraftschlüssigen Verbindung mit dem dahinterliegenden Mauerwerksstein, falls ein Teil des Steins vor Ort bleibt; Stärke der Betonplombe 20-30 cm; Nachverfugung.

### **Partieller Mauerfuss-Ersatz in Spritzbeton und Instandsetzung der Sohle**

1. Beurteilung der Steine vor Ort, evtl. Sicherung der Flügelmauern mit Longarinen und Ankern.
2. Anpassung des abgebrochenen Bereichs der Sohle beim Portalbauwerk.
3. Ausspitzen der untersten Mauerwerkssteine der Flügelmauern auf ca. 0.80 m über OK Sohle und bis zu einer Tiefe von ca. 20 - 30 cm auf ca. 1.0 bis 1.5 m Länge.
4. Reinigung der Mauerwerksfugen der Flügelmauern mittels HDW.
5. Fugeninstandsetzung der Flügelmauern im Bereich des Teilersatzes.
6. Setzen von Ankerstäben zur kraftschlüssigen Verbindung mit den dahinterliegenden Mauerwerkssteinen.
7. Betonierung des Teilparamentersatzes.
8. Ausspitzen der untersten Mauerwerkssteine der Flügelmauern auf ca. 0.80 m über OK Sohle und bis zu einer Tiefe von ca. 20 - 30 cm auf den nächsten ca. 1.5 m Länge.
9. Reinigung der Mauerwerksfugen der Flügelmauern mittels HDW.
10. Fugeninstandsetzung der Flügelmauern im Bereich des Teilersatzes.
11. Setzen von Ankerstäben zur kraftschlüssigen Verbindung mit den dahinterliegenden Mauerwerkssteinen.
12. Betonierung des Teilparamentersatzes.
13. Herstellung einer Splitt- bzw. Sauberkeitsschicht.
14. Betonierung Sohlbereich des Portalbauwerks.
15. Betonierung Sohle (inkl. Anrampung) auf ca. 4 m Länge.

Die Kosten der Baumeisterarbeiten exkl. Installationen für die Instandsetzung der Flügelmauern auf der gesamten Länge werden auf ca. CHF 48'950.00 geschätzt (Preisbasis Januar 2019, Genauigkeit  $\pm 30\%$ , exkl. MWST).

**Tabelle 7: Flügelmauern im Auslaufbereich - Kostenschätzung der Baumeisterarbeiten**

**Kostenschätzung der Flügelmauern**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
<b>Baumeisterarbeiten</b>				
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	60	35.00	2'100.00
Reinigen der schadhafte Stellen (Ausstocken von Hand)	m <sup>2</sup>	60	70.00	4'200.00
Entfernung Pflanzen- und Moosbewuchs	m <sup>2</sup>	60	10.00	600.00
Fugeninstandsetzung (Neuverfugung)	m <sup>3</sup>	4	850.00	3'400.00
Ausbau, Spritzbeton, d=25cm, GFK-bewehrt	m <sup>3</sup>	10	850.00	8'500.00
Liefern und Verlegen GFK-Netz (+15 % Überlappung)	m <sup>2</sup>	40	60.00	2'400.00
Trennen von Beton und Mauerwerk, Unterfangung	m <sup>2</sup>	5	300.00	1'500.00
Aushub / Reinigung Sohle	m <sup>2</sup>	25	100.00	2'500.00
Neue Sohle betonieren	m <sup>3</sup>	20	350.00	7'000.00
Untergrundvorbereitung	m <sup>2</sup>	15	250.00	3'750.00
Verdübelung	Stk	100	90.00	9'000.00
Verankerung / Longarine (prov. Sicherung)	m	6.00	600.00	3'600.00
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>48'950.00</b>

Die Bauablaufplanung ist in Kapitel 9 beschrieben.

## **8. Aktualisierung der Varianten A und B**

### **8.1. Instandsetzungskonzept A, Erneuerung Innenschale**

Die Instandsetzungsmassnahme Variante A „Erneuerung Innenschale“ sieht eine neue, selbsttragende Innenschale im gesamten Mauerwerksbereich vor. Dieser Ausbau berücksichtigt die vorhandenen Abschnitte. Das bestehende Tragsystem bleibt bestehen und wird durch eine neue, selbsttragende Innenschale aus Spritzbeton ergänzt. Die Innenschale wird vom bestehenden Bauwerk getrennt ausgeführt, da das abschalende Gewölbe ein Aufhängen der neuen Innenschale verunmöglicht. Das Verankern der Schale im Untergrund wird nicht empfohlen, da die Dammaufschüttung als locker angenommen wird. Die neue Innenschale ist auf dem unter der Gerinnesohle liegenden Fels zu gründen, um die Kräfte besser in den Untergrund abzutragen. Daher sind die Paramentfüsse abschnittsweise freizulegen und die vorhandene Auffüllung unterhalb der Sohlsteine ist bis auf den Felshorizont auszuheben. Das Freilegen der Paramentfüsse für die Ausführung der Spritzbetonschale bedingt den Abbruch der bestehenden Sohle auf nahezu der gesamten Breite. Unter Berücksichtigung einer Restnutzungsdauer von 50 Jahren, wurde für die Variante A somit angenommen, dass die bestehende Sohle ersetzt wird. Unter Berücksichtigung der hydraulischen Randbedingungen kann die Sohle mit angepasstem Gefälle oder durch Wiederherstellen des Gerinnes mit Stufen ausgeführt werden.

Für die Variante A wurden zwei Subvarianten betrachtet. Die Variante A1 sieht eine Trennung zwischen dem bestehenden Gewölbe und der neuen Innenschale mittels Trennschicht aus Abdichtungsfolie vor. In Variante A2 wird auf diese Trennschicht verzichtet.

#### **8.1.1. Variante A1, Erneuerung der Innenschale mit Trennschicht zwischen Bestand und Neubau**

Zwischen dem bestehenden Gewölbe und der neuen Innenschale wird eine Abdichtungsfolie als Trennschicht eingebaut. Das anfallende Sickerwasser kann weiterhin zum Bach beim Auslauf fließen. Die Stirnflächen in den Übergangsbereichen werden abgewinkelt ausgeführt, sodass die Innenschale über die Übergänge appliziert wird. Die Details zu den Übergängen der Abschnitte sowie die Details zum bestehenden Ortbetongewölbe von Tm 11 bis 17 werden in einer späteren Projektphase betrachtet.

Der Untergrund des Gewölbes wird mit einer Ausgleichsschicht vorbereitet. Diese kann – je nach bereits abgeschalteter Tiefe der Steine – bis zu 15 cm stark werden. Die Applikation erfolgt auf die gereinigten Steine, auf denen für die Haftung der Schicht ein feines Gitternetz montiert wird. Auf dieser Ausgleichsschicht wird die Abdichtungsfolie befestigt.

Die bewehrte Innenschale aus Spritzbeton wird in mehreren Schritten mit Schichtstärken von 4 bis 5 cm aufgespritzt. Die neue Innenschale weist gemäss der statischen Berechnung (s. Beilage 8) und unter Berücksichtigung des Verschleisses durch den Geschiebetransport eine Gesamtstärke von 25 cm im Bereich von ca. Tm 107 bis 128 (Auslauf) und von 30 cm im Bereich von ca. Tm 11 bis 107 auf. Sie wird auf der neuen Betonsohle fundiert, die auf dem Felsen aufliegt.

Der Einsatz von Spritzbeton ermöglicht im unteren Bereich das Anpassen der Rauigkeit an die wasserbaulichen Bedürfnisse, da die Oberfläche durch Taloschieren rau oder beinahe glatt ausgeführt werden kann. Die Bewehrung aus GFK-Bewehrungsnetzen reduziert das Risiko von Bewehrungskorrosion in der feucht-nassen Umgebung.



