



N02 – 160031 – 8S HAG AUG

Arbeitspapier Bau 67

Auftraggeber ASTRA, Filiale Zofingen

Version/Datum 1.0 / 31.05.2019

Fachbereich T/G, K

Verfasser INGE 8S, dsp

Dateiname Arp 160031 Bau 67_Instandsetzungsvarianten TSH_2019 05 31

Instandsetzungsvarianten Querträger TSH

Verteiler	A. Behrens	GPL ASTRA
	M. Folly	FaS FU T/G
	R. Caron	FaS FU K
	C. Marti	BHU
	INGE 8S	PV Bau
	R. Roth	PV BSA

Inhalt

1	Ausgangslage / Ziele	3
2	Grundlagen	3
3	Bauwerk	3
3.1	Bauwerksbeschreibung	3
3.2	Zustand	5
3.3	Statische Überprüfung	7
4	Randbedingungen	8
4.1	Generelle Randbedingungen und Annahmen	8
4.2	Termine	8
4.3	Verkehr	10
4.4	BSA	11
4.5	Kostenschätzung	14
4.6	Instandsetzungsprinzipien	16
4.7	Bauprogramm	18
5	Variantenbeschreibung QT	19
5.1	Variante 0 „Keine Massnahmen“	19
5.2	Variante 1 „Periodische lokale Betoninstandsetzung“	19
5.3	Variante 2 „Umfassende Betoninstandsetzung mit Oberflächenschutzsystem“	22
5.4	Variante 3 „Oberflächenschutzsystem“	24
5.5	Variante 4 „KKS - Titanbänder“	26
5.6	Variante 5 „KKS - Titanstabanoden“	28
5.7	Variante 6 „KKS - Leitfähiger Anstrich“	30
5.8	Variante 7 „KKS - Zinkfolie“	32
6	Beurteilung der Varianten	33
7	Sensitivitätsanalyse der Varianten	36



8	Weitere Instandsetzungsmassnahmen	37
8.1	Massnahmen aufgrund Bauteilzustand	37
8.2	Massnahmen aufgrund statischer Defizite	38
9	Antrag	39
10	Entscheid	39
	Grafikverzeichnis	40
	Tabellenverzeichnis	40
	Fotoverzeichnis	40

Anhang	1	Zusammenstellung der Sensitivitätsanalyse
	2	Kostenschätzung
	3	Arbeitsschritte pro Instandsetzungsvariante
	4	Baufortschritt pro Tunnelabschnitt



1 Ausgangslage / Ziele

Mit dem Arbeitspapier Bau 67 sollen die Möglichkeiten, wie die Querträger des Tunnels Schweizerhalle instandgesetzt werden könnten, aufgezeigt werden. Neben den technischen Aspekten (Materialtechnologie, Auswirkungen auf den Verkehr, etc.) ist auch der Ausblick bis zur eigentlichen Umsetzung des 8 - Spurausbaus wichtig. Die in den folgenden Kapiteln erläuterten Instandsetzungsmassnahmen müssen schlussendlich auch in diesem Kontext miteinander verglichen werden.

Die vertieft untersuchten Varianten werden mit nachfolgender Bewertung beurteilt und benotet:

- Themen BAU
- Themen BSA
- Verkehr

Diese Kategorien werden mit weiteren zu beurteilenden Zielen (Unterkategorien) beschrieben und benotet.

Die „Kosten“ werden separat abgebildet. Die Auswirkungen auf die Umwelt (Lärm, Erschütterungen, Staub, etc.) sind aufgrund der Tunnelsituation und der Lage des Bauwerks von untergeordneter Bedeutung und werden deshalb nicht bewertet.

2 Grundlagen

- [1] Bauwerksunterlagen TSH (Pläne¹ und Statiken soweit vorhanden)
- [2] Materialtechnologische Untersuchungen 2016, Aegerter & Bosshardt AG, 11.12.2018
- [3] Statische Überprüfung 2016, Aegerter & Bosshardt AG, 11.12.2018
- [4] Prüf- und Beratungsbericht D3050 „Tunnel Schweizerhalle“, tecnotest ag, 04.10.2017
- [5] Prüf- und Beratungsbericht D3421 „TSH Tunnel Schweizerhalle“, tecnotest ag, 04.10.2018
- [6] SIA 260ff.
- [7] Arp BAU Nr. 45 „Überprüfung Querträger TSH, INGE 8S, 12.05.2019

3 Bauwerk

3.1 Bauwerksbeschreibung

Der Anfang der 60er Jahre realisierte Tunnel Schweizerhalle stellt die Unterquerung der Nationalstrasse N02 unter dem Rangierbahnhof MuttENZ sicher.

Die Überbaukonstruktion besteht aus insgesamt 153 vorgespannten Querträgern, welche mit den beiden Stützenreihen „Fassade“ und „Mitte“ (mittig zwischen den Fahrspuren) monolithisch verbunden sind sowie auf der Rückwand gelenkig aufliegen (Seite MuttENZ). Die zwischen den Trägern gespannte, 50 cm starke Deckenplatte ist, in Längsrichtung gesehen, i.d.R. alle ca. 33.5 m dilatiert. Die Breite der Querträger variieren von 0.90 m (resp. 1.10 m) bei den Fassadenstützen / Rückwand bis zu 1.20 m (resp. 1.40 m) bei den Mittelstützen, in der Höhe von ca. 1.80 - 5.30 m bei den Fassadenstützen / Rückwand und von ca. 2.50 - 6.0 m bei den Mittelstützen. In der Tunnelachse sind die Querträger in einem konstanten Abstand von 6.7 m angeordnet. Aufgrund der vorhandenen Bauwerkskrümmungen kann dieser aber in der Ebene der Fassade resp. Rückwand zwischen 6.58 bis 6.815 m liegen. Die Variabilität der Querträgerhöhen ist auf die punktuell angeordneten Bremsgruben des Rangierbahnhofs und auf die Überquerung der Rothausstrasse zurückzuführen. Im Bereich der Querträger Nr. 1 - 10 bzw. 139 - 153 ist nur die Fahrbahn Richtung Luzern überdeckt.

Die Foundation der Stützen besteht aus quadratischen Einzelfundamenten. Die Rückwand ist auf einem durchgehenden Streifenfundament gegründet.

¹ Im Gegensatz zu den Querträgern sind von der Rückwand alle Bauwerkpläne vorhanden.

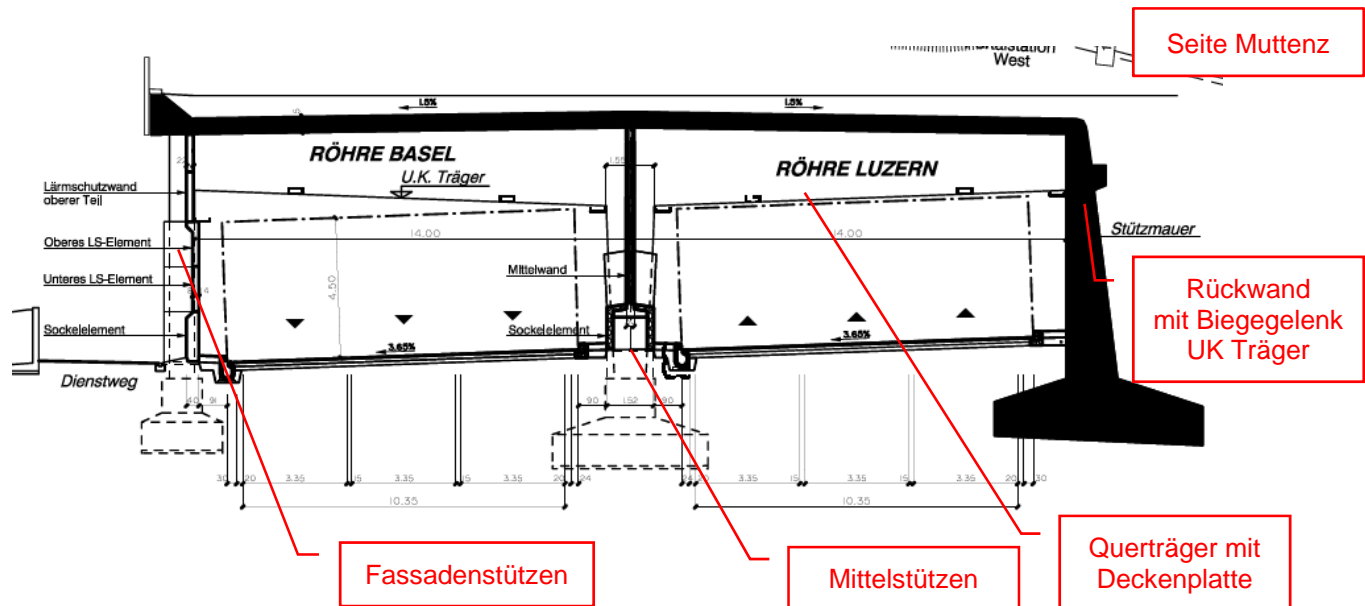


Abbildung 1: Tunnelquerschnitt mit Bauteilbezeichnungen

Bauwerksgeschichte

Die folgenden baulichen Unterhaltmassnahmen wurden bis heute am Bauwerk ausgeführt:

- | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1960 - 1963 | Bau |
| 1988 - 1998 | Diverse Zusatzinspektionen, Untersuchungen v.a. an Stützen |
| 1998 - 2000 | Instandsetzung und Umbau der Galerie in einen Tunnel <ul style="list-style-type: none">• Lokale Betoninstandsetzung an konstruktiven Bauteilen (Querträger, Decke und Rückwand)• Verstärkung der Stützen durch Ummantelung mit Stahlbeton• Bau einer Lärmschutzwand (Lückenschliessung Ebene „Fassadenstütze“) und ergänzenden Lärmschutzmassnahmen im Portalbereich Ost (Montage von Lärmschutzkassetten)• Schliessung der Lücken in Ebene „Mittelstützen“• Erneuerung Fahrbahnbelag, inkl. Fahrbahnentwässerung und Bankette• Erneuerung Löschwassersystem• Instandsetzung der Ableitungen der Deckenentwässerung• Bauliche Massnahmen für elektromechanische Einrichtungen (BSA)• Bau Fluchtstollen / Energieleitungstunnel |
| 2005 | Abdecken der wasserführenden horizontalen Dilatationsfugen, inkl. Heizbänder |
| 2006 - 2008 | Gewährleistung der Sicherheit Tunnel Schweizerhalle <ul style="list-style-type: none">• Erweiterung der Betriebszentrale Ost für zusätzliche Einrichtungen• Neubau eine neue Betriebszentrale beim Westportal• Anpassung der Tunnelbeleuchtung und Erneuerung der Fluchtwegsignalisation und optische Leiteinrichtungen• Ergänzung der Tunnellüftung durch Montage von neuen Strahlventilatoren bei beiden Portalen (inkl. Verlängerung des Westportals FBLU um 30 m) |



3.2 Zustand

Zustandsbeurteilung der Querträger gemäss [2]:

„Die Untersuchungsergebnisse zeigen deutlich sehr unterschiedliche Zustände der Querträger zwischen der Trägerseite in Fahrtrichtung und der Trägerseite in Gegenfahrtrichtung auf. Es konnte hingegen keine deutliche Abhängigkeit in Bezug auf die Lage der Querträger innerhalb des Tunnels (Anfang, Mitte oder Ende des Tunnels) festgestellt werden.

Die Trägeruntersicht sowie die der Fahrtrichtung zugewandte Trägerseite weisen, unabhängig von der Entnahmehöhe am Träger, eine sehr hohe Chloridkontamination des Überdeckungsbetons auf. Chloride wurden bereits bis durchschnittlich 40 - 50 mm Tiefe durch Diffusionsvorgänge umgelagert. Aufgrund der in den unteren Trägerbereichen etwas geringeren Bewehrungsüberdeckung (< 40 mm) sind infolge korrodierendem Betonstahl bereits massive Betonabplatzungen entstanden. Auch die durchgeführten Potentialmessungen deuten, hauptsächlich im unteren Trägerbereich in Fahrtrichtung und an der Unterseite, auf Korrosionserscheinungen an den Bewehrungen hin. Als Hauptursache der Korrosionserscheinungen auf Bewehrungshöhe im unteren Bereich der Träger konnte die hohe Chloridkonzentration ermittelt werden. Als Ursache der Depassivierung der Bewehrung kann die Karbonatisierung des Betons mehrheitlich ausgeschlossen werden.

Im oberen Trägerbereich und auf der Trägerseite in Gegenfahrtrichtung wurden gemäss Potentialmessung hingegen keine massgebenden Korrosionserscheinungen gemessen. Diese Bereiche weisen zwar auch einen erhöhten, aber einen viel geringeren Chloridgehalt im Randbeton auf, die Bewehrung ist in diesen Bereichen nicht depassiviert.

Die maximal festgestellte Querschnittreduktion der Bewehrungen bei den Betonabplatzungen betrug 20 %. Ausserhalb der geschädigten resp. in den intakten Bereichen waren die sondierten Bewehrungsstäbe blank (KG 0) bis vollflächig rostig (KG 2 bis 3, ev. Einbaurost). Im Bereich der Abplatzungen waren oftmals freiliegende metallische Hüllrohre resp. Spanndrähte sichtbar. Die Hüllrohre waren meist vollständig durchkorrodiert und die aussenliegenden, nahe an der Oberfläche liegenden Spanndrähte zeigten sehr starke Korrosionserscheinungen (bis 30 %) oder waren vereinzelt sogar teilweise durchkorrodiert. Die mit Injektionsgut gut umhüllten Spannglieder waren geringfügig korrodiert oder blank.

Die Schadstoffkontamination an den stark exponierten Bereichen in Fahrtrichtung hat einen direkten Einfluss auf die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit. Die Dauerhaftigkeit ist nicht gewährleistet.“



Foto 1: Freiliegendes Vorspannkabel



Foto 2: Kiesnest mit korrodierender Bewehrung



Foto 3: Massive Betonabplatzung aufgrund korrodierender Bewehrung



Foto 4: QT 66, Spanndrähte z.T. durchkorrodiert

Ergänzende Beurteilung INGE 8S:

- Die Abplatzungen sind einerseits auf den bedeutenden Chlorideintrag, andererseits aber auch auf die Karbonatisierung zurückzuführen (die grossflächigen Abplatzungen weisen darauf hin, dass zumindest bereichsweise auch die Karbonatisierung einen erheblichen Teil zur Schädigung beiträgt). Es kann davon ausgegangen werden, dass die Lokalität der Schäden primär eine Funktion der Betondeckung ist.
- Aufgrund der vorhandenen Datenlage kann nicht abschliessend ermittelt werden, wieso gewisse Träger Abplatzungen aufweisen und andere (noch) keine. Eine „Auswertung“ der Aufnahmen [4] zeigt aber schon, dass die geschädigten Träger durchschnittlich eine geringere Betondeckung aufweisen als die intakten Träger:

· Untersicht	Träger geschädigt	39 mm
	Träger intakt	44 mm
· Steg unten	Träger geschädigt	45 mm
	Träger intakt	54 mm

Die Festlegung unterschiedlicher Interventionstiefen in Abhängigkeit von den Betondeckungen ist unter den gegebenen Umständen, auch im Hinblick auf die vorgesehene Restnutzungsdauer von 40 Jahren, rechnet sich sehr wahrscheinlich nicht (Aufwand ↔ Ertrag).

- Durch die NSNW werden seit September 2017 die visuell resp. mittels Abklopfen festgestellten Schäden halbjährlich aufgenommen und dokumentiert. Die Auswertung „zeitlichen Entwicklung der Anzahl Fehlstellen pro Schadenskategorie“ zeigt über diese 1.5 Jahre das folgende Bild:

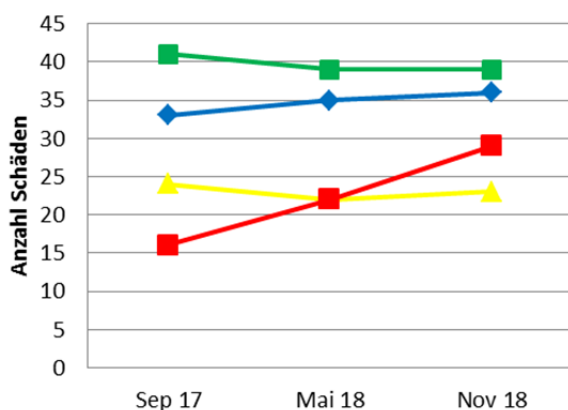


Abbildung 2: Schadensentwicklung QT Tunnelröhre FBBS

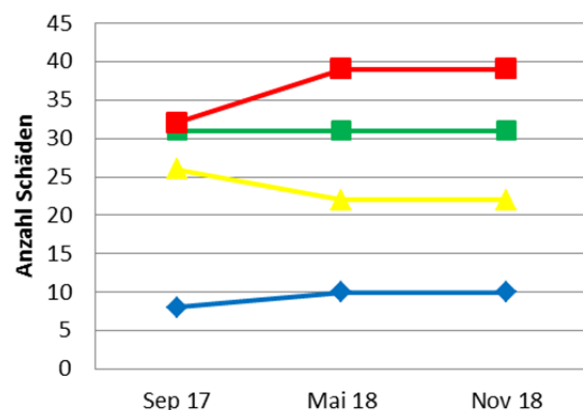


Abbildung 3: Schadensentwicklung QT Tunnelröhre FBLU



- Hohlstellen
- grosse Schäden, Armierung oxidiert, Vorspannkabel sichtbar
- mittlere Schäden, Armierung oxidiert
- kleine Schäden, Abplatzung von Beton

Abbildung 4: Legende „Schadenplan QT“, NSNW

Die Anzahl „Einzelschäden“, wobei es unerheblich ist, ob es sich um Hohlstellen oder grosse Abplatzungen handelt, haben an den QT der FBBS zwischen Sep. 2017 und Nov. 2018 von 114 auf 127 und an denjenigen der Tunnelröhre FBLU von 97 auf 102 zugenommen.

