



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Erhaltungsmanagement Tunnel Festlegung von Massnahmen pro Schadensprozess

**Gestion de la maintenance de tunnels
Définition de mesures par processus de détérioration**

**Maintenance management of tunnels
Definition of measures per damage process**

**EBP Schweiz AG
Jürg Portner, Dipl. Bauing. ETHZ/SIA
Nikola Vasić, MSc Bauing. ETHZ**

**Forschungsprojekt AST_2020_103 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnel-
forschung (AGT)**

Dezember 2024

1779

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Erhaltungsmanagement Tunnel Festlegung von Massnahmen pro Schadensprozess

**Gestion de la maintenance de tunnels
Définition de mesures par processus de détérioration**

**Maintenance management of tunnels
Definition of measures per damage process**

**EBP Schweiz AG
Jürg Portner, Dipl. Bauing. ETHZ/SIA
Nikola Vasić, MSc Bauing. ETHZ**

**Forschungsprojekt AST_2020_103 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnel-
forschung (AGT)**

Dezember 2024

1779

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Jürg Portner, EBP Schweiz AG, Zürich

Mitglieder

Nikola Vasić, EBP Schweiz AG, Zürich

Begleitkommission

Präsident

Heinz Ehrbar, Heinz Ehrbar Partners GmbH, Herrliberg

Mitglieder

Raffaele Filippini, Filippini & Partner Ingegneria SA, Biasca

Christian Gammeter, ASTRA, Ittingen

Federica Sandrone, SBB, Bern

Bastian Otto, AXPO Power AG, Baden

Urs Vollmer, ASTRA, Zofingen

Martin Wyss, ASTRA, Ittingen

Antragsteller

Arbeitsgruppe für Tunnelforschung (AGT)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	7
Résumé	11
Summary	15
1 Einleitung	19
1.1 Anlass.....	19
1.1.1 Ausgangslage und Kontext.....	19
1.1.2 Übergeordnete Fragestellungen im Forschungsprojekt	21
1.1.3 Fragestellung auf Einzelprojekt bezogen	21
1.2 Grundlagen und Datenbasis	22
1.2.1 Normen und Richtlinien	22
1.2.2 Literaturrecherche	22
1.2.3 Fallbeispiele	22
1.3 Stand der Praxis und Forschung (State of the Art).....	23
1.3.1 Aktueller Stand der Praxis und Forschung	23
1.3.2 Neue Massnahmen und Entwicklungen	27
1.4 Zweck und Ziel des Einzelprojektes.....	28
1.4.1 Übergeordnetes Hauptziel des Forschungsprojektes	28
1.4.2 Beitrag des Einzelprojektes zum Hauptziel	29
1.5 Erwartete Resultate und Nutzniessung	30
1.6 Definition Erhaltungsprozess und Abgrenzung	31
1.6.1 Erhaltungsprozess und Projektgenerierung	31
1.6.2 Abgrenzung Forschungsprojekt.....	33
1.6.3 Definitionen und verwendete Terminologie	34
1.7 Methodik der Forschungsarbeit	34
1.8 Ablauf und Organisation des Forschungsprojektes	36
1.8.1 Organisation und Beauftragter.....	36
1.8.2 Ablauf und Bearbeitungszeitraum.....	37
1.9 Bauwerksgliederung unter Berücksichtigung der Anforderungen des ASTRA	38
2 Ergebnisse des Einzelprojekts EP3	39
2.1 Bauwerksgliederung des Forschungsprojektes	39
2.1.1 Relevanz der Bauwerksgliederung für Forschungsprojekt.....	39
2.1.2 Struktur der Bauwerksgliederung im Forschungsprojekt	39
2.1.3 Umsetzung der Bauwerksgliederung in den Katalogen EP1/EP2/EP3.....	41
2.2 Aufbau des Massnahmenkatalogs mit standardisierten Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel	42
2.2.1 Anforderungen an Massnahmenkatalog	42
2.2.2 Abgrenzung	43
2.2.3 Systematisierung und Zusammenstellung der Erhaltungsmassnahmen	44
2.2.4 Massnahmentypen (Massnahmenausdehnung und -umfang)	52
2.2.5 Informationen der Erhaltungsmassnahmen.....	52
2.2.6 Katalogblätter der Erhaltungsmassnahmen	53
2.3 Inputdaten.....	54
2.3.1 Schadensprozesse und Bauteilarten	54
2.4 Outputdaten	56
2.4.1 Ermittlung der Elementkosten standardisierter Erhaltungsmassnahmen an EP5.....	56
2.4.2 Einschätzung der Wirkungsweise, Effektivität und Langzeitverhalten an EP4.....	61
2.5 Vollständigkeitsnachweis des Massnahmenkatalogs	63
2.5.1 Datenbasis / Fallbeispiele.....	64
2.5.2 Massnahmenvollständigkeit bezogen auf die Gliederung.....	64
2.5.3 Massnahmen für alle Schadensprozesse	64