Aufgrund des geschiebeführenden Mattenbachs und der Richtungsänderung im Durchlass wird ein abrasionsresistenter Beton (hohe Druckfestigkeit) für die neue Sohle empfohlen.

Die Kosten der Baumeisterarbeiten exkl. Installationen für die Erstellung der neuen Innenschale mit Abdichtungsfolie auf der gesamten Länge werden auf ca. CHF 1'519'500.00 geschätzt (Preisbasis Oktober 2019, Genauigkeit  $\pm 30\%$ , exkl. MWST).

**Tabelle 8: Variante A1 - Kostenschätzung der Baumeisterarbeiten im Bereich des Durchlasses**

**Variante A1 mit Trennung**

Erneuerung der Innenschale auf der gesamten Bauwerkslänge

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
<b>Baumeisterarbeiten</b>				
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	1'400.00	35.00	49'000.00
Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m <sup>2</sup>	1'400.00	30.00	42'000.00
Abbruch Sohlgerinne	m <sup>3</sup>	210.00	350.00	73'500.00
Aushub Aufschüttung bis zur Felsoberfläche	m <sup>3</sup>	170.00	100.00	17'000.00
Neue Auffüllung (Unterlagsschicht für Sohle)	m <sup>3</sup>	110.00	250.00	27'500.00
Neue Sohle betonieren	m <sup>3</sup>	200.00	500.00	100'000.00
Feines Netz (für Ausgleichsschicht und über die Abdichtung)	m <sup>2</sup>	1'440.00	5.00	7'200.00
Abdichtungsfolie	m <sup>2</sup>	1'580.00	20.00	31'600.00
Abdichtungsbänder (Combiflex oder gleichwertig)	m'	340.00	30.00	10'200.00
Ausgleichsschicht (Spritzbeton)	m <sup>3</sup>	400.00	850.00	340'000.00
Ausbau, Spritzbeton, d=25 / 30 cm, GFK-bewehrt	m <sup>3</sup>	690.00	850.00	586'500.00
Liefern und Verlegen GFK-Netz (+15% Überlappung)	m <sup>2</sup>	3'150.00	60.00	189'000.00
Portalinstandsetzung (bachabwärts)	gl	1	16'000.00	16'000.00
Herstellung Entlastungsbohrungen	Stk	60	500.00	30'000.00
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>1'519'500.00</b>

Die Bauablaufplanung ist in Kapitel 9 beschrieben.

In den aufgeführten Kosten sind die nachträglichen Ergänzungen der Spritzbetonschale im Parameterbereich infolge des Verschleisses nicht berücksichtigt. Die ca. 50 mm, die als Verschleisschicht aufgetragen werden, werden unter der Annahme einer gleichmässigen Abnutzung von ca. 5 mm alle 2 Jahre, während der Restnutzungsdauer von ca. 50 Jahren zweimal instand gesetzt. Die Betonsohle wird mit einem abrasionsresistenten Beton ausgeführt, sodass ein kleinerer Verschleiss erwartet wird und auf eine Ergänzung der Sohle verzichtet wird.

Es resultieren dadurch zusätzliche Instandhaltungskosten (rund 222'780.50 CHF), wobei allfällige Hochwasserereignisse oder Trockenperioden die Verschleissgeschwindigkeit beeinflussen.

Bei einer Anpassung der Sohlkoten und des Gefälles (Optimierung der wasserbaulichen Eigenschaften) in einer späteren Projektphase kann diese Abnutzung gemindert werden.

**Tabelle 9: Kosten für die Instandhaltung der Paramente aufgrund des Abriebs, pro Instandsetzung**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Baustellenerschliessung und Installationen				70'000.00
Erschwernisse aufgrund des Tunnelgefälles / Wasser	%	25		8'278.05
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	348.00	35.00	12'180.00
Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m <sup>2</sup>	104.40	30.00	3'132.00
Spritzbeton, ca. 5 cm	m <sup>3</sup>	17.40	850.00	14'790.00
Diverses und Unvorhergesehenes	%	10		3'010.20
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>33'112.20</b>
<b>Gesamtkosten pro Instandhaltung</b>			<b>CHF/20a</b>	<b>111'390.25</b>

#### 8.1.2. Variante A2, Erneuerung der Innenschale ohne Trennung zwischen Bestand und Neubau

In Variante A2 wird auf die Trennung mit Abdichtungsfolie verzichtet, wodurch die Innenschale aus Spritzbeton direkt auf die Ausgleichsschicht aufgetragen werden kann. Ansonsten entspricht die Variante A2 der Variante A1 (siehe Kapitel 8.1.1).

Die Kosten der Baumeisterarbeiten exkl. Installationen für die Erstellung der neuen Innenschale ohne Abdichtungsfolie auf der gesamten Länge werden auf ca. CHF 1'470'500.00 geschätzt (Preisbasis Oktober 2019, Genauigkeit ± 30%, exkl. MWST).

**Tabelle 10: Variante A2 - Kostenschätzung der Baumeisterarbeiten im Bereich des Durchlasses**

**Variante A2 ohne Trennung**

Erneuerung der Innenschale auf der gesamten Bauwerkslänge

	Einheit	Aus- mass	EP	Kosten
<b>Baumeisterarbeiten</b>				
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	1'400	35.00	49'000.00
Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m <sup>2</sup>	1'400	30.00	42'000.00
Abbruch Sohlgerinne	m <sup>3</sup>	210	350.00	73'500.00
Aushub Aufschüttung bis zur Felsoberfläche	m <sup>3</sup>	170	100.00	17'000.00
Neue Auffüllung (Unterlagsschicht für Sohle)	m <sup>3</sup>	110	250.00	27'500.00
Neue Sohle betonieren	m <sup>3</sup>	200	500.00	100'000.00
Ausgleichsschicht (Spritzbeton)	m <sup>3</sup>	400	850.00	340'000.00
Ausbau, Spritzbeton, d=25 / 30 cm, GFK-be-wehrt	m <sup>3</sup>	690	850.00	586'500.00
Liefern und Verlegen GFK-Netz (+15% Über-lappung)	m <sup>2</sup>	3'150	60.00	189'000.00
Portalinstandsetzung (bachabwärts)	gl	1	16'000.00	16'000.00
Herstellung Entlastungsbohrungen	Stk	60	500.00	30'000
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>1'470'500.00</b>

Die Bauablaufplanung wird in Kapitel 9 beschrieben.

In den aufgeführten Kosten sind die nachträglichen Ergänzungen der Spritzbetonschale im Parameterbereich infolge des Verschleisses nicht berücksichtigt. Die ca. 50 mm, die als Verschleiss-schicht aufgetragen werden, werden unter der Annahme einer gleichmässigen Abnutzung von ca. 5 mm alle 2 Jahre, während der Restnutzungsdauer von ca. 50 Jahren zweimal instand ge-setzt. Die Betonsohle wird mit einem abrasionsresistenten Beton ausgeführt, sodass ein kleinerer Verschleiss erwartet wird und auf eine Ergänzung der Sohle verzichtet wird.

Es resultieren dadurch zusätzliche Instandhaltungskosten (rund 222'780.50 CHF), wobei allfäll-ige Hochwasserereignisse oder Trockenperioden die Verschleissgeschwindigkeit beeinflussen. Bei einer Anpassung der Sohlkoten und des Gefälles (Optimierung der wasserbaulichen Eigen-schaften) in einer späteren Projektphase kann diese Abnutzung gemindert werden.