3.3 Statische Überprüfung

Die Analyse der vorhandenen Planunterlagen hat gezeigt, dass von den insgesamt rund 153 Querträgern nur von 2 Abschnitten alle notwendigen Angaben für eine statische Überprüfung vorliegen:

- QT 119 - QT 124 (Bremszone)
- QT 138 - QT 148 (einseitig)

In [3] sind die folgenden Träger überprüft worden:

- Querrahmen Nr. 29 (Höhe Querträger bis OK Decke 3.43 m) Normalzone
- Querrahmen Nr. 43 (Höhe 2.63 m) mit Dilatationsfuge (DF) Bremszone
- Querrahmen Nr. 69 (Höhe 4.57 m) Bremszone
- Querrahmen Nr. 123 (Höhe 3.11 m) Bremszone
- Querrahmen Nr. 142 (Höhe 3.21 m, Normalzone; einseitig, nur Fahrbahn Richtung Luzern)

Dem damaligen Projektverfasser lagen keine zusätzlichen Unterlagen vor, sondern es mussten für die Berechnungen an den Trägern 29, 43 und 69 Annahmen getroffen werden:

- QT 29 Eisenliste zu Schemaplan I (eff. fehlen die Bewehrungsdurchmesser)
- QT 43 Eisenliste zu Schemaplan V (eff. fehlen die Bewehrungsdurchmesser) / Kabeltabelle (eff. fehlen Kabeltypen und Kabellage)
- QT 69 Kabeltabelle (eff. fehlen Kabeltypen und Kabellage)

Diese lassen sich mit den vorhandenen Unterlagen nicht erhärten (es handelt sich effektiv um Annahmen!).

Im Rahmen der aktuellen Projektphase GP / EK wurde entschieden, aufgrund der Resultate 2016, in einer Vergleichsrechnung den Querträger 123, ein Träger im Bereich einer Bremszone (B), unabhängig nochmals zu analysieren.

Unter der Voraussetzung, dass alle Materialien intakt sind und plangemäss eingebaut wurden, ergaben die Berechnungen für den Träger 123 eine ausreichende Tragsicherheit:

- Er weist erhebliche Biegereserven und bezüglich Querkraft Reserven von ca. 10% auf.
- Ungünstig ist die Bewehrungsführung am Trägerende (ungenügende Endverankerung). Aufgrund der grossen Erfüllungsgrade bei den untersuchten Abschermechanismen (hinter dem Auflager nur Betonschubfestigkeit!) ist aber ein Versagen nicht zu befürchten.
- GB 2b (Brand) ist auch mit Ausfall der äusseren Vorspannkabel abgedeckt → somit Feuerwiderstandsklasse R 180.



Aufgrund der ausgewiesenen Reserven hinsichtlich Biegung² kann davon ausgegangen werden, dass trotz der vorhandenen Korrosionsschäden die Tragsicherheit noch gegeben ist.

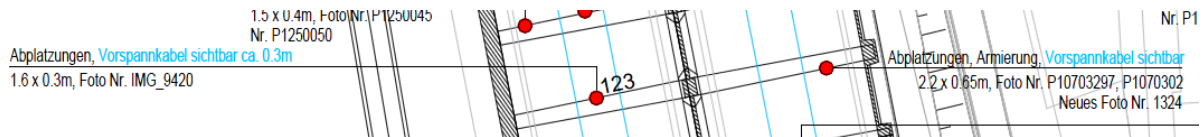


Abbildung 5: Schadensbild QT Nr. 123, „Schadenplan QT“, NSNW, 08.11.2018

4 Randbedingungen

4.1 Generelle Randbedingungen und Annahmen

Das Variantenstudium setzt voraus, dass der bestehende Tunnel Schweizerhalle auch über den 8 - Spurausbau hinaus erhalten werden kann. Die in der Vergangenheit und auch im aktuellen Projekt durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen zeigen, dass dies grundsätzlich möglich ist. Dies bedingt aber, dass die bestehende Tragstruktur nicht noch weiter strukturell geschädigt wird. Zur langfristigen Sicherstellung des Betriebs sind deshalb in naher Zukunft eine umfassende Instandsetzung und punktuelle Ertüchtigungen notwendig. Die im Kapitel 5 ausgearbeiteten Instandsetzungsszenarien basieren darauf.

Eine hinsichtlich Verkehr, Kosten und Technik (BAU / BSA) ideale Instandsetzungssituation ergäbe sich, falls jeweils 1 Tunnelröhre während längerer Zeit ausser Betrieb genommen werden könnte. Dies wäre möglich, falls in diesem Abschnitt der 8-Spurausbau, d.h. der Bau der Brücke Schweizerhalle, vorgezogen werden könnte. Ob dies aufgrund der zu erwartenden Einsparungen und dem politischen Widerstand zeitgerecht denkbar ist, scheint uns sehr unsicher (unwahrscheinlich).

Dieses Szenario wird deshalb nicht weiter verfolgt. Die verschiedenen Instandsetzungsvarianten werden unter der Vorgabe „Bauen unter Verkehr“ weiterverfolgt.

Von Seite ASTRA wurde beschlossen, dass zur Erhöhung der Verkehrssicherheit die Tunnellüftung ertüchtigt werden muss (und dies unabhängig davon, wie resp. unter welchem Verkehrsregime die eigentlich Instandsetzung der QT schlussendlich erfolgen soll). Es wird in diesem Arbeitspapier davon ausgegangen, dass die Tunnellüftung (zusätzliche Strahlventilatoren am Westportal FBBS resp. Ostportal FBLU) ohne AP und somit vor der Teilinstandsetzung der TSH realisiert werden kann resp. muss.

4.2 Termine

Die diesem Arbeitspapier zugrunde liegenden Termine basieren zu einem wesentlichen Teil auf den Randbedingungen „BSA“. Aufgrund der technischen und finanziellen Vorteile bei einer kombinierten Umsetzung der Massnahmen BAU / BSA und unter der Annahme, dass sich der Projektierungsprozess BSA³ nicht beschleunigen lässt, werden die verschiedenen Instandsetzungsvarianten auf Basis der folgenden „übergeordneten“, als Richtwerte zu verstehenden Termine bewertet:

- Instandsetzung 1 BAU 2025 (2024 / 2025)
- Instandsetzung 2 BAU 2037/38

² Die visuell sichtbaren Schadstellen befinden sich eher in Feldmitte.

³ Das Szenario wurde mit der IG „BSA“, M. Leipert, besprochen. Ein Abgleich mit dem ASTRA ist noch nicht erfolgt.

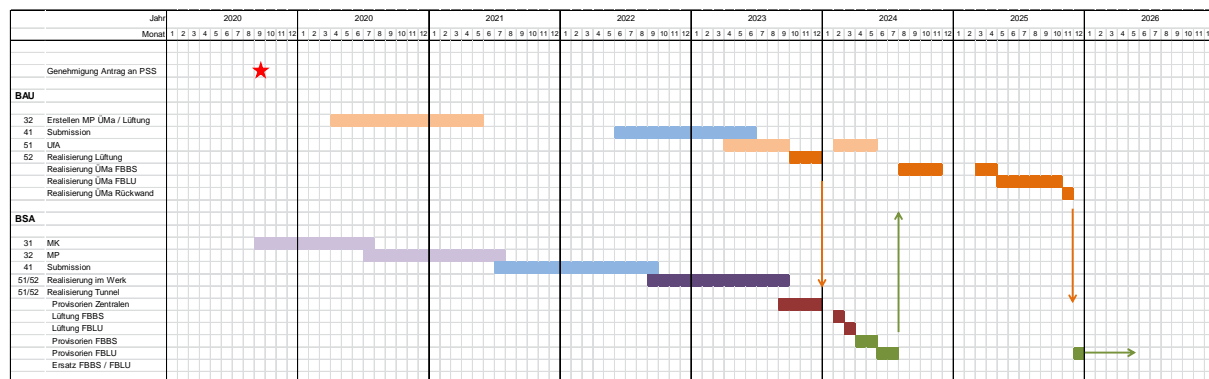


Abbildung 6: Mögliches Grobterminprogramm (unter Berücksichtigung Projektierung und Realisierung Tunnellüftung / Erneuerung BSA)

Aufgrund des aktuellen Querträgerzustandes ist der Termin „2025“ für die Instandsetzung der Tragstruktur spät. Aus Sicht BAU müssten die Massnahmen, primär aus statischen Gründen, möglichst umgesetzt werden.

Die Dringlichkeit ist gegeben.

Aufgrund der folgenden Punkte ist eine rasche Intervention angebracht:

- Die statische Überprüfung an einer beschränkten Anzahl Trägern hat ergeben, dass bei intakter Bewehrung / Vorspannung und plangemäsem Einbau wahrscheinlich hinsichtlich Biegung / Querkraft kein Tragsicherheitsdefizit vorhanden ist (gemäss [3] $n_{M,min} = 1.02^4$ / gemäss [7] $n_{Q,min} = 1.08$). Ein Querschnittsverlust an Bewehrung / Vorspannkabel, wie er bereits bei einzelnen Trägern vorhanden ist, muss deshalb, auch wenn die Erfüllungsgrade im Allgemeinen deutlich über 1.0 liegen, unbedingt vermieden werden.
Dass die geführten Tragsicherheitsnachweise („statische“ Einwirkungen) alle ein $n > 1.0$ ergeben haben (aktuelle Beurteilung aufgrund des heutigen Zustandes), ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass in der Ursprungsstatik eine Erhöhung der Schotterstärke um +1 m einberechnet wurde (in der statischen Überprüfung hingegen nicht berücksichtigt). Mit zunehmender Schädigung des Tragwerks kann die Gleislage⁵ ohne Verstärkungsmassnahmen nicht mehr angepasst werden.
- Aufgrund des Bahnbetriebs ist das Bauwerk auch durch bedeutende Ermüdungslasten beansprucht. Bereits eine geringe Lochfrasskorrosion führt infolge der nun vorhandenen Kerbe zu einer starken Reduktion der Ermüdungsfestigkeit (die bisherigen statischen Berechnungen zeigen, dass hinsichtlich Ermüdung ein Defizit nicht auszuschliessen ist).
- In Abhängigkeit von der gewählten Instandsetzungsvariante wird die Bewehrung resp. Vorspannung gar nicht freigelegt. Der effektive Schädigungsgrad wird nicht sichtbar⁶ (Lochfrasskorrosion aufgrund von Chloriden führt nicht zwingend zu Abplatzungen, sondern kann „ohne“ visuell Anzeichen an der Betonoberfläche weitgehend unbemerkt ablaufen). Das effektive Tragsicherheitsniveau ist unbekannt.
- Aufgrund des i.d.R. progressiv zunehmenden Schädigungsgrades wird sich auch der notwendige Instandsetzungs- und Verstärkungsaufwand vergrössern. Das Bauwerk so „verlottern“ zu lassen, dass 2037 ein Ersatzneubau notwendig wird, ist aufgrund der verkehrstechnischen Randbedingungen und der Kosten kein Thema.

⁴ Es muss erwähnt werden, dass bei 3 der 5 von Aegerter & Bosshardt untersuchten Trägern aufgrund fehlender Angaben Annahmen getroffen werden mussten. Von den insgesamt 153 QT sind nur rund 17 vollständig dokumentiert.

⁵ Die Anpassung der Gleishöhe würde aber so oder so bedingen, dass das Bauwerk vertieft statisch kontrolliert werden müsste.

⁶ Eine genaue Quantifizierung des Querschnittsverlustes und somit des Tragwiderstands ist auch bei einem Freilegen mit grossen Unsicherheiten behaftet.

- Der Schadensfortschritt bzw. Initiierung⁷ von bisher nicht stark geschädigten Bereichen werden in Abhängigkeit der Bewehrungsüberdeckung zunehmen. Im ASTRA-Bericht 603 (2006) werden Zahlen aus Kanada genannt, wonach der Beginn von Delaminationen / Abplatzungen i.d.R. ca. 25 Jahre nach dem Beginn der Korrosion auftreten. Nach dem Abplatzen bzw. Abklopfen des Deckungsbetons freigelegte Stahloberflächen, d.h. unter atmosphärischen Bedingungen, sind gemäss SN EN ISO 12944-2 in die Korrosivitätskategorie C3 bis C4 ("mittel" bis "stark") einzuteilen. Dies würde eine jährliche gleichmässige einseitige Dickenabnahme von ca. 50 µm bedeuten. Lokal könnte es infolge der stark chloridbelasteten Korrosionsrückstände auch zu einigen höheren Abtragsraten (C5, "sehr stark") von 80 - 200 µm/Jahr kommen.

Bei noch im Beton eingebetteten Bewehrungsseisen und bei den im Tunnel vorherrschenden Bedingungen können aufgrund der Makroelementbildung Abtragsraten von 100 - 400 µm/Jahr nicht ausgeschlossen werden.

4.3 Verkehr

Die Realisierung der geplanten Arbeiten hat in der Nacht zu erfolgen. Am Tag ist aufgrund des Verkehrsaufkommens ein Fahrstreifenabbau nicht möglich.

Die Art der geplanten Massnahmen macht es unmöglich, dass in der gleichen Tunnelröhre der Verkehr zirkuliert (auch wenn nur auf 1 Fahrstreifen) und gleichzeitig gearbeitet wird. Es wird deshalb vorausgesetzt, dass die von der Massnahmenumsetzung betroffene Tunnelröhre jeweils vom Verkehr befreit werden kann. Dies bedeutet:

- für die „Instandsetzung 1 BAU“, dass der Verkehr in der Nacht pro Richtung jeweils einstreifig in der benachbarten Röhre geführt werden muss (oder teilweise über das untergeordnete Strassennetz umgeleitet werden muss).

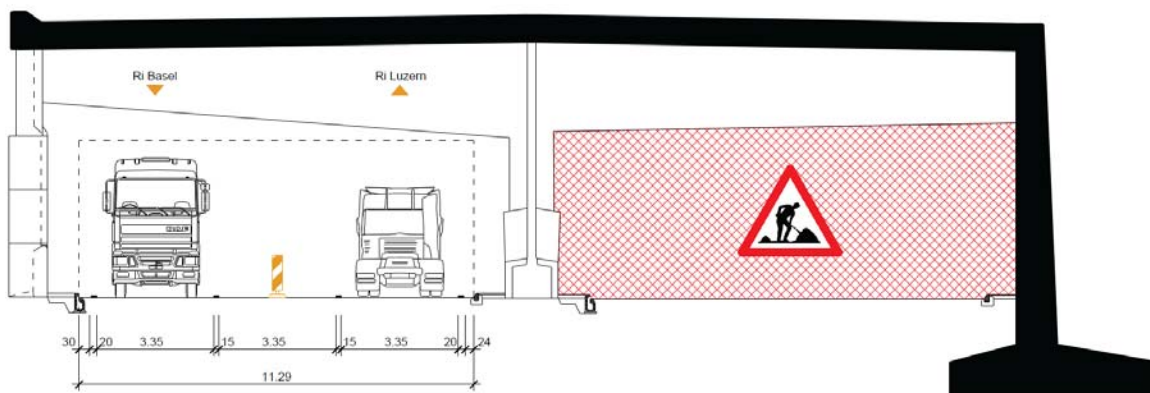


Abbildung 7: Verkehrsführung Nachtarbeit

Die hinsichtlich Baukosten / Terminprogramm im Kapitel 5 gemachten Ausführungen basieren auf den folgenden Sperrzeiten (gemäss Tabelle „Zeitfenster für Tagesbaustellen Filiale Zofingen“, 07.11.2018):

- Nächte Mo - Do: 21:00 - 05:00 → eff. Bauzeit Unternehmer: 21:30 - 04:30 (7 h)
- Freitagnacht: 22:00 - 06:00 → eff. Bauzeit Unternehmer: 22:30 - 05:30 (7 h)
- Samstagnacht: 22:00 - 07:00 → eff. Bauzeit Unternehmer: 22:30 - 06:30 (8 h)
- Sonntagnacht: 22:00 - 05:00 → eff. Bauzeit Unternehmer: 22:30 - 04:30 (6 h)

Es wird von einer 5 Tagewoche für die Baumeisterarbeiten ausgegangen (Montag- bis Freitagnacht).

Das Arp Verkehr 06 „Verkehrsführung Instandsetzung Tunnel Schweizerhalle, Variantenbeurteilung 2025“ liegt im Vorabzug vor. Die angenommenen obigen Sperrzeiten werden darin bestätigt.

⁷ Untersuchungen zeigen, dass die Initiierung des Korrosionsprozesse i.d.R. nicht nach Jahrzehnten, sondern eher bereits nach Jahren erfolgt.

- für die „Instandsetzung 2 BAU“, dass zuerst die Fahrbahn Richtung Basel erstellt wird und dann anschliessend die Instandsetzung der eigentlichen Tunnelröhren nacheinander erfolgen können (Vorgehen analog N01 Ausbau Nordumfahrung Zürich). Vorteilhaft ist dann sicher, dass die Tunnelröhre permanent vom Verkehr befreit ist und so theoretisch im 24 - Stundenschichtbetrieb gearbeitet werden könnte.

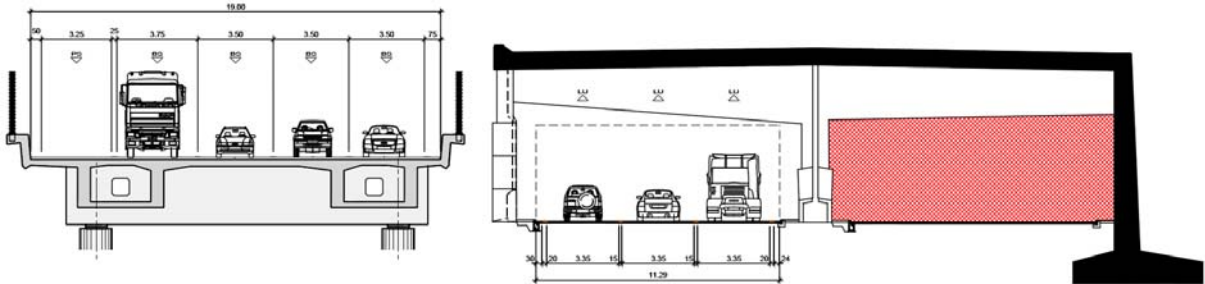


Abbildung 8: Verkehrsführung Vollsperrung

4.4 BSA

4.4.1 BSA Bestand

Der Tunnel Schweizerhalle ist hinsichtlich BSA wie folgt ausgerüstet:

- Für die Erschliessung der diversen Installationen (Leuchten, FLS, Kameras, Mobilfunksender, beleuchtete Signale, Ampeln, Messstellen CO/ST und Wind, Brandmeldekabel, Strahlventilatoren) sind an der Tunnelkonstruktion Kabelleiter montiert. Die Haupttrassen werden dabei bei beiden Röhren beidseitig an den Tunnelwänden, unmittelbar unter UK Querträger geführt. Für die notwendigen Kabelquerungen zwischen diesen insgesamt 4 Kabelsträngen untereinander und zur Sicherstellung der aus dem WELK geführten Anschlusspunkte sind insgesamt 6 Passerellen mit integrierten Kabeltrassen vorhanden.
- Die Passerellen sind begehrbar ausgebildet und vom Unterhaltsweg her mit Leitern erschlossen (vgl. Foto 9). Der direkte Zugang bis zur Tunnelrückwand ist möglich, in den eigentlichen WELK / SiSto⁸ kann man so aber nicht gelangen. Die Kabel zwischen WELK und Passerelle werden in mit Blechen abgedeckte Steigzonen (Ankerschienen) geführt (vgl. Foto 8).