3	Erkenntnisse und Folgerungen	67
3.1	Kompatibilität der Grundlagen mit bestehenden Daten und Planungsmethoden	67
3.2	Anwendung	67
3.2.1	Hinweise zur Anwendung	67
3.2.2	Auswertung der Fallbeispiele für den Erhaltungsmassnahmen-Katalog.....	70
3.3	Plausibilität und Zuverlässigkeit der Angaben	70
3.4	Praktischer Nutzen	71
4	Empfehlungen	73
5	Datengrundlage.....	75
5.1	Kompilation der Literatur	75
5.2	Kompilation Fallbeispiele	75
	Anhänge	77
	Glossar	257
	Literaturverzeichnis	261
	Projektabschluss.....	263

Zusammenfassung

Im Jahr 2014 hat das ASTRA einen Forschungsauftrag zum Thema Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln ausgelöst, der 2016 in einem Bericht zum Initialprojekt [35] resultierte. In diesem Bericht wird aufgezeigt, dass die Erhaltungsprozesse für Tunnel im Vergleich zu Kunstbauten nicht angemessen berücksichtigt und auch nicht standardisiert sind. Aufgrund dessen wurde das vorliegende Forschungsprojekt initiiert, welches das Hauptziel verfolgt, die Grundlagen für das Erhaltungsmanagement von bergmännischen Strassentunneln zu verbessern und zu systematisieren, um stabile Erhaltungsentscheidungen und kosteneffiziente Erhaltungsmassnahmen zu gewährleisten.

Die Literaturrecherche und der aktuelle Stand der Praxis und Forschung haben im Hinblick auf den Erhaltungsprozess gezeigt, dass der Tunnel nicht als Teilsystem, sondern als Teil der gesamten Kunstbauten bewertet wird. Ebenso kann festgehalten werden, dass die meisten Veröffentlichungen zum Thema Erhaltung von Tunneln konkrete Tunnelprojekte und die tatsächlich ausgeführten Erhaltungsmassnahmen beschreiben. Systematische Massnahmenkataloge, welche auf Schadensprozessen basieren und das vorhandene Wissen für die systematische Verwendung in der Entscheidungsfindung nutzbar machen, werden nicht thematisiert.

Das vorliegende Forschungsprojekt berücksichtigt ausschliesslich die bergmännisch erstellten baulichen Tunnelstrukturen bestehend aus dem Aussen- und Innengewölbe, der Fahrbahn inkl. Fahrbahnkonstruktion oder Werkleitungskanal, der Zwischendecke und dem Entwässerungssystem. Nicht Gegenstand sind die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) eines Tunnels, welche Bestandteil eines separaten Fachbereichs sind. Es werden in Anlehnung an [9] nur werterhaltende Massnahmen berücksichtigt. Nicht enthalten sind wertvermehrnde Veränderungen, welche auf Umgestaltungsmassnahmen aufgrund von Nutzungserweiterungen oder Normanpassungen zurückzuführen sind. Zudem wurde im Rahmen von Sitzungen im Beisein der Gesamtprojektleitung festgehalten, dass Erhaltungsmassnahmen an nachfolgend aufgeführten Elementen nicht berücksichtigt werden müssen:

- Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, inkl. deren Montageelemente;
- Tagbautunnel;
- Zentralenbauwerke;
- Kamine und Schächte;
- (ersatzloser) Rückbau.

Der vorliegende Schlussbericht EP3 ist einer von fünf Forschungsberichten, welcher im Rahmen des Forschungsprojektes «*Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln*» erstellt worden ist. Des Weiteren werden die Forschungsergebnisse auch in einem Synthesebericht [22] zusammengefasst.

Das Teilprojekt EP3 stellt einen Massnahmenkatalog zur Verfügung, welcher alle erprobten Massnahmen für die bauliche Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln in der Schweiz berücksichtigt. Die Erhaltungsmassnahmen pro Schadensprozess wurden systematisiert und in Abhängigkeit ihrer Folgekosten (in Form von Attributen und Faktoren), Wirksamkeit und Effektivität (Sofort- und Langzeitwirkung) katalogisiert.

Zudem umfassen die Erhaltungsmassnahmen alle relevanten Informationen, die für eine wirksame und effiziente Massnahmenplanung zur Instandsetzung und Erneuerung von bergmännischen Strassentunneln notwendig sind.

Die Teilprojekte EP1 bis EP3 und EP5 wurden zeitgleich erarbeitet. Dabei wurde grossen Wert auf eine durchgängige Kompatibilität gelegt. Dies erfolgt über eine einheitliche Gliederung der Bauwerksteile und Bauarten für bergmännische Strassentunnel durch das EP1, welche allen EPs als Bezugsgrösse dient. Die erarbeitete Gliederung baut auf der bestehenden Struktur von KUBA 5.0 [10] auf, wobei diese wo nötig ergänzt wurde, sodass die

bestehende Wissensdatenbank weiterhin genutzt und gleichzeitig bauliche Strukturen von bergmännischen Strassentunneln zukünftig vollständig abgebildet werden können.