**Tabelle 11 : Kosten für die Instandhaltung der Paramente aufgrund des Abriebs, pro Instandsetzung**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Baustellenerschliessung und Installationen				70'000.00
Erschwernisse aufgrund des Tunnelgefälles / Wasser	%	25		8'278.05
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	348.00	35.00	12'180.00
Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m <sup>2</sup>	104.40	30.00	3'132.00
Spritzbeton, ca. 5 cm	m <sup>3</sup>	17.40	850.00	14'790.00
Diverses und Unvorhergesehenes	%	10		3'010.20
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>33'112.20</b>
<b>Gesamtkosten pro Instandhaltung</b>			<b>CHF/20a</b>	<b>111'390.25</b>

## 8.2. Instandsetzungskonzept B, lokale Erneuerung der Innenschale und Zwischeninspektionen

Die Instandsetzungsmassnahme Variante B „lokale Innenschale“ sieht eine neue, selbsttragende Innenschale mit dem gleichen Aufbau wie bei Variante A in dem am stärksten betroffenen Abschnitt von ca. Tm 107 bis 128 (ca. 21 m) vor.

Das restliche Bauwerk wird mit jährlichen Zwischeninspektionen, Hauptinspektionen alle 5 Jahre und Sonderinspektionen nach Ereignisfällen überwacht. Diese gelten als Mindestmassnahme und verschieben den Zeitpunkt der Erneuerung oder Instandsetzung in die nahe Zukunft. Nach jeder Inspektion wird der Zustand des Bauwerks neu beurteilt. Zudem werden das weitere Vorgehen und allfällige Erhaltungsmassnahmen festgelegt. Die Intervalle der jährlichen Zwischeninspektionen können im Laufe der Betrachtungszeit angepasst werden, wenn festgestellt wird, dass die Zustandsentwicklung im restlichen Bauwerk langsamer als im Auslaufbereich abläuft.

Diese Inspektionen sollten von einem Untertagebau- und einem Wasserbauspezialisten ausgeführt werden.

Die Sandsteine, die der Grundfeuchte, dem versickernden Wasser und den Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, werden sich weiter abbauen. Eine beschleunigte Alterung der Bausubstanz ist die Folge, wodurch die Tragsicherheit über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks zunehmend beeinträchtigt wird. Die Alterung der Bausubstanz führt zudem zu einem erhöhten baulichen und betrieblichen Unterhalt. Eine Verschlechterung des Zustandes kann zu höheren Massnahmenkosten führen.

Die Kosten der Baumeisterarbeiten für die Erstellung der lokalen Innenschale (ohne Berücksichtigung der jährlich wiederkehrenden Zwischeninspektionen) werden auf ca. CHF 402'700.00 (Preisbasis Oktober 2019, Genauigkeit ± 30%, exkl. MWST) geschätzt.

**Tabelle 12: Variante B - Kostenschätzung der Baumeisterarbeiten im Bereich des Durchlasses**

**Variante B**

Lokale Erneuerung der Innenschale

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
<b>Baumeisterarbeiten</b>				
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m <sup>2</sup>	400	35.00	14'000.00
Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m <sup>2</sup>	400	30.00	12'000.00
Abbruch Sohlgerinne	m <sup>3</sup>	60	350.00	21'000.00
Aushub Aufschüttung bis zur Felsoberfläche	m <sup>3</sup>	40	100.00	4'000.00
Neue Auffüllung (Unterlagsschicht für Sohle)	m <sup>3</sup>	40	250.00	10'000.00
Neue Sohle betonieren	m <sup>3</sup>	60	500.00	30'000.00
Ausgleichsschicht (Spritzbeton)	m <sup>3</sup>	110	850.00	93'500.00
Ausbau, Spritzbeton, d=25cm, GFK-bewehrt	m <sup>3</sup>	180	850.00	153'000.00
Liefern und Verlegen GFK-Netz (+15% Überlap-pung)	m <sup>2</sup>	820	60.00	49'200.00
Portalinstandsetzung (bachabwärts)	gl	1	16'000.00	16'000.00
<b>Baumeisterarbeiten, exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>402'700.00</b>

Die Bauablaufplanung ist in Kapitel 9 beschrieben.

In den aufgeführten Kosten sind die jährlich wiederkehrenden Zwischeninspektionen (ca. 3'213.60 CHF/Inspektion; vgl. Tabelle 13) und die Hauptinspektionen alle 5 Jahre (ca. 11'371.20 CHF/alle 5 Jahre; vgl. Tabelle 14) für das im Bestand belassene Bauwerk nicht berücksichtigt. Für die gewünschte Restnutzungsdauer von 50 Jahren resultieren dadurch zusätzliche Kosten für Zwischeninspektionen (rund 242'256.00 CHF), wobei allfällige Erhaltungs-massnahmen infolge einer fortschreitenden Schadensentwicklung und Sonderinspektionen nach grösseren Ereignissen nicht eingerechnet sind. Die Intervalle der jährlichen Zwischeninspektio-nen können im Laufe der Betrachtungszeit angepasst werden.

**Tabelle 13: Kostenschätzung - jährliche Zwischeninspektion**

<b>Zwischeninspektion, Kosten pro Inspektion</b>	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Zustandserfassung, 2-er Team	h	10	120.00	1'200.00
Zustandsbeurteilung und Empfehlung	h	8	120.00	960.00
Fotodokumentation	h	8	120.00	960.00
<b>Zwischentotal</b>	<b>CHF</b>			<b>3'120.00</b>
Nebenkosten (in % vom Zwischentotal)	%	3		93.60
<b>Gesamtkosten</b>	<b>CHF/a</b>			<b>3'213.60</b>

**Tabelle 14: Kostenschätzung – Hauptinspektionen**

Zwischeninspektion, Kosten pro Inspektion	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Zustandserfassung, 2-er Team	h	16	120.00	1'920.00
Zustandsbeurteilung	h	32	120.00	3'840.00
Massnahmenempfehlung	h	24	120.00	2'880.00
Dokumentation	h	20	120.00	2'400.00
<b>Zwischentotal</b>	<b>CHF</b>			<b>11'040.00</b>
Nebenkosten (in % vom Zwischentotal)	%	3		341.20
<b>Gesamtkosten</b>	<b>CHF/a</b>			<b>11'371.20</b>

Dazu kommen die Kosten der nachträglichen Ergänzungen der Spritzbetonschale im Paramentbereich infolge des Verschleisses. Die ca. 50 mm, die als Verschleisssschicht aufgetragen werden, werden unter der Annahme einer gleichmässigen Abnutzung von ca. 5 mm alle 2 Jahre, während der Restnutzungsdauer von ca. 50 Jahren zweimal instand gesetzt. Die Betonsohle wird mit einem abrasionsresistenten Beton ausgeführt, sodass ein kleinerer Verschleiss erwartet wird und auf eine Ergänzung der Sohle verzichtet wird.

Es resultieren dadurch zusätzliche Instandhaltungskosten (rund 161'408.75 CHF), wobei allfällige Hochwasserereignisse oder Trockenperioden die Verschleissgeschwindigkeit beeinflussen. Bei einer Anpassung der Sohlkoten und des Gefälles (Optimierung der wasserbaulichen Eigenschaften) in einer späteren Projektphase kann diese Abnutzung gemindert werden.

**Tabelle 15 : Kosten für Instandhaltung der Paramente aufgrund des Abriebs, pro Instandsetzung**

	Einheit	Ausmass	EP	Kosten
Baustellenerschliessung und Installationen				70'000.00
Erschwernisse aufgrund des Tunnelgefälles / Wasser	%	25		2'140.88
Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)	m2	90.00	35.00	3'150.00
Reinigen der schadhaften Stelle (Ausstocken von Hand) und Abgrenzen mit Latten	m2	27.0	30.00	81000.00
Spritzbeton, ca. 5 cm	m3	4.50	850.00	3'825.00
Diverses und Unvorhergesehenes	%	10		778.50
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>			<b>CHF</b>	<b>8'563.50</b>
<b>Gesamtkosten pro Instandhaltung</b>			<b>CHF/20a</b>	<b>80'704.38</b>

Die Alterung der restlichen Bausubstanz führt zu einem erhöhten baulichen und betrieblichen Unterhalt. Eine Verschlechterung des Zustandes des restlichen Bauwerks kann zu höheren Massnahmenkosten innerhalb der Restnutzungsdauer von 50 Jahren führen. Die Kosten für weitere Instandsetzungen innerhalb dieser Restnutzungsdauer wurden hier nicht berücksichtigt.