Passerelle Nr.	Querträger Nr.
1	19 (Seite Luzern)
2	45 (Seite Luzern)
3	74 (Seite Luzern)
4	91 (Seite Basel)
5	110 (Seite Basel)
6	131 (Seite Basel)

Tabelle 1: Lage der Passerellen

- Pro Tunnelröhre sind jeweils 2 Beleuchtungsbänder vorhanden (vgl. Foto 5):
 - In den Portalbereichen muss aus beleuchtungstechnischen Gründen der Leuchtenabstand so gewählt werden, dass mehrere Leuchten zwischen jeweils benachbarten Querträgern angeordnet sind (Adaptions- und Durchfahrtsleuchten). Diese Leuchten sind an Stahlträgern montiert, welche von Querträger zu Querträger spannen (vgl. Foto 5 / Foto 6).

⁸ Hinweis: Der Werkleitungskanal (WELK) ist auch gleichzeitig ein Sicherheitsstollen (SiSto), der muss immer verfügbar sein muss.



- Die Durchfahrtsleuchten im Innenstreckenbereich sind hingegen mit Konsolkonstruktionen direkt an den Querträgern befestigt.
- Die Kabel für die Speisung der Leuchten sind auf kleinen, an die Querträger montierten Kabelkanälen verlegt (das „Beleuchtungsband“ wird dabei jeweils vom näherliegenden Haupttrasse versorgt, vgl. Foto 5), wobei über den kleinen Kabelkanälen auch noch die Abzweigboxen der Beleuchtung montiert sind.
- Die Fahrstreifenlichtsignale (FLS) sind ebenfalls mittels Konsolkonstruktionen an den Querträgern befestigt (vgl. Foto 7). Auch hier erfolgt die Stichverkabelung via die oben erwähnten Kabelkanäle.
 - In Achse der Tunnelröhre, ca. 50 cm über UK Querträger, ist das Brandmeldekabel angeordnet, welches an einem ebenfalls längs gespannten Stahlseil hängt.
 - Im Bereich der Tunnelportale sind jeweils 3 Strahlventilatoren montiert (vgl. Foto 10 / Foto 11). Damit diese ca. 2008 eingebaut werden konnten, mussten beim Portal FBBS Querträger umgebaut (ausgeschnitten) und auf der Seite FBLU ein neues Portalbauwerk erstellt werden. Aufgrund der erst vor kurzem durchgeführten Massnahmenrealisierung kann davon ausgegangen werden, dass an der Bausubstanz kein massgebender Instandsetzungsbedarf vorhanden ist.
 - Die BSA - Aggregate sind nicht für Druckbeanspruchungen ausgelegt. Im Normalfall gilt die Anforderung IP65 = Staubsicht / geschützt gegen Strahlwasser (keine Druckwasser).



Foto 5: Kabelkanal längs beidseitig der Fahrbahn, Adaptionsbeleuchtung an Stahlträger befestigt, FBBS



Foto 6: Befestigungsdetail Längsträger Adaptionsbeleuchtung - Querträger, Brandschutzkabel, FBLU



Foto 7: FLS an Querträger befestigt (im Hintergrund eine Passerelle), FBBS



Foto 8: Passerelle mit Kabeleinführung aus WELK, K36, FBLU



Foto 9: Zugang zu Passerelle Nr. 4 (QT 91)



Foto 10: Portalzone mit Strahlventilatoren, FBLU



Foto 11: Portalzone mit Strahlventilatoren, FBBS



Foto 12: Durchfahrtsbeleuchtung im Innenstreckenbereich
direkt an QT montiert

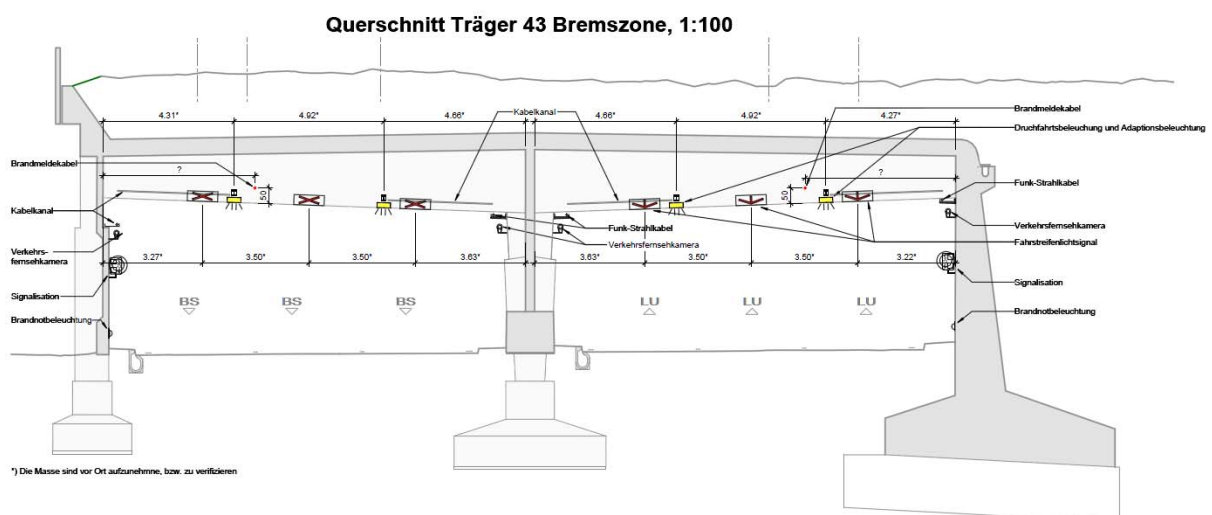


Abbildung 9: Schemaquerschnitt Tunnel mit BSA



4.4.2 BSA - Provisorien

Für die Instandsetzung 1 2025 sind i.d.R., damit die entsprechenden Arbeiten BAU ausgeführt werden können, die Querträger von den BSA „freizuräumen“. Es ist geplant, pro Bauphase jeweils nur jeden 5. Querträger „gleichzeitig“ zu bearbeiten. In Absprache mit der BSA, unter Gewährleistung der Verkehrssicherheit, sind nach aktuellem Projektstand dafür die folgenden Provisorien notwendig (da auch die BSA erneuert werden muss, können die für den BAU notwendigen temporären Massnahmen auch gerade für die BSA - Erneuerungsarbeiten genutzt werden⁹):

- Das Brandmeldekabel muss am Morgen, bei der Verkehrsumstellung, jeweils funktionstüchtig sein¹⁰. Es ist deshalb vorgesehen, das aktuell ca. mittig angeordnete Kabel durch 2 an den Rändern verlegte Kabel zu ersetzen¹¹.
- Die Beleuchtung wird ebenfalls beidseitig provisorisch an die Tunnelwände montiert. In Abhängigkeit zum Baufortschritt sind einzelne Leuchten zu demontieren oder während den Bauarbeiten abzudecken (mit der geplanten Etappierung „gleichzeitige Bearbeitung jeder 4. QT“ ist die Verkehrssicherheit gewährleistet). Die direkt an den QT angebrachten Beleuchtungen könnten gegebenenfalls auch von QT zu QT umgesetzt werden.
- Die FLS werden von QT zu QT temporär umgesetzt.
- Die längsführenden Kabelkanäle müssen tiefer gesetzt werden.
- Eine Demontage der insgesamt 6 vorhandenen Passerellen (vgl. Foto 8) ist notwendig. Die darin geführten Kabel müssen temporär z.B. an die Tunneldecke gehängt werden.
- Die vorhandenen Fluchtwegsignale müssen am Morgen jeweils wieder in Betrieb genommen werden können.
- Die vorhandenen Brandnotleuchten können über einige wenige Wochen abgeschaltet bleiben.

4.5 Kostenschätzung

4.5.1 Allgemein

Folgende Vorgaben liegen der Grobkostenermittlung zugrunde:

- Genauigkeit: +/- 30%.
- Preisbasis: 01.03.2019.
- Die Kosten für die nächtlichen Verkehrsumleitungen (Betrieb 1 Tunnelröhre im Gegenverkehr) betragen: 2'500.- / Nacht¹².
- Pro Jahr werden die Querträger durch den NSNW zweimal auf lose Stellen hin abgeklopft: 20'000.-/ Jahr¹³.
- Die Tunnelfahrbahn wird nach jeder Nachtsperre BAU gereinigt.
- Für die Baustelleneinrichtung wird 10%, für die Regie 5% und für die Prüfungen 2% der Baukosten angenommen.

⁹ Die beste Lösung ist i.d.R., die neuen Anlagen wieder an den alten Standort zu versetzen (optimale Lage), d.h. der Bestand wird zuerst ummontiert, so dass anschliessend die neuen Teile in alter Lage montiert werden können.

¹⁰ Theoretisch wäre es auch möglich, durch eine permanente Überwachung des Tunnels mit Hilfe der vorhandenen Kameras, den Betrieb auch ohne Brandmeldekabel für einige wenige Tage aufrecht zu erhalten.

¹¹ Die Kabel sind sehr schlagempfindlich und können gegen z.B. HDW - Einwirkungen nur unzureichend geschützt werden.

¹² Diese periodisch wiederkehrenden Kosten werden bei der Variante 1, da diese bei den anderen Varianten bis dahin ebenfalls anfallen, erst ab dem Instandsetzungszeitpunkt der QT berücksichtigt.

¹³ Diese periodisch wiederkehrenden Kosten werden bei der Variante 1, da diese bei den anderen Varianten bis dahin ebenfalls anfallen, erst ab dem Instandsetzungszeitpunkt der QT berücksichtigt.



- **Kostenermittlung Querträger:**
 - Wahl der Einheitspreise aufgrund von Erfahrungswerten, z.B. pro m² - Betonfläche, unter Berücksichtigung der reduzierten Arbeitsleistung (Annahme effektive Arbeitsleistung am Bauteil, nach An- und Wegfahrt sowie Installation resp. Deinstallation: 5 - 5.5 h / Nacht).
 - Alle 283 Träger¹⁴ (Tunnelröhre LU 153 Träger / BS 130 Träger) werden hinsichtlich Massnahmenumfang gleich instand gesetzt (keine Unterscheidung, ob der Träger aktuell visuell feststellbare Schäden hat oder nicht).
 - Bei der Mehrheit der untersuchten Varianten wird zwischen „schwach“ und „stark“ geschädigter Trägerfläche unterschieden. Die Massnahmen sind entsprechend darauf ausgelegt. Die Flächenanteile sind bei diesen Varianten entsprechend ca. gleich (Trägerfläche mit starker Schädigung: 42 m² / durchschnittliche Trägerfläche: 92 m²).
 - Auch bei den Varianten, wo keine flächige Betoninstandsetzung vorgesehen ist (z.B. beim KKS muss ein durchgehend leitfähiger Untergrund vorhanden sein) müssen die vorhandenen Hohlstellen, Abplatzungen und Kiesnester mittels HDW / Reprofilierung instand gesetzt werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass für den Betonabtrag für 2 Träger jeweils ca. 1 Nacht und für die Reprofilierung pro Träger 1 Nacht benötigt werden.
 - Die auflaufenden Kosten werden über einen Zeitraum von ca. 15 Jahren betrachtet (z.B. 2025 - 2037/38), so dass bei allen Varianten schlussendlich eine Gesamtinstandsetzung („dauerhafte“ Lösung) des QT vorgenommen wurde:
 - Variante 1 → Kontroll- und Unterhaltsarbeiten bis 2037/38, dann „Gesamtinstandsetzung 2037/38“ (definitive Massnahme: Annahme Variante 4 (100%¹⁵))
 - Varianten 2 - 5 → „Gesamtinstandsetzung 2025“, Teilinstandsetzung 2037/38 (z.B. Erneuerung des Oberflächenschutzes, Ersatz von KKS - Komponenten)
 - Varianten 6 → Teilinstandsetzung 2025 (mit Nutzungsdauer < 20 Jahren), dann „Gesamtinstandsetzung 2037/38“ (definitive Massnahme definitive Massnahme: Annahme Variante 4 (80%¹⁶))

4.5.2 Abgrenzung

In den Grobkosten sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht eingerechnet:

- Massnahmen, mit denen gegebenenfalls der Ablauf der nächtlichen Tunnelröhrensperrungen optimiert werden können (z.B. Ersatz der vorhandenen absenkbaren Leitsysteme, etc.).
- Kosten BSA: Für den Vergleich der Varianten 2 - 6 kann davon ausgegangen werden, dass sich die Aufwendungen für den temporären Umbau der BSA jeweils in der gleichen Grössenordnung bewegt (und somit für den Variantenentscheid nicht massgebend sind und deshalb auch nicht berücksichtigt werden).
Synergien, die sich aus dem notwendigen Ersatz der BSA ergeben, werden zu 50% angenommen. Da diese bei der Variante 1 nicht realisiert werden kann, werden 50% der von der BSA geschätzten Kosten für Provisorien aufgerechnet (ca. CHF 1.6 Mio.).
- Kosten für Zustandserfassung / -beurteilung der QT.
- Kosten exkl. MwSt. / Unvorhergesehenes / Projektierungs- und Bauleitungskosten inkl. Unterstützung und Beratung des Bauherrn.

Die Kostenschätzung dient dem Variantenvergleich. Für die Bestvariante müssen die Kosten im Rahmen des EK noch detaillierter ausgearbeitet werden.

¹⁴ Als „Träger“ wird jeweils der die Tunnelröhre querende Trägerabschnitt bezeichnet (Zweifeldträger → 2 Träger / Einfeldträger → 1 Träger).

¹⁵ Annahme Kostenanteil 100%: Durch die Vollsperrung der Tunnelröhre wird die Massnahmenumsetzung zwar wesentlich vereinfacht, der Instandsetzungsbedarf wird aber im Gegenzug auch stark zunehmen.

¹⁶ Annahme Kostenanteil 80%: Durch die Vollsperrung der Tunnelröhre wird die Massnahmenumsetzung wesentlich vereinfacht. Es ist mit keinem grossen Instandsetzungsbedarf zu rechnen.



4.6 Instandsetzungsprinzipien

Bei den im Kapitel 5 beschriebenen Varianten kommen unterschiedliche Instandsetzungsprinzipien, mehrheitlich in Kombination, zur Anwendung. Das „Hauptprinzip“, mit dem die stark mit Chloriden belasteten Flächen bearbeitet werden, wie auch das „Nebenprinzip“ für die Restflächen, werden wie folgt eingesetzt:

Variante	Hauptprinzip	Nebenprinzip
Nr. 2, (1)	7 - „Erhalt oder Wiederherstellung der Passivität“	1 - „Schutz gegen das Eindringen von Stoffen“ 2 - „Regulierung des Feuchtehaushaltes“
Nr. 3	1 - „Schutz gegen das Eindringen von Stoffen“ 2 - „Regulierung des Feuchtehaushaltes“	-
Nr. 4 - 7	10 - Anlegen eines elektrischen Potenzials“	1 - „Schutz gegen das Eindringen von Stoffen“ 2 - „Regulierung des Feuchtehaushaltes“

Tabelle 2: Vorgesehene Instandsetzungsprinzipien

4.6.1 Oberflächenschutzsysteme („Schutz gegen das Eindringen von Stoffen“)

Bezugnehmend auf die in der SN EN 1504-2 „Oberflächenschutzsystem für Beton“ verwendeten Definitionen können für den Schutz der Querträger das Prinzip 1 „Schutz gegen das Eindringen von Stoffen“ resp. Prinzip 2 „Regulierung des Feuchtehaushaltes“ sinnvollerweise angewendet werden.

In Abhängigkeit von der Variante werden die folgenden 2 Oberflächenschutzsysteme beurteilt:

Hydrophobierende Imprägnierung, Verfahren 1.1 gemäss SN EN 1504-2 (resp. 2.1)

Es wird mit einer Applikation das Eindringen von Wasser in den Beton verhindert oder reduziert (ein Transport von z.B. gasförmigem Wasser im Porensystem des Betons wird hingegen nicht behindert). Im Wasser gelöste Chloride (Tausalz) können nicht mehr oder nur noch stark reduziert in den Beton zu der Bewehrung eingetragen werden. Als Folge trocknet der Bauteil aus und die Karbonatisierungstiefe und -geschwindigkeit nimmt zu, was die Korrosionswahrscheinlichkeit grundsätzlich erhöht (der Prozess würde erst zum Erliegen kommen, wenn kein Wasser mehr im Porensystem vorliegt). Trotz dieser z.T. gegenläufigen Prozesse führt die Summe der Effekte doch dazu, dass die Dauerhaftigkeit durch das Aufbringen einer hydrophobierenden Imprägnierung signifikant verbessert wird. Aufgrund der vorhandenen Betondeckungen, die bei den seitlichen Trägerflächen¹⁷ nach oben tendenziell zunehmen, ist nicht mit einer durch Karbonatisierung ausgelösten Korrosion zu rechnen. Dem Nachteil der relativ kurzen Nutzungsdauer steht der Vorteil gegenüber, dass eine hydrophobierende Imprägnierung mit relativ geringem Aufwand erneuert werden kann.

Beschichtung mit erhöhter Dichtigkeit, Verfahren 1.3 gemäss SN EN 1504-2 (resp. 2.3)

Neben der Schutzfunktion gegen das Eindringen von Chloriden (Tausalzen) weisen Beschichtungen auch einen erhöhten Widerstand gegen CO₂ - Diffusion auf (das Fortschreiten der Karbonatisierung wird unterbunden). Die Wasserdampfdurchlässigkeit ist gegenüber einer hydrophobierenden Imprägnierung eingeschränkt. Eine Beschichtung kann ohne (OS2¹⁸) oder mit (OS4) Ausgleichsspachtelung aufgebracht werden. Im vorliegenden Fall wird zur Gewährleistung der „lückenlosen“ Schutzfunktion eine Ausgleichsspachtelung vorgesehen.

4.6.2 Betonersatz („Ersatz von schadstoffhaltigem Beton“)

Unter dem Prinzip 7, Verfahren 7.2 „Ersatz von schadstoffhaltigem oder karbonatisiertem Beton“ gemäss SN EN 1504-3 „Statisch und statisch nicht relevante Instandsetzung“ versteht man den Ersatz

¹⁷ Bei keiner Variante ist eine hydrophobierende Imprägnierung als Hauptinstandsetzungsprinzip, d.h. im Bereich der Trägerunterseite und an den unteren Seitenflächen, vorgesehen.

¹⁸ Bezeichnung gemäss NA, SN EN 1504-2

des von Chloriden belasteten resp. karbonatisierten Betons. Die Wiederherstellung der Passivität der Bewehrung erfolgt mit dem Auftrag eines alkalischen Reprofiliermörtels.