Bei der Systematisierung der Erhaltungsmassnahmen wurde grosser Wert auf Praxistauglichkeit und Einfachheit gelegt, so dass die zukünftigen Anwender keine vertieften Spezialkenntnisse haben müssen, um den Massnahmenkatalog anzuwenden oder diesen zu erweitern. Erhaltungsmassnahmen unterscheiden sich wesentlich bezüglich ihrer Teilleistungen an welchem Bauwerksteil sie umgesetzt werden. Die Erhaltungsmassnahmen wurden in dieser Hinsicht nach der Bauwerksteilgliederung systematisiert, welche zugleich auch die oberste Hierarchiestufe der Systematisierung darstellt. In einer weiteren Abstufung wurden die Erhaltungsmassnahmen nach der Massnahmenart (Reinigung/Pflege, Instandhaltung/Kleinreparaturen, Schutz gegen das Eindringen von Stoffen, Abdichtung von Bauwerksteilen, Instandsetzung und Erneuerung) systematisiert.

Zusammengestellt wurden die Erhaltungsmassnahmen insbesondere aus der Praxiserfahrung bzw. der inhaltlichen Auswertung der neun Fallbeispiele/Tunnelobjekte. Fünf der neun Tunnel sind bereits seit mehr als 40 Jahren in Betrieb. Dies bedeutet, dass bei den meisten Tunneln bereits diverse Zustandsuntersuchungen und Instandsetzungsmassnahmen zusätzlich zu den regelmässigen Hauptinspektionen durchgeführt wurden. Die durchgeführten Instandsetzungsmassnahmen wurden inhaltlich ausgewertet und damit sichergestellt, dass sie auch im Massnahmenkatalog abgebildet sind. Zusätzlich wurden die bisherigen Daten (Erhaltungsmassnahmen) aus den Fachdatenkatalogen von KUBA (Erhaltungsmassnahmentypen am kostenrelevanten Infrastrukturobjekt) und Normen u.a. SIA 269/2 berücksichtigt und vollständig in die Struktur des Massnahmenkatalogs integriert. Daraus sind insgesamt 55 Erhaltungsmassnahmen zusammengekommen, welche im Massnahmenkatalog abgebildet sind. Der Massnahmenkatalog wurde, wie auch die verknüpften Grundlagenkataloge von EP1 und EP2, als Excel-Tabelle erstellt. In der Excel-Applikation können die Erhaltungsmassnahmen nach bestimmten Kriterien (wie Bauwerksteilen, Bauteilarten und Schadensprozessen etc.) gefiltert werden, um sie spezifisch anzuzeigen und auszuwählen. Die Ausgabe des umfangreichen Massnahmenkatalogs auf Papier ist weder in Bezug auf das Format noch auf die Lesbarkeit für den Benutzer praktikabel. Aus diesem Grund wurden sämtliche Informationen der einzelnen Erhaltungsmassnahmen in «Katalogblättern» auf ein bis drei A4-Seiten dargestellt.

Der Massnahmenkatalog bildet die Grundlage für das Kostenmodell des EP5. In Abstimmung mit dem EP5 wurden die wichtigsten Inputparameter für die Kostenschätzung definiert. Die Inputparameter wurden in der vorliegenden Forschungsarbeit für jede Erhaltungsmassnahme festgelegt. Die Abschätzung des Personalaufwands erfolgte durch eingeführte Attribute, während der theoretische Ausführungsaufwand in Form von Faktoren für Materialien, Geräten/Maschinen, Baulogistik, Installationsgrad und temporärerer Verkehrsführung abgeschätzt wurde.

Der Massnahmenkatalog umfasst Informationen zur Wirkungsweise, Effektivität und zur Sofort- und Langzeitwirkung von Erhaltungsmassnahmen. Diese Informationen bilden die Grundlage für das Entscheidmodell im EP4 und den Erhaltungsmassnahmenvergleich in Bezug auf die Risikoreduzierung hinsichtlich der Bauwerks- und Betriebssicherheit. Mit der Reduktion einer Versagenswahrscheinlichkeit (Probability of Failure) wurde eine Methode vorgeschlagen, nach welcher Massnahmen bezüglich ihrer Wirksamkeit und Effektivität beurteilt werden können.

Der praktische Nutzen der vorliegenden Ergebnisse des EP3 kommt den folgenden Anwenderkreisen zugute:

- Mitarbeitende des ASTRA, insbesondere der Abteilung Erhaltungsplanung;
- Beauftragte Planende bzw. Ingenieurbüros;
- Übergeordnete Stellen von Tunnelbetreibern / -besitzern.