## **9. Bauablauf**

### **9.1. Neubau Schwemmholzrechen**

Die Ausführung des Schwemmholzrechens ist spätestens im Zeitraum 2021 bis 2024 vorgesehen. Die Bauzeit für den Schwemmholzrechen wird auf rund 6 bis 8 Wochen ([10]) geschätzt. Die baulichen Massnahmen im Durchlass und an den Flügelmauern des Auslaufbauwerks sind mit der Ausführung des Schwemmholzrechens abzustimmen.

### **9.2. Erschliessung**

Für den Schwemmholzrechen ist im Rahmen des Projekts eine Erschliessungspiste bis zum Durchlass auf Seite Einlauf vorgesehen. Sie dient als Baupiste während der Ausführung des Rechens und als Unterhaltszufahrt für die Betriebsphase. Nach dem Bau des Rechens beim Einlaufbauwerk ist der Zugang zum Durchlass schwieriger, weswegen die beiden Projekte terminlich aufeinander abzustimmen und zu koordinieren sind.

Beim Auslauf besteht ebenfalls eine Zugangsmöglichkeit (s. Beilage 8). Diese führt von Zelg herkommend auf der Gemeindestrasse Matten zur Mattenmüli. Der Materialtransport mit Lastwagen ist nur bis dort zugelassen, der restliche Weg bis zum Durchlass ist nur für Fahrzeuge bis zu 3.5 t zugelassen. Von der Mattenmüli führt eine private Strasse bis zum Mattenbach. Dieser kann über eine ca. 2.00 m breite Brücke oder durch eine Furt gequert werden. Flussaufwärts, einem Waldweg folgend, erreicht man nach der Querung von drei weiteren, ca. 2.5 m breiten Betonbrücken, über Seitengewässer das Auslaufbauwerk des Durchlasses. Dieser Zugang wurde bereits während der Instandsetzungsarbeiten 2016 und der Sondagekampagne 2018 verwendet.

Die erschwerte Zugänglichkeit wurde bei der Etappierung der Arbeiten berücksichtigt. Vor allem der Materialtransport von kleinen Mengen ab Mattenmüli bis zum Auslauf ist massgebend für die Instandsetzungsarbeiten, da anlässlich der Beratung mit lokalen Unternehmern diese Strecke als Hauptweg für die Materiallieferung und den Abtransport erkannt wurde. Bei dieser Beratung wurde auch das teilweise Verschiessen des Einlaufs während der Ausführung der Arbeiten im Durchlass und Auslaufbecken empfohlen. Dies als Teil der Sicherung der Baustelle, um die schwankenden Abflüsse im Ereignisfall zu regeln und einen Notüberlauf zu bilden.

### **9.3. Instandsetzungskonzepte**

Für die Ausführung muss der Mattenbach gefasst und umgeleitet werden. Um einen reibungslosen Bauablauf zu ermöglichen, sollen die Instandsetzungsarbeiten im Winterhalbjahr ausgeführt werden (geringes Hochwasserrisiko). In der Zeit vom 1. November bis 31. März ist die Fischschonzeit (Bachforelle) weshalb die Arbeiten eine fischereirechtliche Ausnahmegewilligung brauchen. Somit steht pro Jahr lediglich 1 Bausaison mit maximal 6 aufeinanderfolgende Monaten zur Verfügung.

Für die Hauptarbeiten wurde in der beiliegenden Kalkulation pro Bausaison von 6 Monaten (26 Wochen - 2 Wochen Weihnachtsferien = 24 Wochen) mit 5 AT pro Kalenderwoche und einer Netto-Arbeitszeit von 8 Stunden pro Schicht ausgegangen; Wochenendarbeiten und ein Mehr-

schichtbetrieb wurden nicht berücksichtigt. Vorbereitungsarbeiten, die ausserhalb des Gewässers resp. Durchlasses ausgeführt werden können, finden ausserhalb der sechsmonatigen Bauzeit statt. Dazu gehört die Erstellung des Baustellenzugangs (Baupiste resp. Unterhaltsweg).

Zum besseren Verständnis sind die Hauptarbeitsschritte aus dem Nachbarprojekt "Neubau Schwemmholzrechen" in den nachfolgenden Bauabläufen *kursiv* eingefügt.

Es wird angenommen, dass der Bach innerhalb des Bauwerks gefasst und umgeleitet wird, so dass die Arbeiten zunächst auf einer Seite und anschliessend auf der anderen ausgeführt werden.

### 9.3.1. Instandsetzungskonzept A

Da sich die beiden Untervarianten A1 und A2 lediglich durch die Abdichtungsfolie unterscheiden, kann grundsätzlich der gleiche Bauablauf angenommen werden. Aufgrund der Verlegung der Abdichtungsfolie resultiert für die Untervariante A1 eine um ca. 5 Wochen längere Bauzeit.

#### 0. Baustellenzugänge erstellen (vorgängig während der Hochwasserperiode möglich)

*0.1. Baupiste und späterer Unterhaltsweg (aus Projekt Schwemmholzrechen)*

0.2. Baustellenzugang zum Auslaufbauwerk erstellen

### **Bausaison 1 (1. Okt. 2019 – 31. März 2020, 24 Wochen)**

#### 0. Bauumleitung für den Mattenbach im Durchlass erstellen

#### 1. Abbruch Sohlgerinne im Bereich des Durchlasses

1.1. Aushub Aufschüttung bis zur Felsoberfläche

1.2. Neue Auffüllung (Unterlagsschicht für Sohle), Magerbeton

1.3. Neue Sohle betonieren

#### 2. Instandsetzung Sohl- und Paramentbereich im Bereich des Auslaufbeckens

2.1. Aushub / Untergrundvorbereitung – Sohlsteine bleiben bestehen

2.2. Applizierung Spritzbeton Paramentbereiche

2.3. Betonage Anrampung

#### 3. Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)

3.1. Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand)

#### 4. Abdichtungsfolie und Abdichtungsbänder applizieren

### **Bausaison 2 (1. Okt. 2020 – 31. März 2021, 24 Wochen)**

#### 5. Ausgleichsschicht (Spritzbeton)

#### 6. Liefern und Verlegen GFK-Netze

7. Ausbau, Spritzbeton, 2 lagig
8. Herstellen Entlastungsbohrungen / Entwässerungslöcher

**Bausaison 3 (1. Okt. 2021 – 31. März 2022, 24 Wochen)**

9. Portalinstandsetzung
10. Instandsetzung Flügelmauern im Auslaufbereich
11. *Bau Schwemmholzrechen (6-8 Wochen)*
12. Rückbau Installationen, Baustellenzugang etc.

Stärkere Schneefälle oder ein nasser Winter können den Bauablauf beeinträchtigen. Bei Schnee sind die Installationsplätze schwer zu erreichen und stärkere Regenfälle können die Bauarbeiten für mehrere Tage behindern.