4.6.3 KKS („Schutz vor Korrosion der Bewehrung“)

Beim Kathodischen Korrosionsschutz handelt es sich um ein gemäss SN EN 12696 genormtes Verfahren (Verfahren 10.1 „Anlegen eines elektrischen Potentials“ gemäss SN EN 1504-10), welches wie folgt funktioniert:

Der Bewehrungsstahl ist im alkalischen Beton durch eine sehr dünne Passivschicht vor Korrosion geschützt. Dringen z.B. Chloride bis zur Bewehrung vor, kommt es bei Überschreiten eines kritischen Chloridgehalts und gleichzeitigem Vorhandensein von Feuchtigkeit und Sauerstoff zu einer lokalen Zerstörung dieser schützenden Schicht und in weiterer Folge zu Korrosion.

Der Korrosionsherd bildet dabei die Anode und der danebenliegende, noch passive Stahl, die Kathode. Ein Korrosionsstrom fliesst. Die Metallauflösung stellt die anodische, die Sauerstoffreaktion die kathodische Teilreaktion dar (vgl. untenstehende Abb.).

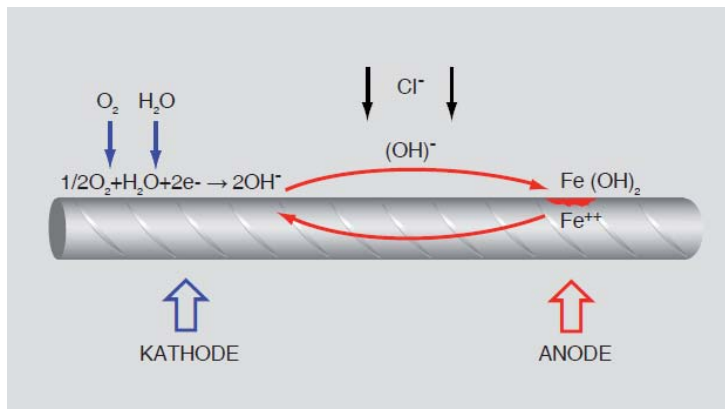


Abbildung 10: Darstellung des Korrosionsprozesses

Die leitende Verbindung besteht sowohl durch den Bewehrungsstahl als auch durch die Porenlösung des Betons.

Der kathodische Korrosionsschutz setzt dort an, wo in den elektrochemischen Vorgang der Korrosion eingegriffen werden kann. Durch Applikation eines Anodensystems z.B. an der Betonoberfläche, wird dem Korrosionsstrom ein Schutzstrom entgegengesetzt. Dieser Schutzstrom polarisiert den Bewehrungsstahl, sodass der Stahl thermodynamisch, elektrisch und chemisch praktisch nicht mehr korrodieren kann. Die an einer Stelle freigelegte Bewehrung wird an den Minuspol und die Anode an den Pluspol eines als Stromquelle dienenden Gleichrichters angeschlossen. Nach Einschalten der Stromquelle wird durch den Elektronenfluss die Bewehrung kathodisch polarisiert, so dass die Korrosion praktisch gestoppt wird; sekundär tritt langfristig eine pH-Wert-Erhöhung ein (Repassivierung der Bewehrung).

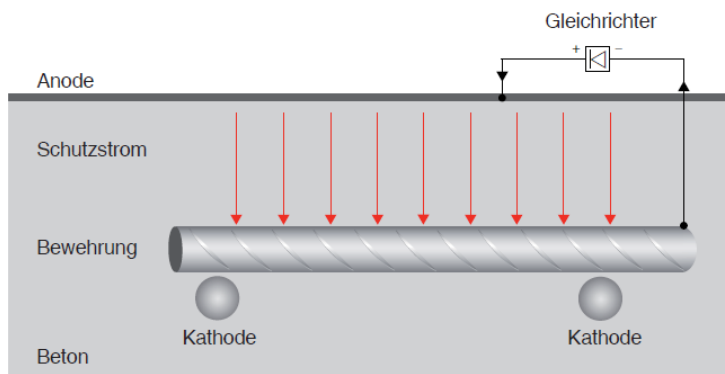


Abbildung 11: Wirkungsweise des Kathodischen Korrosionsschutzes



4.7 Bauprogramm

Zur Abschätzung der für die Instandsetzung der Querträger benötigten Bauzeit werden einerseits im Anhang 3 die benötigten Arbeitsschritte pro Träger / Variante untersucht, im Anhang 4 der Baufortschritt über einen Tunnelabschnitt dargestellt:

- Unterteilung des Tunnels in 5 autonome Bauabschnitte (-stellen) à ca. je 30 Träger.
- Aufgrund des laufenden Tunnelbetriebs (Verkehrssicherheit) „gleichzeitige“ Bearbeitung jeweils jeden 4. Trägers.
- Bei der Betrachtung der Bauabläufe werden keine Reserven berücksichtigt (es wird ein idealer Bauablauf angenommen).
- Es wird von einer 5 Tagewoche ausgegangen (Montag- bis Freitagnacht).
- Vor Beginn resp. nach Abschluss der baulichen Instandsetzungsarbeiten ist für die Provisorien BSA jeweils eine Nacht reserviert.

Die im Kapitel 5 ausgewiesenen Dauer der Bauarbeiten sind als Richtgrössen zu verstehen, die vor allem dem Variantenvergleich dienen. Für die Bestvariante müssen die Bauzeiten im Rahmen des EK noch detaillierter ausgearbeitet werden.



5 Variantenbeschreibung QT

Hinsichtlich der getroffenen Randbedingungen / Annahmen vgl. Kap. 4

5.1 Variante 0 „Keine Massnahmen“

Grundidee: Eine umfassende Instandsetzung der Querträger ist erst zum Zeitpunkt des 8-Spurausbaus vorgesehen. Nach dem Bau der zusätzlichen Fahrbahnfläche im Bereich des TSH (aktuell ist nördlich des Tunnels der Bau einer Brücke, welche die FBBS aufnimmt, geplant) kann jeweils 1 Tunnelröhre komplett vom Verkehr freigespielt werden. Eine umfassende Instandsetzung wäre dann ohne grössere Behinderung Dritter und ohne teure Provisorien möglich.

Zum Schutz der Verkehrsteilnehmer ist durch den NSNW einzig das Abtragen der sich abzeichnenden Betonabplatzungen vorgesehen. Weitere Instandsetzungsarbeiten Bau wären bis 2037/38 keine geplant.

Ein Fortschreiten der Schädigung an den Vorspannkabeln / der Bewehrung ist aufgrund der statischen Situation (Erfüllungsgrad n teilweise nur wenig über 1.0) nicht zulässig. Synergien für die Gesamterneuerung BSA 2025, die sich aus der kombinierten Umsetzung BSA und BAU ergeben würden, können so nicht genutzt werden.

Fazit: Aufgrund der zentralen Funktion des Bauwerks für Schiene und Strasse ist diese Variante keine Option und wird deshalb nicht weiter verfolgt.

5.2 Variante 1 „Periodische lokale Betoninstandsetzung“

Grundidee: Eine umfassende Instandsetzung der Querträger ist, wie bei der Variante 0, erst zum Zeitpunkt des 8-Spurausbaus vorgesehen. Die dannzumal, aufgrund der Zunahme des Schädigungsgrades notwendige grössere Interventionstiefe könnte durch den Minderaufwand und eine verbesserte Ausführungsqualität, welche sich aus einer mehrmonatigen Tunnelvollsperrung ergeben, kompensiert werden.

Die Querträger müssen bis dahin weiterhin halbjährlich durch den NSNW kontrolliert werden. In Abhängigkeit vom Umfang und der Anzahl der Abplatzungen sind Reprofilierungsarbeiten vorzunehmen (nur lokale Instandsetzung der abgeplatzten Flächen / Stellen)¹⁹.

Variantenbeschreibung

- Inspektion der Querträger gemäss heutigem Intervall 2x pro Jahr mittels Abklopfen (Tätigkeit kann / muss gegebenenfalls im Laufe der Jahre angepasst werden).
- Die Erfahrung der vergangenen Jahre zeigt, dass durch Abplatzungen „laufend“ Bewehrungseisen und Vorspannkabel freigelegt werden. Diese sind jährlich resp. spätestens nach 2 Jahren wie folgt instand zu setzen (der Massnahmenumfang entspricht im Wesentlichen, bis auf das zusätzliche Nacharbeiten des Betons, demjenigen von 2017):
 - Komplettes Abklopfen / Abtragen des hohlliegenden Betons.
 - Sorgfältiges Nacharbeiten des Betons entlang der korrodierenden Bewehrung resp. Kabel mittels Elektroschraubendreher bis ca. 5 - 10 cm in den nicht korrodierten Bereich (keine Beschädigung der Bewehrung / Kabel, der Injektionsmörtel in den Hüllrohren sollte möglichst nicht entfernt werden).
 - Sandstrahlen (mit Absaugung) der freiliegenden Stahlflächen (Bewehrung / Drähte Vorspannkabel).

¹⁹ Die 2017 vorgenommenen Instandsetzungsarbeiten haben nicht den Anspruch, die Vorspannkabel / Bewehrung für die nächsten ca. 15 Jahre zu schützen („Vorgabe“ an den Unternehmer: Temporärer Korrosionsschutz für 3 - 4 Jahre). Die Arbeiten sind wie folgt durchgeführt worden: Untergrundvorbereitung mittels Sandstrahlen, Applikation einer Haftschrämme, Reprofilierung mit einem Reparaturmörtel R4 mit Korrosionsinhibitoren.



- Aufbringen einer zementösen Haftschrämme (als zementöser Schutzanstrich der Bewehrung / Vorspannkabel und zur Verbesserung des Haftverbunds²⁰ zwischen Altbeton und Reprofiliermörtel).
- Einbauen eines zementösen Reprofiliermörtels der Klasse R4 gemäss SN EN 1504-3, Betondeckung der Bewehrung / Vorspannkabel 55 ± 10 mm (min. 45 mm).

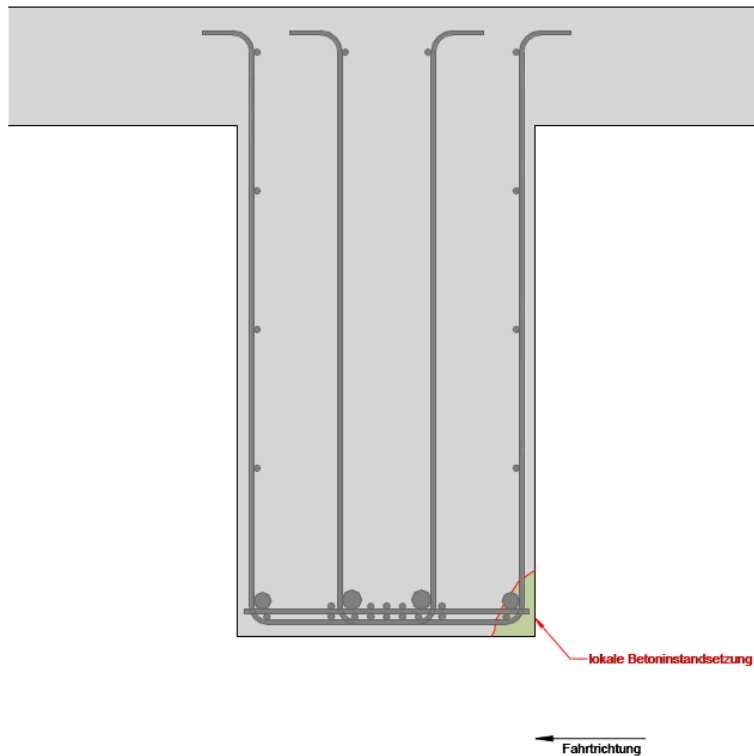


Abbildung 12: Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 1



Foto 13: Sandstrahlen des Betonuntergrundes / Bewehrung 2017



Foto 14: Reprofilierung Abplatzung 2017

²⁰ Eine einwandfreie Untergrundvorbereitung mit einem Vornässen des Untergrundes während 24 Stunden ist aufgrund der Örtlichkeit (Sperrfenster) nicht möglich.



BSA

Die BSA ist aufgrund des Massnahmenumfangs nur am Rande von den Inspektions- und Instandsetzungsarbeiten betroffen. Damit aber die Zugänglichkeit zu der beschädigten Stelle resp. die Ausführungsqualität sichergestellt werden kann, ist punktuell ein Demontieren / Wiedermontieren von Anlagenteilen sicher notwendig.

Bauzeit

Es ist bis 2037/38 mit einer beschränkten Anzahl Sperrnächten pro Jahr zu rechnen.

Beurteilung

Vorteile:

- Kurze Bauzeiten mit entsprechend geringen Verkehrsbehinderungen bis zum Zeitpunkt der Vollsperrung (8-Spurausbau).

Nachteile:

- Halbjährliche Kontrolltätigkeit des NSNW notwendig, damit die Verkehrssicherheit möglichst gewährleistet ist.
- Ohne umfassende Schutzmassnahmen wird in den nächsten Jahren durch die weitergehende Chloridbeaufschlagung die kritische Chloridkonzentration weiter ins Trägerinnere wandern und Bewehrungen resp. Vorspannkabel erreichen, die heute noch alkalisch geschützt sind. Die Massnahmen für die Instandsetzung 2037/38 werden vom Umfang her massiv grösser sein, mit entsprechenden Kostenfolgen. Eine tragsicherheitsrelevante Schädigung einzelner Träger ist zu erwarten (wobei es im Einzelfall schwierig / aufwendig sein wird, diese wirklich abschliessend zu erkennen). Statische Ertüchtigungsmassnahmen wären die Folge (Zeitpunkt unklar).
- Synergien, die sich aus der notwendigen „BSA - Gesamterneuerung 2025“ ergeben, können nicht genutzt werden.
- Es ist zu erwarten, dass auch Bereiche, die bereits instand gesetzt wurden, im Laufe der Zeit sicher nochmals be- resp. überarbeitet werden müssen (die Massnahmen können aufgrund der geringen Interventionstiefe nicht den Anspruch auf eine „lange“ Lebensdauer haben).
- „Hohe“ Instandsetzungskosten.

Investitionskosten (+/- 30%, Preisbasis 01.03.2019, exkl. Unvorhergesehenem und MwSt., Bedingungen gemäss Kap. 4.5 „Kostenschätzung“ und untenstehende Annahmen)

CHF 16.3 Mio.

Annahmen:

- Laufende Instandhaltung bis 2037/38 (Fertigstellung 8-Spurverbreiterung im Bereich TSH):
 - Lokale Instandsetzungsarbeiten jedes 2. Jahr (analog 2017).
 - Halbjährliche Kontrolle der QT durch NSNW.
- Die QT müssen 2037/38 teilweise statisch verstärkt werden: 10% der Träger à 100'000.-.



5.3 Variante 2 „Umfassende Betoninstandsetzung mit Oberflächenschutzsystem“

Grundidee: Der mit Chloriden belastete Beton wird soweit abgetragen, dass auf Bewehrungsniveau eine Konzentration von ca. $\leq 0.8 \text{ M\%/Z}$ verbleibt. Nach dem erfolgten Reprofilieren wird der ganze Querträger mit einer hydrophobierenden Imprägnierung (Verfahren 1.1) geschützt.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch das Repassivieren (und die so erzeugte Potentialänderung) der im unteren Trägerbereich liegenden aktuell korrodierenden Bewehrung diejenige im höher liegenden Trägerbereich, die ebenfalls im chloridbelasteten Beton eingebettet sind ($\leq 0.8 \text{ M\%/Z}$), zu korrodieren beginnt. Die Erfahrung zeigt, dass es, sollte wirklich Korrosion initiiert werden, aufgrund der vorliegenden Randbedingungen nur zu einem sehr langsamen Korrosionsfortschritt kommt.

Mit der Umsetzung dieser Variante soll 2025 eine umfassende Instandsetzung der Querträger erreicht werden.

Variantenbeschreibung

- Anordnung einer Musterfläche „Hydrophobierende Imprägnierung“, damit das Erreichen der gewünschten Anforderungen während der Ausführung sichergestellt werden kann (möglichst vor resp. zu Beginn Phase 41):
Die Querträger sind sehr stark verschmutzt. Mittels einer grösseren Musterfläche soll der notwendige Reinigungsgrad der Betonoberfläche bestimmt werden, damit mit der geplanten Tiefenhydrophobierung die flächendeckende wasserabstossende Wirkung (Abperleffekt), eine Eindringtiefe von mindestens 10 mm (Klasse II)²¹ und eine Reduktion der Wasseraufnahme um mindestens 50% (gemessen an Bohrkernen) erreicht wird. Im Weiteren kann auch die für die Erzielung der gewünschten Wirkung notwendige Menge des Produkts (Wirkstoffmenge), die geeignete Applikationsmethode, etc. verifiziert werden.
- Zusätzliche Zustandserfassung / -beurteilung der Träger zur spezifischen Festlegung der Abtragsfläche / -tiefe.
- Erstellen Provisorien BSA.
- Betonabtrag mittels HDW, Abtragstiefe in Abhängigkeit von der Betondeckung und der Chloridkonzentration auf Bewehrungstiefe.
- Untergrundvorbereitung (nasses Vlies zur „Vornässung“ des Betons, mit Kunststoffolie vor dem vorzeitigen Austrocknen durch den Fahrtwind geschützt / Reinigung mit Wasserhochdruck).
- Reprofilierung mit einem Reprofilermörtel der Klasse R4 (gemäss SN EN 1504-3). Mit einem leichten Überprofil wird eine Betondeckung von 55 mm sichergestellt.
- Reinigung des gesamten Trägers mit Wasserhochdruck (insbesondere des Altbetons).
- Vollflächiges Aufbringen einer hydrophobierenden Imprägnierung (Verfahren 1.1/1.3 gemäss SN EN 1504-2).

²¹ Aufgrund des zu erwartenden dichten Betons ist eine Eindringtiefe von 10 mm nicht zu erwarten (das zur Anwendung kommende Produkt muss aber die normativen Vorgaben (Prüfung an einem normierten Beton) erfüllen).