Der Massnahmenkatalog liefert als Nachschlagewerk den Anwenderinnen und Anwendern einheitlich strukturierte Informationen für jede erprobte Erhaltungsmassnahme je Schadensprozess. Diese können damit bezüglich ihrer Eigenschaften (Personalaufwand, theoretischer Ausführungsaufwand, Massnahmenziel, Sofort- und Langzeitwirkung) gut miteinander verglichen werden. Die aufgearbeiteten digitalen Daten bzw. Informationen können vollständig und flexibel u.a. am Bildschirm dargestellt werden. Für alle erprobten Erhaltungsmassnahmen stehen zusätzlich Katalogblätter (pdf, druckbar) für Interessierte zur Verfügung.

Basierend auf den Erkenntnissen des Forschungsprojekts wird der folgende zusätzliche Handlungsbedarf bzw. Forschungsbedarf angeregt:

- Integration in zukünftiges Erhaltungsmanagement-System;
 - Die von den Forschungsprojekten EP1 bis EP3 definierten Schadensprozesse, Untersuchungsmethoden, Erhaltungsmassnahmen etc. sind in einer zukünftigen Datenbankanwendung fürs Erhaltungsmanagement von Tunneln zu integrieren, das BIM-fähig sein muss;
- Berichte der Hauptinspektion (HI);
 - Es wird empfohlen, dass die Strukturierung, die Befunde und die vom Inspektor vorgeschlagenen Massnahmen auf die von den Forschungsprojekten EP1 und EP3 definierten Bauwerksteil-Ebenen und Massnahmentypen fokussiert und ausgerichtet werden;
- Verifizierung der Attribute für die Kostenermittlung durch EP5;
 - Es wird empfohlen die gemäss der Bottom-up-Methode geschätzten Attribute für den Personalaufwand und den theoretischen Ausführungsaufwand von Experten (z.B. von Bauunternehmen) überprüfen zu lassen;
- Beurteilung der Wirkung des M.-Katalogs hinsichtlich des übergeordneten Ziels;
 - Um dies direkt und eindeutig beurteilen zu können, müssen punktuelle Vergleiche zwischen gegenübergestellten Erhaltungsprojekten durchgeführt werden. Diese Projekte sollen parallel auf der Grundlage der neu entwickelten Methodologie und der traditionellen projektbasierten Arbeitsweise erstellt und vor der Ausführung evaluiert werden.

Résumé

En 2014, l'OFROU a déclenché un mandat de recherche sur le sujet de la gestion de la maintenance des tunnels miniers, qui a abouti en 2016 à un rapport sur le projet initial [47]. Ce rapport montre que les processus de maintenance des tunnels ne sont pas pris en compte de manière adéquate par rapport aux ouvrages d'art et qu'ils ne sont pas non plus standardisés. C'est sur la base de ce constat qu'a été initié le présent projet de recherche, dont l'objectif principal est d'améliorer et de systématiser les bases de la gestion de la maintenance des tunnels routiers miniers, afin de garantir des décisions de maintenance stables et des mesures de maintenance rentables.

En ce qui concerne le processus de maintenance, la recherche bibliographique et l'état actuel de la pratique et de la recherche ont montré que le tunnel n'est pas évalué comme un sous-système, mais comme une partie de l'ensemble des ouvrages d'art. De même, on peut constater que la plupart des publications sur le thème de la conservation des tunnels décrivent des projets concrets de tunnels et les mesures de conservation effectivement mises en œuvre. Les catalogues de mesures systématiques, qui se basent sur les processus de détérioration et rendent les connaissances disponibles utilisables de manière systématique dans la prise de décision, ne sont pas abordés.

Le présent projet de recherche prend exclusivement en considération les structures de construction des tunnels réalisées par des mineurs, à savoir la voûte extérieure et intérieure, la chaussée, y compris la structure de la chaussée ou le canal des conduites de l'ouvrage, la dalle intermédiaire et le système de drainage. Les équipements d'exploitation et de sécurité (EES) d'un tunnel, qui font partie d'un domaine séparé, n'en font pas partie. Seules les mesures de conservation de la valeur sont prises en compte, conformément à [19]. Ne sont pas comprises les modifications entraînant une augmentation de la valeur, qui sont dues à des mesures de réaménagement en raison d'une extension de l'utilisation ou d'une adaptation aux normes. De plus, dans le cadre de réunions en présence de la direction générale du projet, il a été établi que les mesures de conservation des éléments mentionnés ci-après ne devaient pas être prises en compte:

- Équipement d'exploitation et de sécurité, y compris ses éléments de montage;
- Tranchées couvertes;
- Ouvrages des centrales;
- Cheminées et puits;
- Démolition (sans remplacement).

Le présent rapport final EP3 est l'un des cinq rapports de recherche qui a été élaboré dans le cadre du projet de recherche "Gestion de la maintenance des tunnels miniers". Par ailleurs, les résultats de la recherche sont également présentés dans un rapport de synthèse [33].