9.3.2. Instandsetzungskonzept B

Da sich beim Instandsetzungskonzept B lediglich die Abschnittslänge gegenüber dem Konzept A unterscheidet, kann der gleiche Bauablauf angenommen werden. Aufgrund der geringeren Länge resultiert eine kürzere Bauzeit. Der folgende Ablauf kann bei der Variante B für die lokale Erneuerung angenommen werden:

0. Baustellenzugänge erstellen (vorgängig während der Hochwasserperiode möglich)
  - 0.1. *Baupiste und späterer Unterhaltungsweg (aus Projekt Schwemmholzrechen)*
  - 0.2. Baustellenzugang zum Auslaufbauwerk erstellen

**Bausaison 1 (1. Okt. 2019 – 31. März 2020, 24 Wochen)**

0. Bauumleitung für den Mattenbach im Durchlass erstellen
1. Abbruch Sohlgerinne
  - 1.1. Aushub Aufschüttung bis zur Felsoberfläche
  - 1.2. Neue Auffüllung (Unterlagsschicht für Sohle), Magerbeton
  - 1.3. Neue Sohle betonieren

## 2. Instandsetzung Sohl- und Paramentbereiche im Bereich des Auslaufbeckens

2.1. Aushub / Untergrundvorbereitung – Sohlsteine bleiben bestehen

2.2. Applizierung Spritzbeton Paramentbereiche

2.3. Betonage Anrampung

## 3. Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)

3.1. Reinigen der schadhafte Stellen (Ausstocken von Hand)

## 4. Ausgleichsschicht (Spritzbeton)

## 5. Liefern und Verlegen GFK-Netze

## 6. Ausbau, Spritzbeton, 2 lagig

## 7. Herstellen Entlastungsbohrungen / Entwässerungslöcher

## 8. Portalinstandsetzung

## 9. Instandsetzung Flügelmauern im Auslaufbereich

## 10. Bau Schwemmholzrechen (6-8 Wochen)

## 11. Rückbau Installationen, Baustellenzugang etc.

Stärkere Schneefälle oder ein nasser Winter können den Bauablauf beeinträchtigen. Bei Schnee sind die Installationsplätze schwer zu erreichen und stärkere Regenfälle können die Bauarbeiten für mehrere Tage behindern. Die Ausführung in 1.5 bis 2 Bausaisons kann somit nicht abgeschlossen werden.

Daneben laufen jährliche Zwischeninspektionen für den nicht instand gesetzten Bauwerksbereich. Die vor Ort erfassten Daten (Zustandserfassung) werden gemeinsam mit einer Zustandsbeurteilung und den allenfalls erforderlichen Massnahmenempfehlungen in einem Bericht zusammengefasst, mit dem Bauherren besprochen und diesem übergeben. Es ist empfehlenswert, die Erfassung zu verschiedenen Jahreszeiten auszuführen.

Für die Erfassung vor Ort wird von einem Arbeitstag (8 h) ausgegangen. Der zeitliche Aufwand für die Zustandsbeurteilung hängt von der Art und dem Ausmass der erfassten Schäden und der Schadensentwicklung ab. Erfahrungsgemäss nimmt diese mit fortschreitendem Alter und ohne Instandhaltungsmassnahmen zu.

### 9.3.3. Instandsetzungskonzept E

Im Gegensatz zu den Instandsetzungskonzepten A und B umfasst das Instandsetzungskonzept E keine neue selbsttragende Spritzbetonschale, sondern sieht die lokale Erneuerung in beschädigten Bereichen vor (siehe [2]). Der nachfolgende Bauablauf kann für die Variante E angenommen werden:

0. Baustellenzugänge erstellen (vorgängig während der Hochwasserperiode möglich)

0.1. *Baupiste und späterer Unterhaltsweg (aus Projekt Schwemmholzrechen)*

0.2. Baustellenzugang zum Auslaufbauwerk erstellen

**Bausaison 1 (1. Okt. 2019 – 31. März 2020, 24 Wochen)**

0. Bauumleitung für den Mattenbach im Durchlass erstellen

1. Untergrundvorbereitung / Instandsetzungsarbeiten der Sohle im Bereich des Durchlasses

2. Instandsetzung Sohl- und Paramentbereiche im Bereich des Auslaufbeckens

2.1. Aushub / Untergrundvorbereitung – Sohlsteine bleiben bestehen

2.2. Applizierung Spritzbeton Paramentbereiche

2.3. Betonage Anrampung

3. Trennen von Beton (Trennschnitte in beschädigten Ortbetonbereichen)

4. Reinigung HDW (Reinigungsgrad 97 %)

5. Beurteilung der Etappen vor Ort, evtl. Herstellung prov. Sicherungen (Longarinen)

6. Reinigen der schadhaften Stellen (Ausstocken von Hand)

6.1. Bestehende Ortbetonbereiche

6.2. Etappenweise bei schadhaften flächigen Mauerwerksbereichen

7. Verbund herstellen

7.1. Systematische Vernadelung des bestehenden Ortbetonersatzes

7.2. Verdübelung oder Vernadelung im Bereich der neuen lokalen Instandsetzungen, etappenweise bei schadhaften flächigen Mauerwerksbereichen

8. Ausgleichsschicht (Spritzbeton), Stärke variierend

9. Liefern und Verlegen GFK-Netze, Anzahl Lagen variierend

10. Ausbau, Spritzbeton, Stärke variierend

11. Portalinstandsetzung

12. Instandsetzung Flügelmauern im Auslaufbereich

13. *Bau Schwemmholzrechen (6-8 Wochen)*

14. Rückbau Installationen, Baustellenzugang etc.

Der Zustand des Bauwerks beeinflusst die Massnahme und beinhaltet somit ein gewisses Risiko bei der Realisierung: So kann z. Bsp. das Ausführen der provisorischen Sicherungen sowohl mehr als auch weniger Zeit in Anspruch nehmen. Dazu kommt die enge Zusammenarbeit mit der Bauleitung, um die instand zu setzenden Bereiche und Tiefen in schadhaften flächigen Mauerwerksbereichen festzulegen.

Stärkere Schneefälle oder ein nasser Winter können den Bauablauf beeinträchtigen. Bei Schnee sind die Installationsplätze schwer zu erreichen und stärkere Regenfälle können die Bauarbeiten für mehrere Tage behindern.

Die Ausführung in 1.5 bis 2 Bausaisons kann aus diesen Gründen nicht ausgeschlossen werden.



## **10. Variantenvergleich**

### **10.1. Gesamtkosten**

#### **10.1.1. Gesamtkosten Instandsetzung Durchlass, Einlauf und Auslauf**

In den aufgeführten Kosten in Kapitel 7 und 8 wurden nur die Baumeisterkosten der jeweiligen Varianten und der Flügelmauern betrachtet. Die Arbeiten im Einlauf, im Durchlass und im Auslauf werden aber in einem Projekt ausgeführt, sodass eine Betrachtung der Installationskosten alle Baumeisterarbeiten berücksichtigen muss.

Die Installationskosten beziehen sich hier auf alle Arbeiten: Einlauf, Auslauf und Durchlass. Die Installationen für die verschiedenen Varianten sind mehrheitlich die gleichen, da die Hauptarbeiten die gleichen sind. Der grösste Unterschied liegt bei der Ausführungsdauer, da die Installationen mehrmals eingerichtet und demontiert werden. Die Installationskosten wurden mit 45 % der Baumeisterkosten (ohne Erschwernisse und Diverses) der Variante A1 inkl. Einlauf und Auslauf als Basis angenommen. Die Variante A1 wird in ca. 2.5 – 3 Seasons ausgeführt, die Variante A2 ebenfalls, die Varianten B und E können in 1 Saison ausgeführt werden, sofern keine Hindernisse auftreten. Somit wird angenommen, dass die Installationskosten für die Varianten B und E die Hälfte der Kosten der Variante A1 betragen, da die Ausführungszeit auch ungefähr die Hälfte beträgt.

Eine Berechnung mit 45 % der Baumeisterkosten (ohne Erschwernisse und Diverses) würde bei den Varianten B und E zu geringeren Installationskosten führen, als die Mindestkosten, die bei der Unternehmerberatung besprochen wurden.