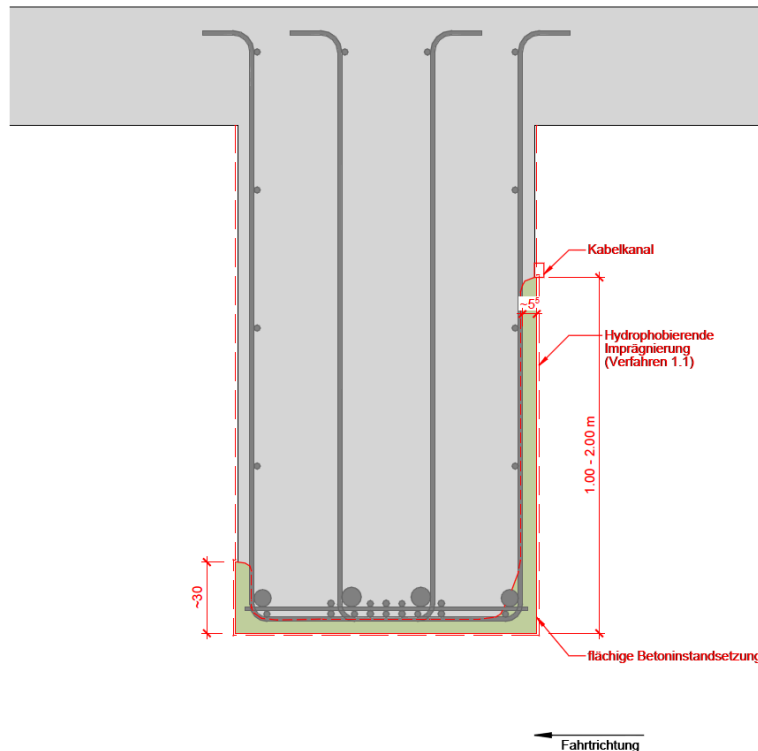


Abbildung 13: Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 2

Bauzeit 2025

Es ist für die Instandsetzung der QT (exkl. Vor- und Nacharbeiten BSA) mit einer Bauzeit von ca. 2 x 28 Wochen zu rechnen.

Beurteilung

Vorteile:

- Eine spezielle Überwachung der Querträger ist nach erfolgter Instandsetzung nicht mehr notwendig.
- Im Grundsatz handelt es sich bei dieser Variante um eine dauerhafte, bewährte Lösung mit einer Lebensdauer > 50 Jahre (gilt für die eigentliche Betoninstandsetzung, die hydrophobierende Imprägnierung muss hingegen periodisch erneuert werden).
- „Tiefe“ Instandsetzungskosten.

Nachteile:

- Die Arbeiten sind sehr langwierig. Eine Etappierung der Abtrags- und Reprofilierarbeiten ist eventuell, im Falle grosser Abtragstiefen, aus statischen Gründen notwendig.
- Aufgrund der engen Bewehrung im Bereich der Trägeruntersicht ist ein Abtrag nur bis max. Mitte der unteren Längsbewehrungslage möglich. Tiefer eingedrungene Chloride können nicht entfernt werden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass dadurch ein laufender Korrosionsprozess nicht gestoppt wird.
- Durch das eng aufeinander abgestimmte Zusammenspiel der einzelnen Arbeitsschritte BAU und BSA (dies unter dem Aspekt der Bauzeitoptimierung) muss die hydrophobierende Imprägnierung relativ rasch nach der Reprofilierung aufgetragen werden (Untergrundfeuchtigkeit darf i.d.R. nicht über ca. 5% betragen).
- Die hydrophobierende Imprägnierung muss ca. alle 15 Jahre erneuert werden.



Investitionskosten (+/- 30%, Preisbasis 01.03.2019, exkl. Unvorhergesehenem und MwSt., Bedingungen gemäss Kap. 4.5 „Kostenschätzung“ und untenstehende Annahmen)

CHF 11.8 Mio.

Annahmen:

- Eine gegebenenfalls aus statischen Gründen notwendige Etappierung der Arbeiten ist nicht berücksichtigt.
- Durchschnittliche Betonabtragstiefe: 45 mm

5.4 Variante 3 „Oberflächenschutzsystem“

Grundidee: Der visuell resp. mittels Abklopfen feststellbar geschädigte Beton wird analog Variante 1 instand gesetzt. Um den weiteren Chlorideintrag wie auch das weitere Eindringen der Karbonatisierungsfront zu unterbinden, werden die Querträger mit einer „Beschichtung mit erhöhter Dichtigkeit“ (Prinzip 1, Verfahren 1.3) versehen.

Mit der Umsetzung dieser Variante soll 2025 eine umfassende Instandsetzung der Querträger erreicht werden.

Variantenbeschreibung

- Zur Erreichung der gewünschten Ziele sollte, analog der Variante 2, eine Musterfläche „Oberflächenschutzsystem“ erstellt werden (möglichst vor resp. zu Beginn Phase 41).
- Flächiges Abklopfen der Trägerflächen zwecks Auffindung von Betonfehlstellen (Hohlstellen, Abplatzungen, Kiesnester).
- Lokale Instandsetzung (Betonabtrag mittels HDW / Reprofilierung mit Reparaturmörtel R4).
- Vollflächige Applikation einer Beschichtung (C) mit erhöhter Dichtigkeit (Verfahren 1.3 gemäss SN EN 1504-2):
 - Zementhautabtrag mit Wasserhochdruck
 - Ausgleichsspachtelung (2x)
 - (hydrophobierende Imprägnierung)
 - Deckanstrich (2x)

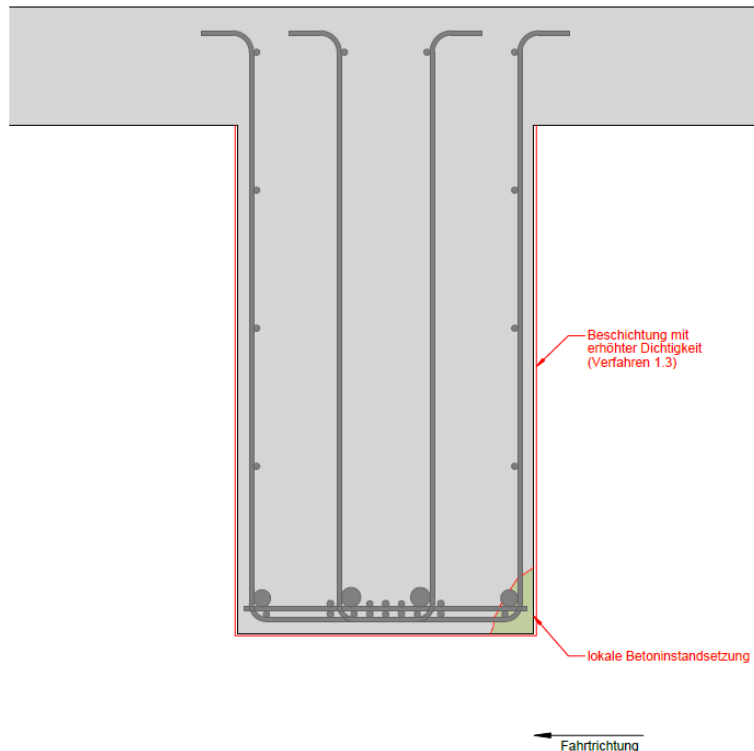


Abbildung 14: Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 3

Bauzeit 2025

Es ist für die Instandsetzung der QT (exkl. Vor- und Nacharbeiten BSA) mit einer Bauzeit von ca. 2 x 13 Wochen zu rechnen.

Beurteilung

Vorteile:

- Weiterer Schadstoffeintrag wird unterbunden.
- „Tiefe“ Instandsetzungskosten.
- Aufhellung des Tunnels durch geeignete Wahl der Beschichtung (Farbton).
- Kurze Bauzeit 2025.

Nachteile:

- Die bereits in den Beton infiltrierten Chloride werden eingeschlossen. Aufgrund der hohen Chloridkonzentrationen ist es möglich, dass die mit der Beschichtung beabsichtigte Austrocknung des Betons nicht ausreichend ist und der Korrosionsprozess weiter fortschreitet.
- Bauteilzustand unter der Beschichtung kaum noch prüfbar (Kontrollierbarkeit ist nicht gegeben → eher „gefährliche“ Variante).
- Beschränkte Lebensdauer der Beschichtung: ca. 20 Jahre.

Investitionskosten (+/- 30%, Preisbasis 01.03.2019, exkl. Unvorhergesehenem und MwSt., Bedingungen gemäss Kap. 4.5 „Kostenschätzung“ und untenstehende Annahmen)

CHF 12.0 Mio.

Annahmen:

-



5.5 Variante 4 „KKS - Titanbänder“

Grundidee: Durch das Aufbringen eines Schutzstroms wird die Bewehrung / Vorspannung dauerhaft geschützt. Die Stromabgabe erfolgt über Titanbänder, welche direkt auf die Querträgeroberfläche montiert und anschliessend in Mörtel eingebettet werden.

Mit der Umsetzung dieser Variante soll 2025 eine umfassende Instandsetzung der Querträger erreicht werden.

Variantenbeschreibung

- Anordnung einer Musterfläche (Funktionsmuster, ca. „halber“ Querträger), damit das Erreichen der gewünschten Anforderungen (Optimierung) während der Ausführung sichergestellt werden kann (in Phase 32). Hinsichtlich Eignung der Variante gibt es keine technischen „Vorbehalte“.
- Flächiges Abklopfen der Trägerflächen zwecks Auffindung von Betonfehlstellen (Hohlstellen, Abplatzungen, Kiesnester).
- Lokale Instandsetzung (Betonabtrag mittels HDW / Reprofilierung mit einem KKS - geeigneten Reparaturmörtel).
- Aufrauen der Betonoberfläche mittels HDW (Rautiefe > 5 mm) im Bereich der geplanten KKS - Installation.
- Montieren der Titanbänder (Ausrichtung parallel zur Trägerachse, Abstand 15 - 20 cm).
- Einbau des Monitoringsystems (Referenzelektroden / Strommessproben)
- Erstellen der elektrischen Anschlüsse an Bewehrung und Anode (Titanbänder).
- Einbetten (Einspritzen) der Anode in einen KKS geeigneten Mörtel (z.B. Sika Monotop -412 N oder gleichwertig).
- Reinigung des gesamten Trägers mit Wasserhochdruck (insbesondere des Altbetons).
- Vollflächiges Aufbringen einer hydrophobierenden Imprägnierung (Verfahren 1.1/ 2.1²² gemäss SN EN 1504-2).
- Verdrahten sämtlicher elektrischer Anschlüsse.
- Installation der Schutzstromgeräte.
- Inbetriebnahme des KKS - Systems.

²² Mit der hydrophobierenden Imprägnierung kann der Feuchtigkeitsgehalt im Beton nicht so stark abgesenkt werden, dass der KKS nicht mehr funktioniert.

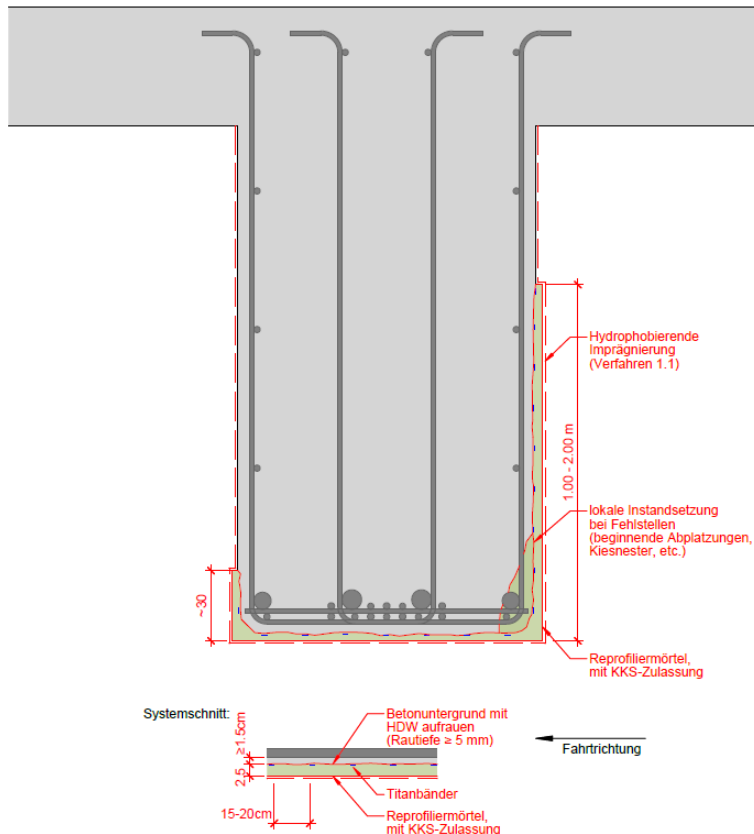


Abbildung 15: Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 4

Bauzeit 2025

Es ist für die Instandsetzung der QT (exkl. Vor- und Nacharbeiten BSA) mit einer Bauzeit von ca. 2 x 20 Wochen zu rechnen.

Beurteilung

Vorteile:

- Dauerhafte Instandsetzungsvariante mit einer Lebensdauer des Anodensystems von > 50 Jahren, welche überwachbar ist. Der Korrosionsprozess wird mit dem Anlegen des Schutzstroms „sofort“ gestoppt. Die Chloride müssen nicht entfernt werden.
- Durch den Schutzstrom stellt sich ein sekundärer Schutzmechanismus ein: Die Chloridionen wandern von der Bewehrung / Vorspannung langsam weg Richtung Anode. Nach einigen wenigen Jahren ergibt sich so ein Pufferabstand. Bei einem Ausfall des KKS dauert es deshalb einige Monate, bis die Chloride wieder in kritischer Konzentration zu der Bewehrung diffundiert sind und der Korrosionsprozess von neuem beginnt.
- Schutzsystem ist regelbar (Stromstärke).
- Titananoden sich durch Reprofiliermörtel auch gegen mechanische Einwirkungen gut geschützt.
- Die Schutzwirkung ist kontrollierbar.
- „Tiefe“ Instandsetzungskosten.

Nachteile:

- Die Arbeiten dauern eher lange.
- Im Bereich der geschützten Fläche ergibt sich systembedingt ein leichtes Überprofil von ca. 3 cm (Mehrgewicht kann hingegen vernachlässigt werden).
- Die Lage der verlegten Titanbänder ist von „ausen“ nicht mehr sichtbar. Dies muss bei den nachfolgend geplanten Installationen (primär BSA) entsprechend berücksichtigt werden (konse-



quente Verwendung von elektrisch isolierten Dübeln, evtl. lagegenaues Versetzen der Titanbänder). Jedes Titanband ist redundant angeschlossen.

- Die elektrischen Installationen, das Schutzstromgerät und einzelne Referenzelektroden, müssen ca. alle 15 - 20 Jahre ersetzt werden.
- Durch eine entsprechende Überwachung ist die Gefahr eines "Überschutzes der Spannglieder" (Gefährdung für die Vorspannung durch Wasserstoffbildung) zu vermeiden²³.

Investitionskosten (+/- 30%, Preisbasis 01.03.2019, exkl. Unvorhergesehenem und MwSt., Bedingungen gemäss Kap. 4.5 „Kostenschätzung“ und untenstehende Annahmen)

CHF 11.7 Mio.

Annahmen:

- Teilersatz der elektrischen Installationen (Annahme: 6 Schutzstromgeräte²⁴ à 5'000.-).
- Kosten Musterfläche: 70'000.-
- Monitoring: 6'000.-/Jahr
- Stromkosten: 90.-/1000 m² und Jahr

5.6 Variante 5 „KKS - Titanstabanoden“

Grundidee: Durch das Aufbringen eines Schutzstroms wird die Bewehrung / Vorspannung dauerhaft geschützt. Die Stromabgabe erfolgt über Titananoden, welche in die Querträger versetzt werden.

Mit der Umsetzung dieser Variante soll 2025 eine umfassende Instandsetzung der Querträger erreicht werden.

Variantenbeschreibung

- Anordnung einer Musterfläche (ca. „halber“ Querträger), damit geprüft werden kann, ob die gewünschte Schutzwirkung wirklich auch die untersten Bewehrungsstäbe erreicht (in Phase 32). Gleichzeitig ist dann auch mittels Georadar zu prüfen, ob die tieferliegenden Vorspannkabel und aufgebogenen Bewehrungsseisen detektiert werden können.
- Flächiges Abklopfen der Trägerflächen zwecks Auffindung von Betonfehlstellen (Hohlstellen, Abplatzungen, Kiesnester).
- Lokale Instandsetzung (Betonabtrag mittels HDW / Reprofilierung mit einem KKS - geeigneten Reparaturmörtel).
- Anzeichnen der Bohrlöcher (Bedingung: durch die Bohrungen darf es zu keiner Beschädigung der Vorspannung, der aufgebogenen Längs- und der Bügelbewehrung kommen).
- Erstellen der Bohrlöcher im Abstand 15 - 20 cm (unteres Lage lange Löcher), obere Lagen im Raster 30 x 30 cm (Tiefe ca. 15 cm).
- Versetzen der Anoden und Verpressen der Bohrlöcher.
- Einbau des Monitoringsystems (Referenzelektroden / Strommessproben)
- Erstellen der elektrischen Anschlüsse an Bewehrung und Anode.
- Reinigung des gesamten Trägers mit Wasserhochdruck (insbesondere des Altbetons).
- Vollflächiges Aufbringen einer hydrophobierenden Imprägnierung (Verfahren 1.1 / 2.1 gemäss SN EN 1504-2).
- Verdrahten sämtlicher elektrischer Anschlüsse.
- Installation der Schutzstromgeräte.

²³ Die KKS - Anwendung ist aber explizit auch für vorgespannte Bauwerke zugelassen.

²⁴ Es ist vorgesehen, bei jedem Fluchtweg ein entsprechendes Gerät zu montieren (Vorabklärung mit BSA erfolgt).

- Inbetriebnahme des KKS - Systems.

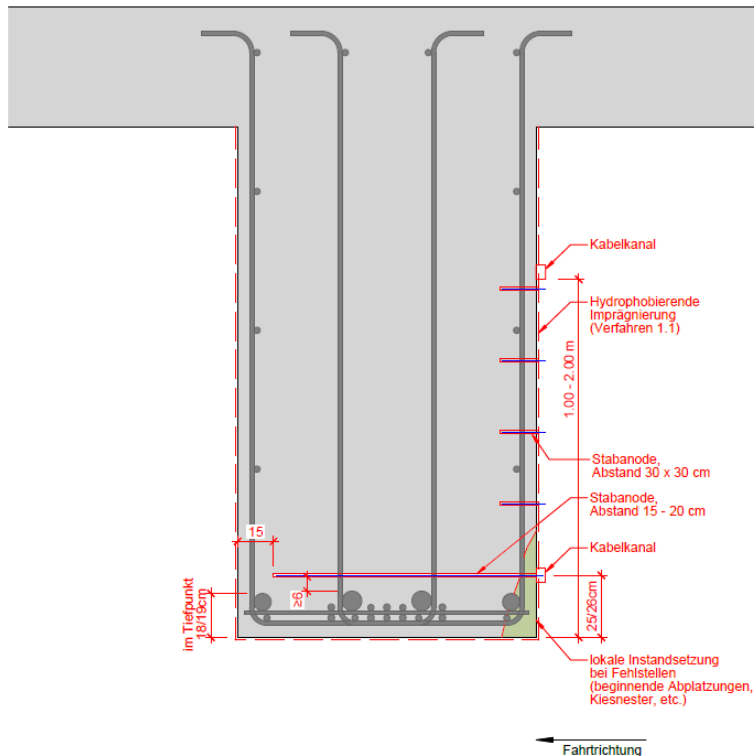


Abbildung 16: Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 5

Bauzeit 2025

Es ist für die Instandsetzung der QT (exkl. Vor- und Nacharbeiten BSA) mit einer Bauzeit von ca. 2 x 25 Wochen zu rechnen.