Le sous-projet EP3 met à disposition un catalogue de mesures qui prend en compte toutes les mesures éprouvées pour la remise en état structurelle des tunnels routiers miniers en Suisse. Les mesures de conservation par processus de détérioration ont été systématisées et cataloguées en fonction de leurs coûts consécutifs (sous forme d'attributs et de facteurs), de leur efficacité et de leur effectivité (effet immédiat et à long terme). En outre, les mesures de conservation comprennent toutes les informations pertinentes nécessaires à une planification efficace et efficiente des mesures de remise en état et de rénovation des tunnels miniers.

Les projets partiels EP1 à EP3 et EP5 ont été élaborés en même temps. Une grande importance a été accordée à une compatibilité continue. Pour ce faire, le EP1 a établi une structure uniforme des éléments de construction et des types de construction pour les tunnels routiers miniers, qui sert de référence à tous les EP. La classification élaborée se base sur la structure existante de KUBA 5.0 [10], qui a été complétée là où cela s'avérait nécessaire, afin que la base de connaissances existante puisse continuer à être utilisée et que

les structures de construction des tunnels routiers miniers puissent être entièrement représentées à l'avenir.

Lors de la systématisation des interventions de conservation, une grande importance a été accordée à l'aspect pratique et à la simplicité, afin que les futurs utilisateurs n'aient pas besoin de connaissances spéciales approfondies pour appliquer le catalogue d'interventions ou l'élargir. Les interventions de conservation se distinguent essentiellement par les prestations partielles qu'elles fournissent sur l'élément de construction sur lequel elles sont mises en œuvre. A cet égard, les interventions de conservation ont été systématisées selon la classification de l'élément de construction, qui représente également le niveau hiérarchique le plus élevé de la systématisation. Dans une autre gradation, les interventions de conservation ont été systématisées selon le type d'intervention (nettoyage/soin, entretien/petites réparations, protection contre la pénétration de substances, étanchéification d'éléments de construction, remise en état et rénovation).

Les mesures de conservation ont été élaborées en particulier sur la base de l'expérience pratique et de l'évaluation du contenu des neuf exemples de cas/objets de tunnels. Cinq des neuf tunnels sont déjà en service depuis plus de 40 ans. Cela signifie que la plupart des tunnels ont déjà fait l'objet de divers examens d'état et de mesures de remise en état en plus des inspections principales régulières. Le contenu des mesures de remise en état réalisées a été évalué afin de garantir qu'elles soient également représentées dans le catalogue de mesures. De plus, les données existantes (interventions de maintenance) provenant des catalogues de données spécialisées de KUBA (types d'interventions de maintenance sur l'objet d'infrastructure déterminant pour les coûts) et des normes, notamment SIA 269/2, ont été prises en compte et entièrement intégrées dans la structure du catalogue de mesures. Il en résulte un total de 55 interventions de maintenance, qui sont représentées dans le catalogue de mesures. Le catalogue des interventions a été créé sous forme de tableau Excel, tout comme les catalogues de base EP1 et EP2 qui y sont liés. Dans l'application Excel, les interventions de conservation peuvent être filtrées selon certains critères (comme les éléments de construction, les types d'éléments de construction et les processus de détérioration, etc.) afin de les afficher et de les sélectionner spécifiquement. L'édition du volumineux catalogue d'interventions sur papier n'est pas pratique pour l'utilisateur, ni en termes de format, ni en termes de lisibilité. C'est pourquoi toutes les informations des différentes interventions de conservation ont été présentées dans des "fiches catalogue" sur une à trois pages A4.

Le catalogue de mesures constitue la base du modèle de coûts du EP5. Les principaux paramètres d'entrée pour l'estimation des coûts ont été définis en accord avec le EP5. Dans le présent travail de recherche, les paramètres d'entrée ont été définis pour chaque intervention de conservation. L'estimation des dépenses de personnel a été effectuée au moyen d'attributs introduits, tandis que les dépenses théoriques d'exécution ont été estimées sous forme de facteurs pour les matériaux, les appareils/machines, la logistique de construction, le degré d'installation et la gestion temporaire du trafic.

Le catalogue de mesures comprend des informations sur le mode d'action, l'efficacité et les effets immédiats et à long terme des mesures de conservation. Ces informations constituent la base du modèle de décision dans l'EP4 et de la comparaison des mesures de conservation en ce qui concerne la réduction des risques relatifs à la sécurité de l'ouvrage et de l'exploitation. Avec la réduction d'une probabilité de défaillance (Probability of Failure), une méthode a été proposée, selon laquelle les mesures peuvent être évaluées quant à leur efficacité et leur efficacité.

L'utilité pratique des présents résultats de l'EP3 bénéficie aux cercles d'utilisateurs:

- Collaborateurs de l'OFROU, en particulier de la division Planification de la maintenance;
- Planificateurs ou bureaux d'ingénieurs mandatés;
- Services supérieurs des exploitants / propriétaires de tunnels.