In den aufgeführten Kosten sind nachträgliche Instandsetzungsarbeiten an der restlichen Bausubstanz oder am erneuerten Bauwerk, Inspektionen des Bauwerks, Ingenieurhonorare (Vorprojekt, Bauprojekt, Ausführungsprojekt, Submission, Bauleitung, Abschluss) sowie Reserven (für Vermarktung, Vermessung, Landerwerb, Dienstbarkeitsentschädigungen, Geologe, geotechnische Beratungen etc.) nicht berücksichtigt (Preisbasis Oktober 2019, Genauigkeit  $\pm 30\%$ , exkl. MWST).

**Tabelle 16 : Gesamtkosten für die Baumeisterarbeiten im Einlauf, im Durchlass und im Auslauf inkl. Installationen**

**Gesamtkosten Durchlass, Einlauf- und Auslauf**

	<b>Var. A1</b>	<b>Var. A2</b>	<b>Var. B</b>	<b>Var. E</b>
	Kosten	Kosten	Kosten	Kosten
Baustellenerschliessung und Installationen	774'652.50	774'652.50	387'326.25	387'326.25
Erschwernisse aufgrund des Tunnelgefälles und ungünstige Witterungsverhältnisse 25 %	379'875.00	367'625.00	100'675.00	111'762.50
Schwemmholtzrechen (Einlauf, Wasserbauarbeiten- und Stahlbaukosten aus Bericht [10])	153'000.00	153'000.00	153'000.00	153'000.00
Flügelmauern und Sohle (Auslauf)	48'950.00	48'950.00	48'950.00	48'950.00
Baumeisterarbeiten Durchlass	1'519'500.00	1'470'500.00	402'700.00	447'050.00
Diverses und Unvorhergesehenes 15 %	258'217.50	250'867.50	90'697.50	97'350.00
<b>Baumeisterarbeiten exkl. Installationen</b>	<b>1'721'450.00</b>	<b>1'672'450.00</b>	<b>604'650.00</b>	<b>649'000.00</b>
<b>Gesamtkosten</b>	<b>3'134'195.00</b>	<b>3'065'595.00</b>	<b>1'183'348.75</b>	<b>1'245'438.75</b>

**10.1.2. Gesamtkostenprognose inkl. Ingenieurhonorare**

Eine Gesamtkostenprognose inkl. Ingenieurhonorare wird hier dargestellt, um die Auswirkungen der jeweiligen Varianten auf das Gesamtprojekt zu analysieren. Die Kosten der SIA Phasen 32 bis 53 werden mit ca. 10 bis 12 % der Gesamtkosten der Bauausführung geschätzt, unter Berücksichtigung der Komplexität der Massnahmen und der Bauleitungspräsenz (Preisbasis Oktober 2019, Genauigkeit  $\pm 30\%$ , exkl. MWST).

#### 10.1.3. Gesamtkostenprognose per Ende der Betrachtungszeit von 50 Jahren

Bei den Varianten B und E wird der Durchlass nicht komplett instand gesetzt. Weitere Instandsetzungsarbeiten sind nicht auszuschliessen, sodass zusätzlich zu den jährlichen Inspektionskosten und Instandhaltungsarbeiten weitere Instandsetzungsarbeiten anfallen. Bei der Variante B wird angenommen, dass weitere 30 m innerhalb der Betrachtungszeit von 50 Jahren instand gesetzt werden (was ca. 23 % der Bauwerksoberfläche entspricht). Basierend auf den Aufnahmen des Berichtes [2] wird bei der Variante E angenommen, dass das restliche Bauwerk sich wieder um ca. 12 % verschlechtert. Dies führt zu einer Instandsetzung im gleichen Rahmen wie bei der Variante E.

Das Ausmass dieser o. g. weiteren Instandsetzungen wird direkt vom Zustand des Bauwerks zum Zeitpunkt der Ausführung der Massnahmen beeinflusst. Die Variante B und E beinhalten somit ein gewisses Risiko bei der Realisierung, sowohl für ein Mehr- wie für ein Minderausmass.

Die weiteren Instandsetzungsmassnahmen bei den Varianten B und E bedingen weitere Projektkosten für die Aktualisierung der Unterlagen und ev. für ein erneuertes Plangenehmigungsverfahren (Preisbasis Oktober 2019 ohne Teuerung und Zinsen, Genauigkeit  $\pm 30\%$ , exkl. MWST).

## **10.2. Gesamtzeitprognose**

Um die Einflüsse der Varianten und der weiteren Projektphasen nach der Norm SIA 103 zu untersuchen, wurde ein Gesamtterminprogramm ab der Phase 31 Vorprojekt bis zur Phase 53 zusammengestellt, s. Beilage 9.

Das Projekt wird aufgrund der Vorgeschichte des Schwemmholzrechens beim Einlauf mit möglichen Einschränkungen des Bahnbetriebs und dem Einfluss auf die unten liegenden Gemeinden sowie aufgrund der Umweltaspekte als PGV-pflichtig eingestuft. Für diese Prognose wird angenommen, dass das ordentliche Verfahren zum Tragen kommt. Ein vereinfachtes Verfahren kann in Betracht gezogen werden, wenn eine Vorprüfung beim Bundesamt für Verkehr eingeleitet werden kann. Das vereinfachte Verfahren dauert weniger lang, hat aber strengere Voraussetzungen in Bezug auf das einzureichende Dossier.

Die Ausschreibung der Ingenieurdienstleistungen der Phasen 32 bis 53 nach SIA 103 ist ein wichtiger Teil der weiteren Bearbeitung und sollte spätestens Anfang 2020 erfolgen. Die Ausschreibung vom Bauprojekt bis zur Realisierung wird als Optimierung des Projektierungsablaufs empfohlen. Aufgrund der Schwellenwerte bedingt dies eine Submission in einem offenen Verfahren.

Die wichtigsten Projektschritte, die den Zeitpunkt der Realisierung beeinflussen, sind:

- Ausschreibung und Vergabe der Ingenieurdienstleistungen Phasen 32 bis 53
- Bauprojekt (Detailprojektierung)
- Erstellung und Einreichung des Auflagedossiers
- Plangenehmigungsverfahren inkl. öffentliche Auflage und Beschwerdefrist
- Ausschreibung und Offertvergleich

Die Varianten B und E, mit der kürzeren Ausführungsdauer, würden auch bei einer Verlängerung des Plangenehmigungsverfahrens und der Ausführung (z. Bsp. infolge von Witterungseinflüssen) bis Ende 2024 fertiggestellt sein. Die Varianten A1 und A2 würden diese Zeitspanne übersteigen.

Ein vereinfachtes Plangenehmigungsverfahren wirkt sich somit bei allen Varianten positiv aus.

### 10.3. Vor- und Nachteile

Die nachstehende Tabelle bewertet die Vor- und Nachteile der drei vorgeschlagenen Varianten A, B und E für die Instandsetzung des Durchlasses. Die Massnahmen im Einlauf- und Auslaufbereich bleiben bei allen Varianten gleich und werden für diesen Vergleich nicht berücksichtigt.