Beurteilung

Vorteile:

- Dauerhafte Instandsetzungsvariante mit einer Lebensdauer des Anodensystems von > 50 Jahren, welche überwachbar ist. Der Korrosionsprozess wird mit dem Anlegen des Schutzstroms „sofort“ gestoppt. Die Chloride müssen nicht entfernt werden.
- Durch den Schutzstrom stellt sich ein sekundärer Schutzmechanismus ein: Die Chloridionen wandern von der Bewehrung / Vorspannung langsam weg Richtung Anode. Nach einigen wenigen Jahren ergibt sich so ein Pufferabstand. Bei einem Ausfall des KKS dauert es deshalb einige Monate, bis die Chloride wieder in kritischer Konzentration zu der Bewehrung diffundiert sind und der Korrosionsprozess von neuem beginnt.
- Schutzsystem regelbar (Stromstärke).
- Eigentliche Titananoden sind ideal gegen mechanische Einwirkungen geschützt.
- (reduzierte Emissionen im Tunnel aufgrund geringerem HDW - und Spritzmörteleinsatz).
- Die Schutzwirkung ist kontrollierbar.

Nachteile:

- Die Arbeiten dauern lange.
- Vor der Ausführung der Musterfläche kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob sich die gewünschte Wirkung auch an der Bewehrung der Trägeruntersicht einstellt.
- Die elektrischen Installationen, das Schutzstromgerät und einzelne Referenzelektroden, müssen ca. alle 15 - 20 Jahre ersetzt werden.



- Es müssen sehr viele Bohrlöcher erstellt werden (ca. 250 Stk. pro Träger). Eine Beschädigung von Vorspannung und Bewehrung kann nicht absolut ausgeschlossen werden²⁵.
- Durch eine entsprechende Überwachung ist die Gefahr eines "Überschutzes der Spannglieder" (Gefährdung für die Vorspannung durch Wasserstoffbildung) zu vermeiden²⁶.
- „Sehr hohe“ Instandsetzungskosten.

Investitionskosten (+/- 30%, Preisbasis 01.03.2019, exkl. Unvorhergesehenem und MwSt., Bedingungen gemäss Kap. 4.5 „Kostenschätzung“ und untenstehende Annahmen)

CHF 23.6 Mio.

Annahmen:

- Teilersatz der elektrischen Installationen (Annahme: 6 Schutzstromgeräte²⁷ à 5'000.-).
- Kosten Musterfläche: 70'000.-
- Monitoring: 6'000.-/Jahr
- Stromkosten: 90.-/1000 m² und Jahr

5.7 Variante 6 „KKS - Leitfähiger Anstrich“

Grundidee: Durch das Aufbringen eines Schutzstroms wird die Bewehrung / Vorspannung dauerhaft geschützt. Die Stromabgabe erfolgt über eine leitfähige Beschichtung, welche auf den Querträger aufgebracht wird.

Mit der Umsetzung dieser Variante soll 2025 sollen die Querträger bis 2037/38 geschützt werden. Die Gesamtinstandsetzung ist dann im Rahmen des 8-Spurausbaus vorgesehen.

Variantenbeschreibung

- Anordnung einer Musterfläche (ca. „halber“ Querträger) zur Systemprüfung (in der Schweiz gibt es für eine solche Anwendung noch sehr wenig Erfahrung).
- Flächiges Abklopfen der Trägerflächen zwecks Auffindung von Betonfehlstellen (Hohlstellen, Abplatzungen, Kiesnester).
- Lokale Instandsetzung (Betonabtrag mittels HDW / Reprofilierung mit einem KKS - geeigneten Reparaturmörtel).
- Zementhautabtrag mit Wasserhochdruck
- Versetzen der Primäranoden.
- Aufspritzen des leitfähigen Anstrichs (optional Deckanstrich zur Aufhellung des Tunnels möglich).
- Einbau des Monitoringsystems (Referenzelektroden / Strommessproben)
- Erstellen der elektrischen Anschlüsse an Bewehrung und Anode.
- Reinigung des Restträgers mit Wasserhochdruck
- Aufbringen einer hydrophobierenden Imprägnierung (Verfahren 1.1 gemäss SN EN 1504-2) auf diejenigen Flächen, die mit keiner Beschichtung versehen sind.
- Verdrahten sämtlicher elektrischer Anschlüsse.

²⁵ Kleines Restrisiko bleibt trotz vorgängigem Detektieren der Vorspannkabel / aufgebogener Längsbewehrung mittels Georadar und der Verwendung von Bohrgeräten mit Abschaltautomatik.

²⁶ Die KKS - Anwendung ist aber explizit auch für vorgespannte Bauwerke zugelassen.

²⁷ Es ist vorgesehen, bei jedem Fluchtweg ein entsprechendes Gerät zu montieren (Vorabklärung mit BSA erfolgt).

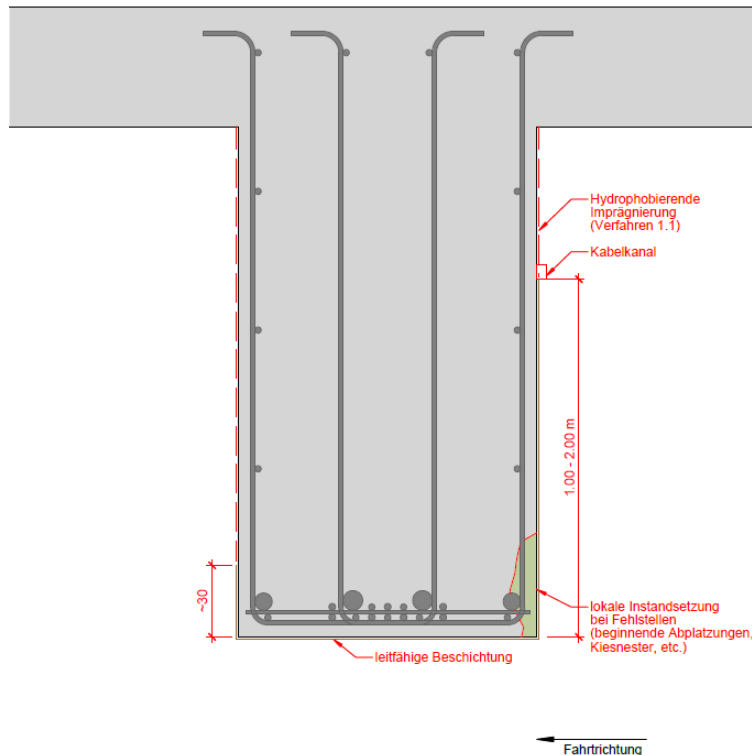


Abbildung 17: Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 6

Bauzeit 2025

Es ist für die Instandsetzung der QT (exkl. Vor- und Nacharbeiten BSA) mit einer Bauzeit von ca. 2 x 18 Wochen zu rechnen.

Beurteilung

Vorteile:

- Mit dieser Variante kann der Schutz der Querträger bis zum 8-Spurausbau sichergestellt werden. Die eigentlichen Instandsetzungsmassnahmen können anschliessend ohne Verkehrsbeeinflussung durchgeführt werden.
- Schutzsystem ist überwachbar und regelbar (es kann aber im Vergleich zu den Varianten 4 und 5 nur eine beschränkte Stromstärke aufgebracht werden).
- Die Schutzwirkung ist kontrollierbar.
- Die Bauzeit ist mittel.

Nachteile:

- Eine mechanische Beschädigung kann dazu führen, dass lokal kein Schutzstrom mehr aufgebracht werden kann (aber: kein flächiger Ausfall). Abstand der Primäranoden ca. 1.0 - 1.5 m.
- Beschränkte Lebensdauer (Dauerhaftigkeit) < 20 Jahre.
- Geringere Leistungsfähigkeit der Anode (im Vergleich zu den Varianten 4 + 5).
- Es ist eine elektrische Trennung zwischen BSA und der leitfähigen Beschichtung notwendig (kein Kurzschluss).
- In der Schweiz ist sehr wenig Erfahrung vorhanden.
- Durch eine entsprechende Überwachung ist die Gefahr eines "Überschutzes der Spannglieder" (Gefährdung für die Vorspannung durch Wasserstoffbildung) zu vermeiden²⁸. Gegenüber den Varianten 4 und 5 ist die Gefahr des Überschutzes aber wesentlich geringer.

²⁸ Die KKS - Anwendung ist aber explizit auch für vorgespannte Bauwerke zugelassen.



- Aufgrund der beschränkten Lebensdauer besteht hinsichtlich einer evtl. verzögerten Ausführung des 8-Spurausbaus keine terminliche Flexibilität.
- „Hohe“ Instandsetzungskosten.

Investitionskosten (+/- 30%, Preisbasis 01.03.2019, exkl. Unvorhergesehenem und MwSt., Bedingungen gemäss Kap. 4.5 „Kostenschätzung“ und untenstehende Annahmen)

CHF 16.6 Mio.

Annahmen:

- Kosten Musterfläche: 55'000.-
- Monitoring: 6'000.-/Jahr
- Stromkosten: 90.-/1000 m² und Jahr

5.8 Variante 7 „KKS - Zinkfolie“

Grundidee: Durch das Aufbringen einer Opferanode (Stromabgabe erfolgt durch Zinkauflösung) wird die Bewehrung / Vorspannung temporär geschützt.

Mit der Umsetzung dieser Variante soll 2025 sollen die Querträger bis 2037/38 geschützt werden. Die Gesamtinstandsetzung ist dann im Rahmen des 8-Spurausbaus vorgesehen.

Fazit: Aufgrund der unbekannten Dauerhaftigkeit, der Anfälligkeit auf Beschädigung und den grossflächigen Einsatz des umwelttechnisch nicht unproblematischen Zinks ist diese Variante keine Option und wird deshalb nicht weiter verfolgt.



6 Beurteilung der Varianten

Die Benotung erfolgt gemäss Arbeitspapier Bau 19 „Bewertung und Gewichtung der Varianten“ jeweils mit dem Punktesystem von 1 - 5 Punkten.

Da jedoch die zahlreichen Ziele und Kategorien unterschiedliche Bedeutung und Wertung haben, sind nachfolgend einige Möglichkeiten zur Benotung aufgeführt.

1	2	3	4	5
--	-	0	+	++
sehr teuer	lineare Verteilung			sehr günstigste
sehr teuer	teuer	mittlere Kosten	günstige	sehr günstigste
sehr schlechte Erfüllung	schlechte Erfüllung	normal, durchschnittliche Erfüllung	gute Erfüllung	sehr gute Erfüllung
keine Verschlechterung	geringe Verbesserung	mittlere Verbesserung	grosse Verbesserung	sehr grosse Verbesserung
sehr grosse Verschlechterung zu IST-Zustand	grosse Verschlechterung	mittlere Verschlechterung	geringe Verschlechterung	keine Verschlechterung zu IST-Zustand
sehr schlecht	schlecht	neutral	gut	sehr gut
sehr negativ	negativ	neutral	positiv	sehr positiv
sehr schwer	schwer	neutral	einfach	sehr einfach
sehr komplexe Lösung	komplexe Lösung	mittlere Lösung	einfache Lösung	sehr triviale Lösung
sehr grosses Risiko	grosses Risiko	mittleres Risiko	kleines Risiko	kein Risiko
sehr grosser Bedarf	grosser Bedarf	mittlerer Bedarf	geringer Bedarf	kein Bedarf
sehr lange Dauer	lange Dauer	mittlere Dauer	kurze Dauer	sehr kurze Dauer
sehr gering	gering	neutral	gross	sehr gross

Tabelle 3: Bewertungssystem

Erläuterung/ Anmerkungen zum Punkteschnitt:

- Jede Kategorie erhält als Summe eine Durchschnittswertung über die zahlreichen Ziele (Unterkriterien). Damit soll vermieden werden, dass Kategorien mit mehreren Zielen mehr Punkte (da eine Summe) erhalten, als Kategorien mit nur wenigen Zielen.
- Um zu vermeiden, dass unwesentliche, nicht relevante Themen übermässig in den Durchschnitt einfließen, können zwei Massnahmen ergriffen werden:
 - Bei Zielen ohne Relevanz ist der Verzicht auf eine Punkteverteilung möglich.
 - Es kann in der Summenzeile für eine Kategorie direkt eine Note als Durchschnitt eingetragen werden.
- Die jeweiligen Bewertenden tragen in der Spalte „Beurteilung“ ein, wie sie diese Punkte ermittelt haben und was die Beurteilungsmerkmale waren.

Die Varianten 0 und 7 werden, da es sich dabei effektiv um keine valablen Instandsetzungsmöglichkeiten handelt, nicht bewertet (Begründung vgl. Kap. 5).



Kategorien und Ziele		Beurteilung	Variante 1 Periodische lokale Betoninstandsetzung		Variante 2 Umfassende Betoninstandsetzung		Variante 3 Oberflächenschutzsystem		Variante 4 KKS - Titanbänder		Variante 5 KKS - Titanstabanoden		Variante 6 KKS - Leitfähiger Anstrich	
Technik	Bauen unter Verkehr N02 ²⁹	Beurteilung der Auswirkung auf den Verkehr. ➔-vgl. Kat. „Bauzeit“ / Bautechnische Risiken während der Bauausführung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Betriebliche (organisatorische) Massnahme bis 2037	Was sind an den QT für periodisch wiederkehrende Unterhaltsmassnahmen notwendig. ➔ Einteilung in „sehr geringen Bedarf“ bis „sehr grossen Bedarf“. (der bauliche Unterhalt wird unter dem Thema „Dauerhaftigkeit“ beurteilt)	sehr grosser Bedarf <ul style="list-style-type: none">laufende Überwachung durch NSNWperiodisch Durchführen von lokalen Betoninstandsetzungsmassnahmen im Rahmen des KBU (bei Abplatzungen)	1	sehr geringer Bedarf <ul style="list-style-type: none">nach erfolgter Betoninstandsetzung sind keine speziellen betrieblichen Massnahmen mehr notwendig	5	geringer Bedarf <ul style="list-style-type: none">reduzierte Überwachung zur Kontrolle Wirksamkeit der Instandsetzungsmassnahme (Kontrolle hinsichtlich neuer Abplatzungen)	4	mittlerer Bedarf <ul style="list-style-type: none">Überwachung / jährliche Kontrolle der KKS - Anlage	3	mittlerer Bedarf <ul style="list-style-type: none">Überwachung / jährliche Kontrolle der KKS - Anlage	3	mittlerer Bedarf <ul style="list-style-type: none">Überwachung / jährliche Kontrolle der KKS - Anlage	3
	Bautechnische Risiken während der Ausführung 2025	Zu beurteilen sind die Risiken infolge der Bautätigkeit und deren mögliche Konsequenzen ➔ Einteilung von „sehr grosses Risiko“ bis „kein Risiko“.	kleines Risiko <ul style="list-style-type: none">Gefahr, dass sich am Tag frischer Reprofiliermörtel löst und auf die Fahrbahn fällt	4	mittleres Risiko <ul style="list-style-type: none">in Abhängigkeit zum Chlorideintrag evtl. statisch relevante BetonabtragstiefenGefahr, dass sich am Tag frischer Reprofiliermörtel löst und auf die Fahrbahn fällt	3	kleines Risiko <ul style="list-style-type: none">Gefahr, dass sich am Tag frischer Reprofiliermörtel löst und auf die Fahrbahn fällt	4	kleines Risiko <ul style="list-style-type: none">Gefahr, dass sich am Tag frischer Reprofiliermörtel löst und auf die Fahrbahn fällt	4	mittleres Risiko <ul style="list-style-type: none">Verletzung von Vorspannkabeln / Bewehrungen durch Bohrtätigkeit	3	kleines Risiko <ul style="list-style-type: none">Gefahr, dass sich am Tag frischer Reprofiliermörtel löst und auf die Fahrbahn fällt	4
	Risiken im Hinblick auf Instandsetzung 2037	Beurteilung, welche Risiken sich aufgrund der jetzt umgesetzten Massnahme im Hinblick auf den Instandsetzungszeitpunkt 2037 ergeben ➔ Einteilung von „sehr grosses Risiko“ bis „kein Risiko“.	sehr grosses Risiko <ul style="list-style-type: none">statisch relevante Schäden am BW zu erwarten (nicht einfach umzusetzende Verstärkungsmassnahmen notwendig)	1	geringes Risiko <ul style="list-style-type: none">Umfassende Instandsetzung 2025 umgesetzt	4	grosses Risiko <ul style="list-style-type: none">grosse Wahrscheinlichkeit, dass der Korrosionsprozess nicht komplett gestoppt werden kann und weitere Instandsetzungsmassnahmen notwendige werden	2	geringes Risiko <ul style="list-style-type: none">Umfassende Instandsetzung 2025 umgesetzt	4	geringes Risiko <ul style="list-style-type: none">Umfassende Instandsetzung 2025 umgesetzt	4	mittleres Risiko <ul style="list-style-type: none">Erfahrung fehlen in der CH	3
	Dauerhaftigkeit	Beurteilung der Dauerhaftigkeit (Nachhaltigkeit) der getroffenen Instandsetzungsmassnahme inkl. des baulichen Unterhalts ➔ Einteilung von „sehr schlecht“ bis „sehr gut“.	sehr schlecht <ul style="list-style-type: none">aufgrund geringer Interventionstiefe (CI¹ wird nur im Bereich von visuell feststellbaren Fehlstellen entfernt) wird mit einer kurzen „Lebensdauer“ der lokalen Betoninstandsetzungsmassnahme gerechnetUmsetzung einer „dauerhaften“ Massnahme 2037 zwingend notwendig	1	mittel <ul style="list-style-type: none">Erneuerung der hydrophobierenden Imprägnierung nach ca. 15 Jahrenbewährte Methode der Betoninstandsetzungaufgrund der dichten Bewehrung an der Trägeruntersicht ist nicht gesichert, dass der chloridbelastete Beton ausreichend entfernt werden kann	3	schlecht <ul style="list-style-type: none">Beschichtung muss jeweils 15 - 20 Jahren aufwendig ersetzt werdenes wird erwartet, dass die Korrosionsprozesse weiter gehen und es zu weiteren Abplatzungen kommt	2	sehr gut <ul style="list-style-type: none">Erneuerung der hydrophobierenden Imprägnierung nach ca. 15 JahrenErneuerung der elektrischen Installationen nach ca. 15 Jahren notwendigBewährte Methode, überwachbar	5	sehr gut <ul style="list-style-type: none">Erneuerung der hydrophobierenden Imprägnierung nach ca. 15 JahrenErneuerung der elektrischen Installationen nach ca. 15 Jahren notwendigBewährte Methode, überwachbar	5	mittel <ul style="list-style-type: none">Leitfähige Beschichtung muss spätestens 20 Jahren durch eine dauerhafte Lösung ersetzt werdenUmsetzung dauerhafte Massnahme 2037 zwingend notwendig	3
Punkteschnitt ohne Gewichtung für „Bau (Technik)“ [Note] *			1.8	3.8	3.0	4.0	3.8	3.3						

²⁹ Aus Sicht BAU gibt es keine variantenspezifischen Risiken, die eine Verkehrsfreigabe am Morgen verhindern würde (hingegen ist schon denkbar, dass z.B. eine Hebebühne einen Defekt erleidet → diese Risiken ist mit organisatorischen Massnahmen zu begegnen).