En tant qu'ouvrage de référence, le catalogue de mesures fournit aux utilisateurs des informations structurées de manière uniforme pour chaque intervention de conservation testée par processus de détérioration. Celles-ci peuvent ainsi être facilement comparées entre elles en ce qui concerne leurs caractéristiques (frais de personnel, frais d'exécution théoriques, objectif de l'intervention, effet immédiat et à long terme). Les données et informations numériques traitées peuvent être présentées de manière complète et flexible, notamment à l'écran. Pour toutes les mesures de conservation testées, des fiches de catalogue (pdf, imprimables) sont en outre à la disposition des personnes intéressées.

Sur la base des conclusions du projet de recherche, les besoins d'action ou de recherche supplémentaires suivantes sont suggérées:

- Intégration dans un futur système de gestion de la maintenance;
 - Les processus de détérioration, les méthodes d'investigation, les mesures de conservation, etc. définis par les projets de recherche EP1 à EP3 doivent être intégrés dans une future application de base de données pour la gestion de la conservation des tunnels, qui doit être compatible avec le BIM;
- Rapports d'inspection principale;
 - Il est conseillé de focaliser et orienter la structuration, les constats et les mesures proposées par l'inspecteur selon les éléments de construction et les types de mesures définis par les projets de recherche EP1 et EP3;
- Vérification des attributs pour le calcul des coûts par EP5;
 - Il est recommandé de faire vérifier par des experts (par exemple des entreprises de construction) les attributs estimés selon la méthode ascendante pour les charges de personnel et les charges théoriques d'exécution;
- Évaluation de l'impact du catalogue M. par rapport à l'objectif général;
 - Pour pouvoir l'évaluer directement et sans équivoque, il faut effectuer des comparaisons ponctuelles entre des projets de conservation opposés. Ces projets doivent être établis en parallèle sur la base de la méthodologie nouvellement développée et de la méthode de travail traditionnelle basée sur les projets, et évalués avant leur exécution.

Summary

In 2014, FEDRO initiated a research commission on the topic of maintenance management of mining tunnels, which resulted in a report on the initial project [47] in 2016. This report shows that the maintenance processes for tunnels are not adequately considered or standardized compared to civil engineering structures. Due to this, the present research project was initiated, which pursues the main objective of improving and systematizing the basis for the maintenance management of mining road tunnels to ensure stable maintenance decisions and cost-efficient maintenance measures.

The literature research and the current state of practice and research have shown with regard to the preservation process that the tunnel is not evaluated as a subsystem, but as part of the entire engineering structures. It can also be stated that most publications on the topic of tunnel maintenance describe concrete tunnel projects and the maintenance measures actually carried out. Systematic catalogues of measures, which are based on damage processes and make the existing knowledge available for systematic use in decision-making, are not addressed.

The present research project only takes into account the constructional tunnel structures built by mining, consisting of the outer and inner vault, the carriageway incl. carriageway construction or service duct, the intermediate ceiling and the drainage system. The subject matter does not include the operating and safety equipment (OSS) of a tunnel, which is part of a separate subject area. In accordance with [19], only value-preserving measures are taken into account. Changes that increase value, which are due to redesign measures due to extensions of use or adaptations to standards, are not included. In addition, it was determined during meetings in the presence of the overall project management that maintenance measures on the following elements do not have to be taken into account:

- Operating and safety equipment, incl. its assembly elements;
- Cut-and-cover tunnels;
- Central structures;
- Chimneys and shafts;
- (Replacement-free) dismantling.

This final report EP3 is one of five research reports which was produced as part of the research project "Maintenance management of mining tunnels". Furthermore, the research results are also summarised in a synthesis report [33].

The EP3 sub-project provides a catalogue of measures that takes into account all tested measures for the structural repair of road tunnels in Switzerland. The maintenance measures per damage process were systematised and catalogued depending on their follow-up costs (in the form of attributes and factors), effectiveness and efficiency (immediate and long-term effect). In addition, the maintenance measures include all relevant information necessary for effective and efficient planning of measures for the repair and renewal of mining road tunnels.

The sub-projects EP1 to EP3 and EP5 were developed simultaneously. Great importance was attached to compatibility throughout. This is achieved through a uniform structure of the construction parts and types of construction for mining road tunnels by EP1, which serves as a reference value for all EPs. The developed structure is based on the existing structure of KUBA 5.0 [10], whereby this was supplemented where necessary so that the existing knowledge database can continue to be used and at the same time the constructional structures of road tunnels can be completely mapped in the future.

When systematising the maintenance measures, great importance was attached to practicality and simplicity, so that future users do not need to have in-depth specialist knowledge in order to apply the catalogue of measures or to extend it. Maintenance measures differ significantly with regard to their partial performance on which part of the structure they are implemented. In this respect, the maintenance measures were systematised according to

the structure part classification, which also represents the highest hierarchical level of the systematisation. In a further gradation, the maintenance measures were systematised according to the type of measure (cleaning/care, maintenance/small repairs, protection against the ingress of substances, sealing of parts of the structure, repair and renewal).