**Tabelle 19 : Variantenvergleich – Vor- und Nachteile**

<b>Variantenvergleich Instandsetzungsmassnahmen</b>			
	<b>Variante A</b> "Erneuerung Innenschale"	<b>Variante B</b> "lokale Erneuerung + Zwischeninspektionen"	<b>Variante E</b>
<b>Vorteile</b>	- 50 Jahre Restnutzungsdauer	- 50 Jahre Restnutzungsdauer für die lokale Erneuerung	- 50 Jahre Restnutzungsdauer für die flächige Spritzbetonschale auf Kämpfer und Gewölbe
	- Innenschale mit gleichmässiger Rauigkeit für die hydraulische Berechnung	- Schnell umsetzbar im Vergleich zu Variante A	- Schneller umsetzbar im Vergleich zu Variante A
	- Instandsetzungsmassnahme ohne Restrisiko	- Geringere Investitionskosten im Vergleich zu den Varianten A und E	- Geringere Investitionskosten im Vergleich zur Variante A
	Zustand des best. Bauwerks hat keinen Einfluss	Zustand des best. Bauwerks hat keinen Einfluss im Bereich der lokalen Erneuerung	
	- Langfristige Lösung (über die Restnutzungsdauer des Durchlasses)		
	Einheitliche Lösung		
	- Geringe periodische Kosten	-	-

Variantenvergleich Instandsetzungsmassnahmen			
	<b>Variante A</b> "Erneuerung Innenschale"	<b>Variante B</b> "lokale Erneuerung + Zwischeninspektionen"	<b>Variante E</b>
<b>Nachteile</b>	Hohe Investitionskosten im Vergleich zu den Varianten B und E  Querschnittsminderung und Anpassung der Sohle durch Innenschale	Periodische Kosten, auch nach der Restnutzungsdauer  Querschnittsminderung und Anpassung der Sohle durch Innenschale	Weniger als 50 Jahre Restnutzungsdauer für die lokalen Instandsetzungen  Zustand des best. Bauwerks beeinflusst die Massnahme und beinhaltet somit ein gewisses Risiko bei der Realisierung
	Längere Realisierungszeit im Vergleich zu den Varianten B und E	Weitere Instandsetzungsmassnahmen sind nicht auszuschliessen	Tiefgreifende Vorbereitungen des bestehenden Bauwerks notwendig
		Höhere Investitionskosten innerhalb der Betrachtungszeit von 50 Jahren	Periodische Kosten, auch nach der Restnutzungsdauer, höher als bei den Varianten A und B
			Weitere Instandsetzungsmassnahmen sind nicht auszuschliessen
			Höhere Investitionskosten innerhalb der Betrachtungszeit von 50 Jahren als bei der Variante B

#### 10.4. Offene Punkte / Optimierungsmöglichkeiten

##### 10.4.1. Richtbohrung für die Umleitung des Mattenbaches während der Baustelle

Gemäss den Erfahrungswerten der Fa. Ribi würde diese Lösung mind. 225'550.00 CHF (130 m x 1'735.- CHF / m') kosten und ca. 3 – 4 Wochen für die Ausführung benötigen (Aktennotizen der Projektsitzungen [1]).

Sollte mehr Wasser auftreten, als die Umleitung ableiten kann, wäre eine Rückleitung des Wassers in den Durchlass erforderlich. Weitere Anlagen für das Auffangen des Baustellenwassers (wie Neutralisationsanlage, Pumpen) sind weiterhin notwendig. Somit sind die Kosten der Richtbohrung als Zusatz zu den Installationskosten zu verstehen, da andere Maschinen für diese Ausführung notwendig sind.

Wird angenommen, dass die Richtbohrung ausserhalb der Bausaison ausgeführt wird, sind vor der ersten Saison ca. 3 – 4 Wochen für diese Arbeiten belegt. Ein Teil der Installationsplätze muss bereits erstellt sein, sodass die Materialien für die Richtbohrung gelagert werden können. Erschwernisse bei der Ausführung der Richtbohrung haben Auswirkungen auf das gesamte Terminprogramm. Wenn die Richtbohrung erstellt ist und das Wasser umgeleitet werden kann, können die Arbeiten im Durchlass bei der gesamten Abwicklung ohne ein Umstellen der Ableitungen ausgeführt werden.



Werden bei den Hauptarbeiten leicht höhere Leistungen angenommen, ist ein Zeitgewinn aufgrund der Richtbohrung nur bei den Varianten A1 und A2 zu verzeichnen, da diese die längere Ausführungsdauer aufweisen. Die Ausführungsdauer der Varianten B und E in der Bausaison wird minim kürzer.

Im Zusammenhang mit weiteren Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten bei den Varianten B und E, innerhalb der Betrachtungszeit von 50 Jahren, führen die Montage- und Demontagekosten einer herkömmlichen Wasserleitung durch den Durchlass (inkl. der Kosten der weiteren Anlagen für das Auffangen des Baustellenwassers) im Vergleich zu den Investitionskosten der Richtbohrung zu keinem grossen Kostenunterschied, der die Investition rechtfertigen würde.

Zu den Ausführungskosten kommen weitere Kosten für die Planung der Linienführung der Richtbohrung und der Anschlüsse am Ein- und Auslauf. Falls diese Variante weiterverfolgt wird, ist eine vertiefte Betrachtung notwendig.

#### 10.4.2. Optimierung Varianten A1 und A2 – neue Sohle über der alten Sohle betonieren

Eine Änderung der Fundation der Spritzbetonschale, z. Bsp. das Ausführen der neuen Betonsohle über der alten bestehenden Durchlasssohle, wie in den Aktennotizen der Projektsitzungen [1] vermerkt, könnte ein Zeit- und Kostengewinn darstellen.

Eine Änderung der Fundation bedeutet aber auch eine Änderung des statischen Systems. Die bestehende Sohle liegt nicht direkt auf dem Fels und weist Hohlräume in der Auffüllung auf, wie im Technischen Bericht [2] beschrieben. Ein erster Nachweis der tragenden Innenschale, die in den Varianten A und B betrachtet wird, wurde im Rahmen des Vorprojekts 2018 (Bericht [3]) ausgeführt. Eine neue Berechnung wäre bei einer solchen Änderung notwendig, da die Spritzbetonstärke direkt davon abhängt. Eine allenfalls stärkere Betonschale und die Betonsohle würden den Querschnitt des Durchlasses mindern, eine allfällige Überprüfung der Hydraulik wäre die Konsequenz.

## **11. Empfehlung, weiteres Vorgehen**

### **11.1. Empfehlung zur Durchführung von baulichen Massnahmen**

Die Degradation der Sandsteine, die der Grundfeuchte, dem versickernden Wasser und den Temperaturschwankungen ausgesetzt sind, wird weitergehen. Eine beschleunigte Alterung der Bausubstanz ist die Folge, wodurch die Tragsicherheit über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks zunehmend beeinträchtigt wird. Die Alterung der Bausubstanz führt zudem zu einem erhöhten baulichen und betrieblichen Unterhalt. Das Abschalen der Mauerwerkssteine kann in den Wintermonaten durch Eisbildung beschleunigt werden. Intensive und niederschlagsreiche Regenperioden können das Abschalen begünstigen. Ein Ausbruch des Gewölbes zwischen Tm 105 und 126 kann ohne bauliche Massnahmen während der Restnutzungsdauer des Bauwerks nicht ausgeschlossen werden.

Ein spätestmöglicher Interventionspunkt ist schwer abzuschätzen, da die Bohrkern eines visuell intakten Mauerwerksbereichs abschalende Risse bis ca. 30 cm Tiefe aufweisen und die notwendige statische Mindeststärke ca. 41 cm (mit Berücksichtigung von 50 % Querschnittsreserve) beträgt. Unter Berücksichtigung einer Mindeststärke von 41 cm (mit 50 % Reserve) und der beobachteten Risse bis ca. 30 cm Tiefe im Bohrkern eines visuell intakten Mauerwerksbereichs, ist ein spätestmöglicher Interventionszeitpunkt schwer abzuschätzen. Die Ergebnisse der Sonda-gebohrungen 2018 und 2019 resp. der Laboruntersuchungen zeigen, dass die Degradation der Steine auch in noch visuell intakten Bereichen im Gange ist.

Somit sind mindestens im Bereich des Gewölbes zwischen Tm 105 und 126 bauliche Massnahmen notwendig.