Kategorien und Ziele		Beurteilung	Variante 1 Periodische lokale Betoninstandsetzung		Variante 2 Umfassende Betoninstandsetzung		Variante 3 Oberflächenschutzsystem		Variante 4 KKS - Titanbänder		Variante 5 KKS - Titanstabanoden		Variante 6 KKS - Leitfähiger Anstrich	
BSA	Provisorien für Massnahmenumsetzung BAU	Beurteilung des Aufwandes von „sehr grosser Bedarf“ bis „kein Bedarf“	kein Bedarf • Provisorien BSA sind nur in Einzelfällen notwendig	5	sehr grosser Bedarf • Für die Umsetzung der Massnahmen BAU sind die QT komplett von den BSA „freizuräumen“	1	sehr grosser Bedarf • Für die Umsetzung der Massnahmen BAU sind die QT komplett von den BSA „freizuräumen“	1	sehr grosser Bedarf • Für die Umsetzung der Massnahmen BAU sind die QT komplett von den BSA „freizuräumen“	1	sehr grosser Bedarf • Für die Umsetzung der Massnahmen BAU sind die QT komplett von den BSA „freizuräumen“	1	sehr grosser Bedarf • Für die Umsetzung der Massnahmen BAU sind die QT komplett von den BSA „freizuräumen“	1
	Gesamterneuerung BSA 2025	Beurteilung der Synergien, die sich aus der terminlich abgestimmten Massnahmenrealisierung „Bau“ und „BSA“ ergeben von „sehr gering“ bis „sehr gross“	sehr gering • es können praktisch keine Synergien genutzt werden (da keine Provisorien benötigt werden)	1	sehr gross • die Provisorien können auch für die Ersatzmassnahmen BSA genutzt werden	5	sehr gross • die Provisorien können auch für die Ersatzmassnahmen BSA genutzt werden	5	sehr gross • die Provisorien können auch für die Ersatzmassnahmen BSA genutzt werden	5	sehr gross • die Provisorien können auch für die Ersatzmassnahmen BSA genutzt werden	5	sehr gross • die Provisorien können auch für die Ersatzmassnahmen BSA genutzt werden	5
Punkteschnitt ohne Gewichtung für „BSA“ [Note]*				3.0		3.0		3.0		3.0		3.0		3.0
Verkehr	Verkehrssicherheit	Beurteilung Risiko aufgrund Bauwerkszustand auf den Verkehr. → Einteilung von „sehr grosses Risiko“ bis „kein Risiko“.	mittleres Risiko • Gefahr, dass sich Betonstücke von den QT lösen und auf die Fahrbahn fallen	3	kein Risiko	5	kleines Risiko • Gefahr, dass sich Betonstücke von den QT lösen und auf die Fahrbahn fallen	4	kein Risiko	5	kein Risiko	5	kein Risiko	5
		Beurteilung Risiko aufgrund Provisorien BSA auf den Verkehr. → Einteilung von „sehr grosses Risiko“ bis „kein Risiko“.	kein Risiko	5	geringes Risiko	4	geringes Risiko	4	geringes Risiko	4	geringes Risiko	4	geringes Risiko	4
	Verkehrshinderung (Bauzeit 2025)	Es werden lediglich die Differenzen zwischen den einzelnen Bauzeiten, nicht hingegen die Gesamtdauer beurteilt. → Einteilung von „sehr kurze Dauer“ bis „sehr lange Dauer“.	sehr kurze Dauer Geringer Zeitbedarf, da nur die Kontrollarbeiten NSNW und ca. alle 1 - 2 Jahre lokale Betoninstandsetzungsarbeiten vorgenommen werden.	5	sehr lange Dauer • 2 * 28 Wochen	1	kurze Dauer • 2 * 13 Wochen	4	mittlere Dauer • 2 * 20 Wochen	3	lange Dauer • 2 * 25 Wochen	2	mittlere Dauer • 2 * 18 Wochen	3
Punkteschnitt ohne Gewichtung für „Verkehr“ [Note] *				4.3		3.3		4.0		4.0		3.7		4.0
Total Punkte ohne Gewichtung				26		31		30		34		32		31
Kosten	Kosten über Zeitraum „2025 - 2037/38“ (+/-30%)	→ Einteilung über lineare Punkteverteilung (1 Pkt. teuerste Anlage, 5 Pkte. für die günstigste Instandsetzung).	CHF 16.3 Mio.	3.4	CHF 11.8 Mio.	4.9	CHF 12.0 Mio.	4.9	CHF 11.7 Mio.	5.0	CHF 23.6 Mio.	1.0	CHF 16.6 Mio.	3.3
Total Kosten [Note]				3.4		4.9		4.9		5.0		1.0		3.3
Aufwand je Punkt, ohne Gewichtung (gerundet)			62.7		38.1		40.0		34.4		73.8		53.5	

Tabelle 4: Bewertung der Varianten in Bezug auf die festgelegten Kriterien

* Ausschiesslich der Punkte, bei denen die Bewertung für alle Varianten identisch ist.



7 Sensitivitätsanalyse der Varianten

Im Folgenden werden die im Kap. 6 beurteilten Varianten nach einzelnen Hauptkriterien gewichtet.

Kriterien	Gewichtungsvarianten ³⁰			
		[%]		
	ungewichtet	BAU	BSA	Verkehr
BAU (Technik)	33.3	70	15	15
BSA	33.3	15	70	15
Verkehr	33.3	15	15	70
Total	100	100	100	100

Kosten	-	-	-	-
---------------	---	---	---	---

Tabelle 5: Übersicht Gewichtungsvarianten

Die Ergebnisse der Gewichtungsauswertung finden sich im Anhang 1.

Wie sich es sich auch bereits in der Variantenmatrix abgezeichnet hat, haben die Variante 2 mit der konventionellen Betoninstandsetzung und die KKS - Varianten 4 - 6 bei der Sensitivitätsanalyse sehr gut abgeschnitten. Da die Erneuerung der BSA ebenfalls in den nächsten Jahren ansteht, ergeben sich umfangreiche Synergien, die bei der Variante 1 und 6 nicht genutzt werden (eine Gesamtinstandsetzung der QT 2037/38 unter Vollsperrung weist deshalb auch in dieser Hinsicht nur noch einen beschränkten Vorteil auf).

Unter Berücksichtigung der Kosten stehen die Varianten 2 und 4 im Vordergrund. Der Antrag auf die Weiterverfolgung der Variante 4 erfolgt aus folgenden Gründen:

- KKS - System ist überwachbar.
- Der Korrosionsprozess wird mit dem Anlegen des Schutzstroms „sofort“ gestoppt (es besteht kein Risiko, dass durch eine ungenügende Chloridentfernung der Korrosionsprozess im „Verborgenen“ weiter fortschreitet³¹).
- Die Chloride müssen nicht entfernt werden, d.h. die eigentliche Tragstruktur wird durch keinen Betonabtrag geschwächt.
- Die Kosten sind vergleichbar (die Aufwendungen für das jährliche Monitoring / die Stromkosten sind vernachlässigbar).

Die INGE 8S empfiehlt, aus finanziellen aber insbesondere auch aus technischen Überlegungen die Variante 4 „KKS - Titanbänder“ weiterzuverfolgen.

³⁰ Übergewichtung eines Hauptkriteriums.

³¹ Aktive Lochfrasskorrosion führt nicht zwingend zu Abplatzungen, sondern kann „ohne“ visuelle Anzeichen an der Betonoberfläche weitgehend unbemerkt ablaufen.



8 Weitere Instandsetzungsmassnahmen

Bei der in den vorhergehenden Kapitel beschriebenen Arbeiten an den Querträgern handelt es sich um die Hauptinstandsetzungsmassnahme, mit der grössten Auswirkung auf den Verkehr und die BSA. Es sind aber am Tunnel noch weitere Massnahmen geplant:

8.1 Massnahmen aufgrund Bauteilzustand

- Instandsetzung der Tunnelrückwand: Die Stützkonstruktion weist über dem Bankett über längere Tunnelabschnitte grössere Hohlstellen und Abplatzungen auf. Im Weiteren ist die vorhandene Tunnelbeschichtung in Auflösung begriffen.

Es wird vorgeschlagen, die vorhandenen Betonschäden³² an der Tragstruktur instand zu setzen (HDW - Abtrag / Reprofilierung) und die Tunnelbeschichtung zu erneuern.

Die Betonarbeiten werden so terminiert, dass sie möglichst noch während der Instandsetzung der Querträger erfolgen können. Die Erneuerung der Beschichtung ist hingegen erst nach Abschluss der „Hauptarbeiten QT“ vorgesehen.

→ Die Massnahmenumsetzung hat einen Einfluss auf die Verkehrsführung und ist deshalb im Gesamtterminprogramm Kap. 4.2 berücksichtigt (Annahme: eigentliche Betoninstandsetzung im Schatten der QT - Instandsetzung, Aufbringen der Beschichtung nach Abschluss der QT - Instandsetzung).



Foto 15: Beschichtung Tunnelrückwand



Foto 16: Detailaufnahme Zustand Tunnelbeschichtung



Foto 17: Betonabplatzung Tunnelrückwand mit korrodierender Bewehrung



Foto 18: Detailaufnahme Betonabplatzung Tunnelrückwand

- Injektion der in einzelnen Querträgern vorhandenen Risse

Es ist vorgesehen, die teilweise noch nicht vollständig verfüllten Risse „fertig“ zu injizieren.

³² Die Betonabplatzungen / Hohlstellen werden durch ein strassenseitig eingelegtes Bewehrungsnetz verursacht (die Bewehrung hat keine statische Funktion).



Die Arbeiten werden so terminiert, dass sie noch während der Instandsetzung der Querträger erfolgen können.

→ Die Massnahmenumsetzung hat keinen Einfluss auf die Verkehrsführung und ist deshalb in den Terminprogrammen nicht berücksichtigt.

- Beschichtung Stütze Ebene „Mitte“ und „Fassade“

Da die Beschichtung, abgesehen von den im Bereich von Kanten und Ecken auftretenden Rissen, sonst intakt ist, ist geplant, diese lokal instand zu setzen.

Die Arbeiten werden so terminiert, dass sie noch während der Instandsetzung der Querträger erfolgen können.

→ Die Massnahmenumsetzung hat keinen Einfluss auf die Verkehrsführung und ist deshalb in den Terminprogrammen nicht berücksichtigt.



Foto 19: Gerissene Tunnelbeschichtung



Foto 20: Gerissene, z.T. ablösende Tunnelbeschichtung

- Brüstungselement - Befestigung

Zustandsaufnahmen werden zurückgestellt. Im Rahmen der geplanten VoMa / ÜMa sind alle Elemente über den kritischen Bereichen (Portale N02 / Rothausstrasse) zu sichern. Punktuell sollen dabei zur Zustandsbeurteilung ein Teil der feuerverzinkten Ankerschrauben ausgebaut werden. In Abhängigkeit von den Resultaten ist dann das weitere Vorgehen hinsichtlich der Elemente über dem Unterhaltsweg zu definieren.

Die Arbeiten werden so terminiert, dass sie noch während der Instandsetzung der Querträger erfolgen können.

→ Die Massnahmenumsetzung hat keinen Einfluss auf die Verkehrsführung und ist deshalb in den Terminprogrammen nicht berücksichtigt.

- Lärmschutzelemente (Portalbereich Ost)

Die lokalen Schadstellen, vor allem fehlende Nieten, werden im Rahmen eines KBU behoben.

8.2 Massnahmen aufgrund statischer Defizite

- Auflagersicherung Querträger über den Fassadenstützen

Aus statischen Gründen muss der Auflagerbereich der QT über den Fassadenstützen mit baulichen Massnahmen gesichert werden.

Die Arbeiten können vom Unterhaltsweg her ausgeführt werden.

→ Die Massnahmenumsetzung hat keinen Einfluss auf die Verkehrsführung und ist deshalb in den Terminprogrammen nicht berücksichtigt.

- Die Erdbebenüberprüfung in Bauwerkslängsrichtung ist noch nicht abgeschlossen. Möglicherweise daraus resultierende Massnahmen sind im vorliegenden Dokument noch nicht berücksichtigt.



9 Antrag

Die INGE 8S beantragt, auf Basis der vorliegenden Untersuchungen, die Variante 4 weiter zu verfolgen. Die für die Massnahmenprojektierung notwendige Musterfläche ist im Herbst 2019 zu beauftragen (Erstellung MP BAU 2020).

10 Entscheid

PFS T/G und K (17.05.2019)

Die Variante 1 ist aus technischer Sicht sehr risikobehaftet und ist deshalb keine Instandsetzungsmöglichkeit. Die FU unterstützt die Argumentation des PV.

Die KKS - Varianten werden grundsätzlich als gute Lösung beurteilt. Es soll deshalb die Variante 4 weiterverfolgt werden. Zur Prüfung der Machbarkeit ist die vorgeschlagene Musterfläche erforderlich. Sollten sich aufgrund der Pilotanwendung zeigen, dass KKS keine klaren Vorteile gegenüber der Reprofilierung hat (resp. sich bei der Umsetzung auch technische Schwierigkeiten zeigen), dann sind Vor- und Nachteile der Varianten 2 und 4 nochmals abzuwägen

INGE 8S

31.05.2019 / maa

G:\17719 8S Hagnau-Augst\21_EK\01_TechBearb\01 TSH\09 Instandsetzung\Arp 160031 Bau 67_Instandsetzungsvarianten TSH_2019 05 31.docx



Grafikverzeichnis

Abbildung 1:	Tunnelquerschnitt mit Bauteilbezeichnungen	4
Abbildung 2:	Schadensentwicklung QT Tunnelröhre FBBS.....	6
Abbildung 3:	Schadensentwicklung QT Tunnelröhre FBLU.....	6
Abbildung 4:	Legende „Schadenplan QT“, NSNW.....	7
Abbildung 5:	Schadensbild QT Nr. 123, „Schadenplan QT“, NSNW, 08.11.2018.....	8
Abbildung 6:	Mögliches Grobterminprogramm (unter Berücksichtigung Projektierung und Realisierung Tunnellüftung / Erneuerung BSA)	9
Abbildung 7:	Verkehrsführung Nachtarbeit	10
Abbildung 8:	Verkehrsführung Vollsperrung	11
Abbildung 9:	Schemaquerschnitt Tunnel mit BSA	13
Abbildung 10:	Darstellung des Korrosionsprozesses	17
Abbildung 11:	Wirkungsweise des Kathodischen Korrosionsschutzes	17
Abbildung 12:	Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 1.....	20
Abbildung 13:	Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 2.....	23
Abbildung 14:	Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 3.....	25
Abbildung 15:	Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 4.....	27
Abbildung 16:	Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 5.....	29
Abbildung 17:	Systemquerschnitt Instandsetzungsvariante 6.....	31
Abbildung 18:	Arbeitsschritte pro Instandsetzungsvariante	43
Abbildung 19:	Baufortschritt pro Tunnelabschnitt	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Lage der Passerellen.....	11
Tabelle 2:	Vorgesehene Instandsetzungsprinzipien	16
Tabelle 3:	Bewertungssystem	33
Tabelle 4:	Bewertung der Varianten in Bezug auf die festgelegten Kriterien.....	35
Tabelle 5:	Übersicht Gewichtungsvarianten	36
Tabelle 6:	Übersicht Sensitivitätsanalyse der Varianten.....	41
Tabelle 7:	Kostenschätzung	42

Fotoverzeichnis

Foto 1:	Freiliegendes Vorspannkabel	5
Foto 2:	Kiesnest mit korrodierender Bewehrung.....	5
Foto 3:	Massive Betonabplatzung aufgrund korrodierender Bewehrung	6
Foto 4:	QT 66, Spanndrähte z.T. durchkorrodiert	6
Foto 5:	Kabelkanal längs beidseitig der Fahrbahn, Adaptionsbeleuchtung an Stahlträger befestigt, FBBS	12
Foto 6:	Befestigungsdetail Längsträger Adaptionsbeleuchtung - Querträger, Brandschutzkabel, FBLU ..	12
Foto 7:	FLS an Querträger befestigt (im Hintergrund eine Passerelle), FBBS.....	12
Foto 8:	Passerelle mit Kabeleinführung aus WELK, K36, FBLU	12
Foto 9:	Zugang zu Passerelle Nr. 4 (QT 91)	13
Foto 10:	Portalzone mit Strahlventilatoren, FBLU	13
Foto 11:	Portalzone mit Strahlventilatoren, FBBS.....	13
Foto 12:	Durchfahrtsbeleuchtung im Innenstreckenbereich direkt an QT montiert	13
Foto 13:	Sandstrahlen des Betonuntergrundes / Bewehrung 2017	20
Foto 14:	Reprofilierung Abplatzung 2017.....	20
Foto 15:	Beschichtung Tunnelrückwand	37
Foto 16:	Detailaufnahme Zustand Tunnelbeschichtung.....	37
Foto 17:	Betonabplatzung Tunnelrückwand mit korrodierender Bewehrung.....	37
Foto 18:	Detailaufnahme Betonabplatzung Tunnelrückwand.....	37
Foto 19:	Gerissene Tunnelbeschichtung	38
Foto 20:	Gerissene, z.T. ablösende Tunnelbeschichtung	38



Anhang 1 Zusammenstellung der Sensitivitätsanalyse

Beurteilungs- ergebnis	Gewichtung [%]	Var. 1	Var. 2	Var. 3	Var. 4	Var. 5	Var. 6
Beurteilung 0: keine Übergewichtung							
BAU (Technik)	33.3	1.8	3.8	3.0	4.0	3.8	3.3
BSA	33.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Verkehr	33.3	4.3	3.3	4.0	4.0	3.7	4.0
Punkteschnitt mit Gewichtung		3.03	3.37	3.33	3.67	3.50	3.43