The maintenance measures were compiled in particular from practical experience and the evaluation of the content of the nine case studies/tunnel objects. Five of the nine tunnels have been in operation for more than 40 years. This means that for most of the tunnels, various condition inspections and maintenance measures have already been carried out in addition to the regular main inspections. The maintenance measures that have been carried out have been evaluated in terms of content, thus ensuring that they are also represented in the catalogue of measures. In addition, the previous data (maintenance measures) from the KUBA specialist data catalogues (maintenance measure types on the cost-relevant infrastructure object) and standards, including SIA 269/2, were taken into account and fully integrated into the structure of the catalogue of measures. This resulted in a total of 55 maintenance measures, which are shown in the catalogue of measures. The catalogue of measures, like the linked basic catalogues of EP1 and EP2, was created as an Excel spreadsheet. In the Excel application, the maintenance measures can be filtered according to certain criteria (such as parts of the structure, types of components and damage processes, etc.) in order to display and select them specifically. The output of the extensive catalogue of measures on paper is not practicable for the user, neither in terms of format nor readability. For this reason, all information of the individual conservation measures was presented in "catalogue sheets" on one to three A4 pages.

The catalogue of measures forms the basis for the cost model of EP5. In coordination with EP5, the most important input parameters for the cost estimation were defined. The input parameters were defined for each conservation measure in the present research work. The estimation of the personnel effort was done by introduced attributes, while the theoretical execution effort was estimated in the form of factors for materials, equipment/machinery, construction logistics, degree of installation and more temporary traffic routing.

The catalogue of measures includes information on the mode of action, effectiveness and immediate and long-term effects of conservation measures. This information forms the basis for the decision model in EP4 and the comparison of maintenance measures with regard to risk reduction in terms of structural and operational safety. With the reduction of a probability of failure, a method was proposed according to which measures can be assessed in terms of their effectiveness and efficiency.

The practical benefit of the present results of EP3 will benefit the following user groups:

- FEDRO employees, in particular from the Maintenance Planning Division;
- Commissioned planners or engineering offices;
- Superordinate bodies of tunnel operators / owners.

As a reference work, the catalogue of measures provides users with uniformly structured information for each tested conservation measure per damage process. These can thus be easily compared with each other in terms of their characteristics (personnel costs, theoretical implementation costs, measure objective, immediate and long-term effect). The processed digital data and information can be displayed completely and flexibly on the screen. For all tested conservation measures, additional catalogue sheets (pdf, printable) are available for interested parties.

Based on the findings of the research project, the following additional need for action and research is suggested:

- Integration into future maintenance management system;
 - The damage processes, investigation methods, maintenance measures, etc. defined by the research projects EP1 to EP3 are to be integrated in a future database application for the maintenance management of tunnels, which must be BIM-capable;
- Main Inspection Reports;
 - It is recommended that the structuring, the findings and the measures proposed by the inspector are focused and aligned with the structure part levels and types of measure types defined by the EP1 and EP3 research projects;
- Verification of attributes for costing by EP5;
 - It is recommended to have experts (e.g. construction companies) check the attributes estimated according to the bottom-up method for the personnel costs and the theoretical execution costs;
- Assessment of the impact of the M. catalogue with regard to the overall objective;
 - In order to be able to assess this directly and unambiguously, point-by-point comparisons must be made between juxtaposed conservation projects. These projects should be created in parallel based on the newly developed methodology and the traditional project-based way of working and evaluated before execution.

1 Einleitung

1.1 Anlass

1.1.1 Ausgangslage und Kontext

Nationalstrassen sind all jene Strassen, bei denen der Bund für Finanzierung, Betrieb, Unterhalt und Ausbau aufkommt. Zuständig ist das Bundesamt für Strassen («ASTRA»). Je nach Ausbaustand gehören dazu nationale Autobahnen, nationale Autostrassen und nationale Hauptstrassen. Ende 2021 mass das Schweizer Nationalstrassennetz insgesamt 2254.5 Kilometer. Als Folge des 2017 vom Volk angenommenen Fonds für die Nationalstrassen und den Agglomerationsverkehr (NAF) wurden per 2020 über 400 km kantonale Strassen (i.d.R. für Gemischtverkehr) neu in das Nationalstrassennetz aufgenommen. Im Vergleich zum Autobahnbeschluss von 1960 verkehrt heute rund fünfmal so viel Strassenverkehr auf dem Strassennetz. Viele Strecken werden an der Kapazitätsgrenze betrieben (Anzahl Stautunden in 2021: 32'481 h).

Der Unterhalt des Nationalstrassennetzes ist neben dem Betrieb, der Fertigstellung des Netzes, den Kapazitätserweiterungen und dem Ausbau eine zentrale Aufgabe des ASTRA, der Schweizer Fachbehörde für die Strasseninfrastruktur.