### **11.2. Variantenempfehlung**

Die Gesamtkostenprognose per Ende der Betrachtungszeit von 50 Jahren zeigt (s. Kap. 10.1.3), dass sich der Kostenunterschied der teuersten Variante A1 zur günstigeren Variante B im Vergleich zu den Anfangsinvestitionen halbiert.

Beim Konzept B werden die vorgesehenen Erhaltungsmassnahmen zunächst lediglich in dem am stärksten geschädigten Abschnitt ausgeführt. Das restliche Bauwerk bleibt der progressiven Schadensentwicklung ausgesetzt. Dadurch nimmt die Gefährdung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit für das restliche Bauwerk weiter zu. Eine teilweise ausgeführte Instandsetzung setzt somit die regelmässige Zustandserfassung und -beurteilung voraus. Die Alterung der Bausubstanz führt zudem zu einem erhöhten baulichen und betrieblichen Unterhalt. Eine Verschlechterung des Zustandes kann zu höheren Massnahmenkosten für die weiteren Instandsetzungen innerhalb der 50 Jahre Betrachtungszeit führen.

Bei der zweitgünstigsten Variante, der Variante E, bleibt das restliche Bauwerk, wie bei der Variante B, den gleichen Bedingungen ausgesetzt. Auch hier kann eine Alterung der restlichen Bausubstanz nicht ausgeschlossen werden. Die vorgesehenen Erhaltungsmassnahmen werden in der Variante B zunächst in den schadhaften Bereichen ausgeführt. Eine lokal ausgeführte Instandsetzung setzt somit den regelmässigen, baulichen Unterhalt und die regelmässige Kontrolle und Zustandserfassung und -beurteilung voraus. Ausserdem beeinflusst der Zustand des Bauwerks zur Zeit der Ausführung die Massnahme und beinhaltet somit ein gewisses Risiko bei der Realisierung.

Eine Ausführung auf der gesamten Länge des Mauerwerkgewölbes (Konzept A) führt zu einer einmaligen, grösseren Instandsetzung für die Erhaltung des Bauwerks. Es bedingt eine höhere Anfangsinvestition, die sich innerhalb der Betrachtungszeit von 50 Jahren auf ca. 0.9 Mio. Kostenunterschied zur günstigeren Variante B reduziert oder auf 0.8 Mio. zur zweitgünstigsten Variante E. Die Variante A hat ein kleineres Kostenrisiko als die Varianten B und E, bei denen das Ausmass weiterer Instandsetzungen direkt vom Zustand des Bauwerks zum Zeitpunkt der Ausführung abhängt und die Kosten somit stark schwanken können.

Zur langfristigen Gewährleistung der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit und unter Berücksichtigung der erschwerten Zugänglichkeit, der Randbedingungen des Wasserhaushalts, der Restnutzungsdauer der Bahnlinie und dem Umstand, dass die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit des Durchlasses aufgrund der darüberliegenden Bahnlinie und des Waldes sowie zur Vermeidung eines Wasseraufstaus mit Stabilitätsfolgen für den Bahndamm auch nach der Restnutzungsdauer zu gewährleisten sind, wird die Instandsetzung auf der gesamten Durchlasslänge (Variante A2), empfohlen.

Im Vergleich zur Variante A2 beinhaltet die Variante A1, Erneuerung der Innenschale mit einer Trennschicht, nicht genügend technische Vorteile, welche die zusätzlichen Kosten rechtfertigen würden. Diese Variante wird nicht weiterverfolgt.

Das Gewölbe in den noch intakten Bereichen wird damit vor der weiteren Verwitterung geschützt und es entstehen keine Risikosituationen. Am Ende der Betrachtungsdauer sind die Kostenunterschiede zu den anderen Varianten – bei einer qualitativ besseren Lösung – klein.

### **11.3. Weiteres Vorgehen**

#### **11.3.1. Zusätzliche Überwachung, Untersuchungen, Messungen**

Zum Zeitpunkt des Verfassens dieses Vorprojekts sind keine zusätzlichen Untersuchungen oder Messungen vorgesehen.

Im Allgemeinen wird empfohlen, eine Signalisation in den Portalbereichen zu montieren, um das Betreten des Bauwerks durch Unbefugte (Wanderer usw.) zu verhindern.

Um die Grundlage für die jährlichen Zwischeninspektionen (Konzept B) zu schaffen, ist ein systematisches Abklopfen des Gewölbes und die geodätische Vermessung des Bauwerks zu empfehlen.

#### **11.3.2. In den folgenden Projektphasen zu klärende Punkte**

Eine geodätische Aufnahme des Dammes und des Durchlasses, für die Bestimmung der Überlagerung, wird empfohlen.

Die Materialisierung muss unter Berücksichtigung der wasserbaulichen Anforderungen im Detail analysiert werden, wobei aufgrund des geschiefbeführenden Baches, neben den statischen Anforderungen auch die hydraulischen Bedingungen Einfluss finden müssen. Der erforderliche hydraulische Querschnitt, die Sohlkoten, die Sohlenbeschaffenheit und die Rauigkeit der Spritzbe-

tonoberfläche usw. beeinflussen die Stärke der Spritzbetonschale und des Querschnitts der Betonsohle. Auch der Materialverschleiss und die Instandhaltungskosten können mit einer Optimierung der hydraulischen Eigenschaften gemindert werden.

Für die neue Innenschale ist die Detailausführung der Übergänge zwischen den abgestuften Gewölbeabschnitten zu definieren.

Für die Zufahrtswege, Installations- und Umschlagplätze sind Abklärungen zu den Eigentumsverhältnissen in Bezug auf die betroffenen Parzellen und Wege sowie die Rahmenbedingungen, wie z.B. Umweltbelange, notwendig. Bei den Grundeigentümern sind Genehmigungen einzuholen und die vorhandenen Restriktionen (Abmessungen, Lasten etc.) zu formulieren.

#### 11.3.3. Zu klärende Punkte aus der Schnittstelle Schwemmholzrechen Einlaufbauwerk

Bezüglich der Querschnittsminderung im Falle der Variante A, sind infolge der Innenschale und der Erneuerung des Sohlgerinnes – auch im Auslaufbauwerk – die hydraulischen Berechnungen sowie die Risikobeurteilung (besonders Kt. SG) im Rahmen der weiteren Projektierungsarbeiten zu aktualisieren und mit den zuständigen Stellen abzusprechen.

Die Pläne im Technischen Bericht [10] zeigen eine Verbindung zwischen dem geplanten Rechen und der Krone des bestehenden Einlaufbauwerks.

Es wird empfohlen, beide Bauwerke vollständig zu trennen, was eine Trennung der Ufermauer und des Portals bedeutet. Dadurch kann eine lokale Kraftübertragung auf das Bestandsbauwerk vermieden werden.

## 12. Beilagen

- Beilage 1: Fotodokumentation, Begehungen März und Juli 2018
- Beilage 2: Best. Profil nach den Ergebnissen der Sondagen und Aufnahmen
- Beilage 3: Varianten A1 und A2: Erneuerung der Innenschale
- Beilage 4: Variante B: lokale Erneuerung der Innenschale
- Beilage 5: Variante E: lokale Instandsetzung
- Beilage 6: Gegenüberstellung der Varianten A, B und E
- Beilage 7: Auslaufbauwerk – Flügelmauern und Sohle
- Beilage 8: Situation Baustellenerschliessung
- Beilage 9: Gesamtterminprogramm bis zur Phase 53
- Beilage 10: Durchlass AB, km 2.6 (GN10), Vorprojekt Schwemmholzrückhalt, Technischer Bericht, Ribi AG, Heiden, 19.07.2018

Amberg Engineering AG



Martina Puglia  
Projektleiterin und Projektingenieurin



Florian Nothdurfter  
Projektingenieur