Beurteilung 1: Übergewichtung der Aspekte BAU							
BAU (Technik)	70	1.8	3.8	3.0	4.0	3.8	3.3
BSA	15	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Verkehr	15	4.3	3.3	4.0	4.0	3.7	4.0
Punkteschnitt mit Gewichtung		2.36	3.61	3.15	3.85	3.67	3.36

Beurteilung 2: Übergewichtung der Aspekte BSA							
BAU (Technik)	15	1.8	3.8	3.0	4.0	3.8	3.3
BSA	70	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Verkehr	15	4.3	3.3	4.0	4.0	3.7	4.0
Punkteschnitt mit Gewichtung		3.02	3.17	3.15	3.30	3.23	3.20

Beurteilung 3: Übergewichtung der verkehrstechnischen Aspekte							
BAU (Technik)	15	1.8	3.8	3.0	4.0	3.8	3.3
BSA	15	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Verkehr	70	4.3	3.3	4.0	4.0	3.7	4.0
Punkteschnitt mit Gewichtung		3.73	3.33	3.70	3.85	3.61	3.75

Tabelle 6: Übersicht Sensitivitätsanalyse der Varianten

Anhang 2 Kostenschätzung

			Variante 1 "Periodische lokale Betoninstandsetzung"			Variante 2 "Umfassende Betoninstandsetzung mit Oberflächenschutzsystem"			Variante 3 "Oberflächenschutzsystem"			Variante 4 "KKS - Titanbänder"			Variante 5 "KKS - Titanstabanoden"			Variante 6 "KKS - leitfähiger Anstrich"		
	Beschreibung der Arbeit	EH	Vorausmass	Preis	Betrag (exkl. MwSt.)	Vorausmass	Preis	Betrag (exkl. MwSt.)	Vorausmass	Preis	Betrag (exkl. MwSt.)	Vorausmass	Preis	Betrag (exkl. MwSt.)	Vorausmass	Preis	Betrag (exkl. MwSt.)	Vorausmass	Preis	Betrag (exkl. MwSt.)
111	Regiearbeiten Global 5%	%	5%	15257'000	763'000	5%	11'061'000	553'000	5%	11'210'000	561'000	5%	10'899'000	545'000	5%	22'097'000	1'105'000	5%	15'534'000	777'000
112	Prüfungen Global 2%	%	2%	15257'000	305'000	2%	11'061'000	221'000	2%	11'210'000	224'000	2%	10'899'000	218'000	2%	22'097'000	442'000	2%	15'534'000	311'000
113	Baustelleneinrichtung Global 10%	gl	10%	13'870'000	1'387'000	10%	10'055'000	1'006'000	10%	10'191'000	1'019'000	10%	9'908'000	991'000	10%	20'088'000	2'009'000	10%	14'122'000	1'412'000
	Übergeordnete Arbeiten				200'000			1'494'000			993'000			1'238'000			1'417'000			1'069'000
	Tunnelsperrung (Betrieb 2. Röhre im Gegenverkehr) - Kosten NSNW	St	80	2'500	200'000	360	2'500	900'000	208	2'500	520'000	280	2'500	700'000	336	2'500	840'000	232	2'500	580'000
	Fahrbahnsanierung am Morgen (Anzahl dito Tunnelsperrungen)	St		700	-	280	700	196'000	128	700	89'600	200	700	140'000	256	700	179'200	152	700	106'400
	Musterfläche Hydrophobierende Imprägnierung	gl			-	1	15'000	15'000			-	1	15'000	15'000		1	15'000	15'000		-
	Abklopfen QT (Kiesnester / Hohlstellen), 1 Mann inkl. Hebebühne als Grundlage für lokale Betoninstandsetzung, LE = Einsatznacht	LE		1'000	-	283	1'000	283'000	283	1'000	283'000	283	1'000	283'000	283	1'000	283'000	283	1'000	283'000
	Baustellenentwässerung (HDW)	gl			-	1	100'000	100'000	1	100'000	100'000	1	100'000	100'000	1	100'000	100'000	1	100'000	100'000
	Variante 1 "Periodische lokale Betoninstandsetzung"				13'670'000			-			-			-			-			-
	Zustandserfassung / Abklopfen der QT durch NSNW (2x pro Jahr / 2 Equipen / inkl. Hebebühne / total 4 Nächte (pro Nacht 5'000.-), LE = Jahr	LE	13	20'000	260'000			-			-			-			-			-
	Einsatznacht (Sandstrahlen / zementöser Anstrich / Reprofilierungsmörtel)	St	7	20'000	140'000			-			-			-			-			-
	BSA - Provisorien	gl	1	1'600'000	1'600'000			-			-			-			-			-
2037/38	Instandsetzung umfassend, Variante 4	gl	1	867'000	867'000			-			-			-			-			-
	Verstärkungsmassnahmen	gl	1	3'000'000	3'000'000			-			-			-			-			-
	Variante 2 "Umfassende Betoninstandsetzung mit Oberflächenschutzsystem"				-			8'561'000			-			-			-			-
2025	HDW				-			-			-			-			-			-
	HDW - Abtrag flächig, LE = Anzahl Träger	LE			-	283	12'000	3'396'000			-			-			-			-
	HDW - Abtrag lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-	283	2'000	566'000			-			-			-			-
	Reprofilierung				-			-			-			-			-			-
	Reprofilierung mit Reparaturmörtel flächig, LE = Anzahl Träger	LE			-	283	10'500	2'971'500			-			-			-			-
	Reprofilierung mit Reparaturmörtel lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-	283	1'750	495'250			-			-			-			-
	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-	283	700	198'100			-			-			-			-
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-	283	1'300	367'900			-			-			-			-
2037/38	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-	283	700	198'100			-			-			-			-
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-	283	1'300	367'900			-			-			-			-
	Variante 3 "Oberflächenschutzsystem"				-			9'198'000			-			-			-			-
2025	HDW				-			-			-			-			-			-
	HDW - Abtrag lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-	283	2'000	566'000			-			-			-
	Reprofilierung				-			-			-			-			-			-
	Reprofilierung mit Reparaturmörtel lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-	283	3'500	990'500			-			-			-
	Beschichtung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung / Zementhautabtrag Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-	283	1'500	424'500			-			-			-
	Beschichtung mit erhöhter Dichtigkeit (Verfahren 1.3 gemäss EN 1504-2)	LE			-			-	283	12'000	3'396'000			-			-			-
2037/38	Beschichtung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung / Zementhautabtrag Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-	283	1'500	424'500			-			-			-
	Beschichtung mit erhöhter Dichtigkeit (Verfahren 1.3 gemäss EN 1504-2)	LE			-			-	283	12'000	3'396'000			-			-			-
	Variante 4 "KKS - Titanbänder"				-			-			-			-			-			-
2025	Musterfläche	gl			-			-			-	1	70'000	70'000			-			-
	HDW				-			-			-			-			-			-
	HDW - Abtrag flächig (Rautiefe 5 mm), LE = Anzahl Träger	LE			-			-	283	4'000	1'132'000			-			-			-
	HDW - Abtrag lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-	283	1'750	495'250			-			-			-
	Reprofilierung				-			-			-			-			-			-
	Reprofilierung mit KKS-Mörtel lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-	283	3'500	990'500			-			-			-
	Reprofilierung mit KKS-Mörtel, LE = Anzahl Träger	LE			-			-	283	7'000	1'981'000			-			-			-
	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-	283	700	198'100			-			-			-
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-			-	283	1'300	367'900			-			-			-
	KKS				-			-			-			-			-			-
	Montage Titanbänder inkl. Verkabelung / Monitoringsystem	LE			-			-	283	9'660	2'733'780			-			-			-
	Monitoring / Stromkosten, LE = Anzahl Jahre	LE			-			-	15	7'000	105'000			-			-			-
2037/38	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-	283	700	198'100			-			-			-
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-			-	283	1'300	367'900			-			-			-
	KKS				-			-			-			-			-			-
	Ersatz Schutzstromgeräte / einzelne Elektroden	gl			-			-	1	30'000	30'000			-			-			-
	Variante 5 "KKS - Titanstabanoden"				-			-			-			-			-			-
2025	Musterfläche	gl			-			-			-			-	1	70'000	18'671'000			-
	HDW				-			-			-			-			-			-
	HDW - Abtrag lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-			-			-	283	2'000	566'000			-
	Reprofilierung				-			-			-			-			-			-
	Reprofilierung mit KKS-Mörtel lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-			-			-	283	3'500	990'500			-
	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-			-			-	283	700	198'100			-
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-			-			-			-	283	1'300	367'900			-
	KKS				-			-			-			-			-			-
	Detektieren Vorspannkabel / Längsbewehrung	LE			-			-			-			-	283	750	212'250			-
	Montage Titananoden inkl. Verkabelung / Monitoringsystem	LE			-			-			-			-	283	55'000	15'565'000			-
	Monitoring / Stromkosten, LE = Anzahl Jahre	LE			-			-			-			-	15	7'000	105'000			-
2037/38	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-			-			-	283	700	198'100			-
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-			-			-			-	283	1'300	367'900			-
	KKS				-			-			-			-			-			-
	Ersatz Schutzstromgeräte / einzelne Elektroden	gl			-			-			-			-	1	30'000	30'000			-
	Variante 6 "KKS - leitfähiger Anstrich"				-			-			-			-			-			-
2025	Musterfläche	gl			-			-			-			-			-	1	55'000	13'053'000
	HDW				-			-			-			-			-			55'000
	HDW - Abtrag lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-			-			-			-	283	2'000	566'000
	Reprofilierung				-			-			-			-			-			-
	Reprofilierung mit KKS-Mörtel lokal, LE = Anzahl Träger	LE			-			-			-			-			-	283	1'750	495'250
	Tiefenhydrophobierung				-			-			-			-			-			-
	Reinigung Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-			-			-			-	283	400	113'200
	Hydrophobierende Imprägnierung	LE			-			-			-			-			-	283	700	198'100
	KKS				-			-			-			-			-			-
	Reinigung / Zementhautabtrag Betonoberfläche mit Wasserhochdruck	LE			-			-			-			-			-	283	1'500	424'500
	Leitfähiger Anstrich inkl. Verkabelung	LE			-			-			-			-			-	283	14'700	4'160'100
	Monitoring / Stromkosten, LE = Anzahl Jahre	LE			-			-			-			-			-	15	7'000	105'000
2037/38	Instandsetzung umfassend, Variante 4	gl			-			-			-			-			-	1	6'936'000	6'936'000
	Total Realisierung (exkl. MwSt. / Unvorhergesehenes)				16'325'000			11'835'000			11'995'000			11'662'000			23'644'000			16'622'000

Tabelle 7: Kostenschätzung

Anhang 3 Arbeitsschritte pro Instandsetzungsvariante

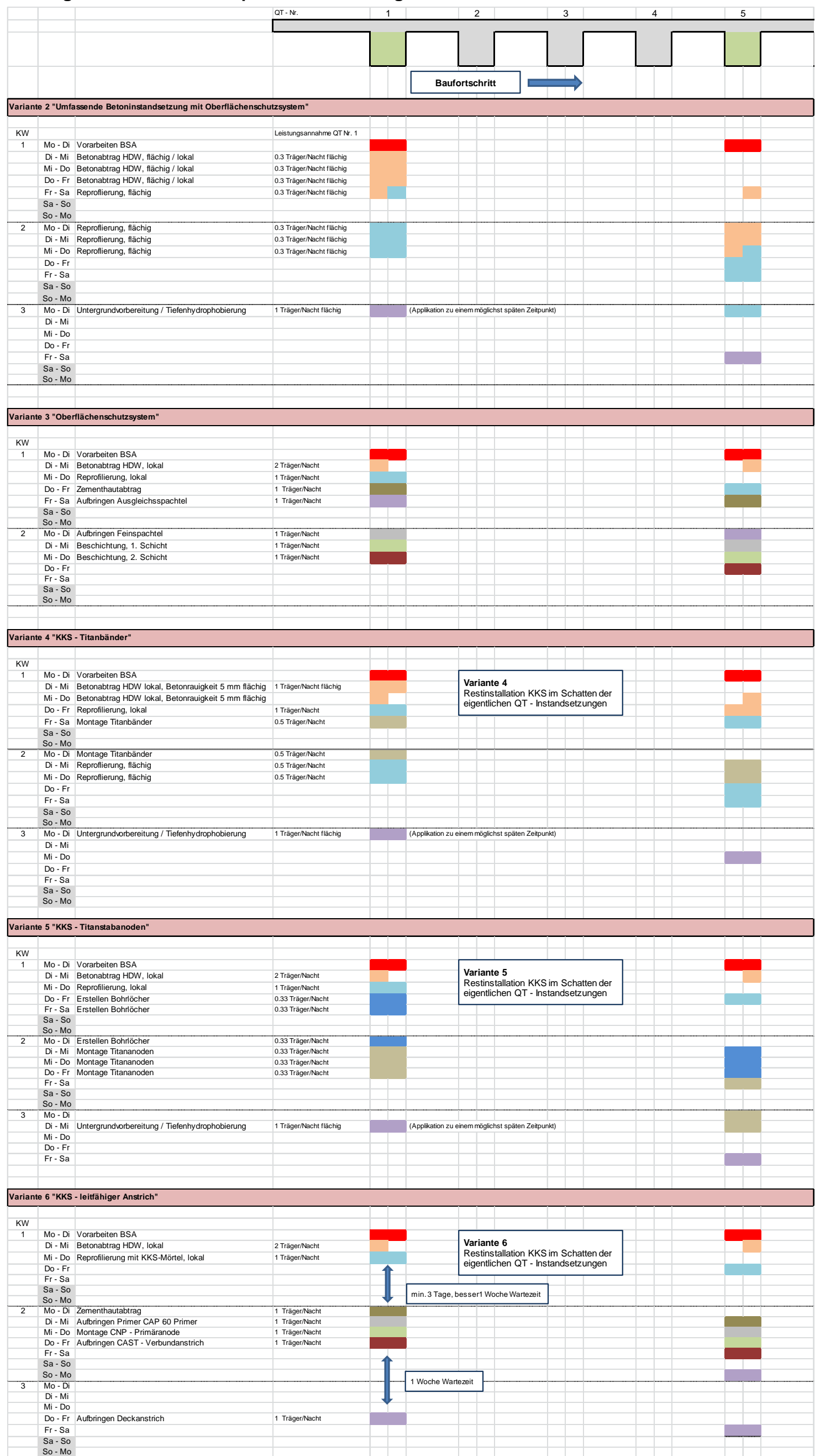


Abbildung 18: Arbeitsschritte pro Instandsetzungsvariante



Anhang 4 Baufortschritt pro Tunnelabschnitt



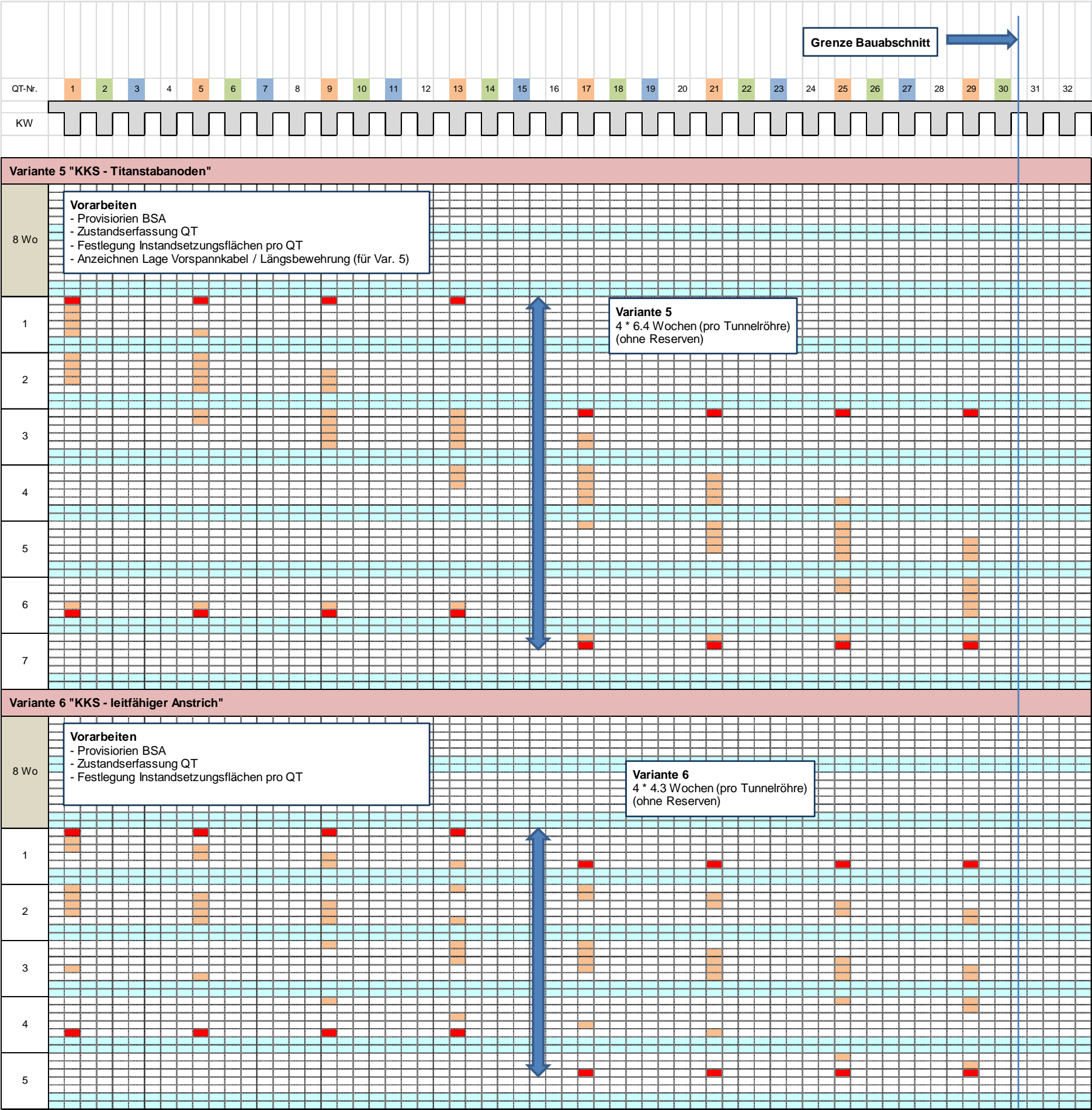


Abbildung 19: Baufortschritt pro Tunnelabschnitt