Das ASTRA schätzt den mittleren jährlichen Erhaltungsbedarf im langfristigen Mittel für die gesamte Nationalstrasseninfrastruktur auf 1'144 Mio. CHF [16]. Das entspricht ungefähr jährlichen Ausgaben von 1.2% des Wiederbeschaffungswerts (WBW)¹. Tunnelanlagen stellen mit einem Wiederbeschaffungswert (WBW) von 31.5 Mrd. CHF rund 1/3 des WBW des gesamten Nationalstrassennetzes dar.

Auf Tunnel entfielen im Jahr 2020 164 Mio. CHF an Ausgaben für Unterhalt, was rund 15% des jährlichen Erhaltungsbedarfs des Gesamtsystems entspricht. Diese entsprechen ca. 0.5% des Wiederbeschaffungswertes.

Das ASTRA betreut rund 338 Tunnelanlagen (Stand 2017) mit einer Gesamtlänge von rund 300 km (bzw. 450 km Röhrenlänge) und einem Alter zwischen 66 und 1 Jahren (Eröffnungsjahr). Davon sind rund 204 bergmännische Tunnel (Stand 2017). Über 100 Tunnel sind mehr als 40 Jahre in Betrieb, weitere 100 sind zwischen 20 und 40 Jahre in Betrieb.

In den letzten 10 Jahren haben sich die Unterhaltsausgaben für Tunnel mehr als veracht-facht. Die Mehrausgaben kamen einerseits der Erhaltung und der Verbesserung des bau-lichen Zustands zugute, andererseits sind sie auch eine Folge gesteigerter Anforderungen (z.B. an die Sicherheit). Zudem hat sich in dieser Periode auch die Anzahl Tunnel um 26% (gemessen am Wiederbeschaffungswert) erhöht. Zu guter Letzt dürfte auch eine Rolle ge-spielt haben, dass vor 10 Jahren erst 38% der Tunnelanlagen zustandsbewertet waren, während dieser Anteil (gemessen am Wiederbeschaffungswert) heute bereits 88% um-fasst.

Der Zustand der Infrastrukturen fasst das ASTRA mit einer Zustandsbenotung mit Zu-standsklassen zusammen (siehe Abb. 1). Der mittlere Zustand aller per Ende 2021 zu-standsbewerteten Tunnelanlagen beträgt 2.17 gemäss Netzzustandsbericht 2020 [16].

¹ Gemäss SN 640 907 [8] entspricht der Wiederbeschaffungswert den Kosten, welche erforderlich sind, ein aus dem Betrieb ausgeschiedenes Objekt zu ersetzen

Damit ist der Gesamtzustand schlechter als die vom ASTRA als Zielvorgabe gesetzte mittlere Zustandsnote von 1.90. Der grösste Teil davon ist in einem guten und akzeptablen Zustand (Zustandsklasse 1 und 2). Rund 20% weisen mittelschwere Schäden auf und müssen verstärkt überwacht werden. Nur einzelne Tunnelbauwerke sind in einem schlechten Zustand und müssen mittelfristig saniert werden.

Kurzbezeichnung Zustandsnote					
Zustandsklasse	Fahrbahnen	Kunstabauten, sowie Tunnel	BSA	Gesamtnetz	Beschreibung
1	gut	gut	gut	gut	Keine oder geringfügige Schäden
2	mittel	akzeptabel	annehmbar	annehmbar	Unbedeutende Schäden ohne Auswirkung auf die Sicherheit; bedingen eine verschärfte Überwachung
3	ausreichend	beschädigt	ungenügend	ungenügend	Mittelschwere Schäden ohne Auswirkung auf die Sicherheit; bedingen eine verschärfte Überwachung
4	kritisch	schlecht	schlecht	schlecht	Grosse Schäden ohne Auswirkung auf die Tragsicherheit oder Verkehrssicherheit. Mittelfristig ist eine Massnahme nötig.
5	schlecht	alarmierend	alarmierend	alarmierend	Dringliche Massnahmen sind erforderlich, z. B. Auswechseln eines Fahrbahnübergangs, Ersatz von Einzelelementen, Montage von provisorischen Abstützungen oder Einführung einer Gewichtsbeschränkung.

Abb. 1 Kurzbezeichnung der Zustandsnoten für die verschiedenen Infrastrukturobjekte und Beschreibung der Qualität in Worten aus [16]

Mit der Zunahme der Grösse und Komplexität des Nationalstrassennetzes, der Zunahme der Verkehrsbelastung und der Anforderungen steigt die Bedeutung und der Mittelbedarf des Erhaltungsmanagement u.a. von Tunneln. Ziel des Erhaltungsmanagement ist es, die Verkehrssicherheit und die Verfügbarkeit der Anlagen bei hoher Kostenwirksamkeit dauerhaft sicherzustellen.

Zum Thema Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln hat das ASTRA im 2014 einen Forschungsauftrag ausgelöst, welcher 2016 in einem Bericht zum Initialprojekt [35] mündete.

Das Initialprojekt schreibt in der Einleitung, dass «zum Thema Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen bereits umfassende Forschungsarbeiten durchgeführt wurden. Zum einen wurden Konzepte erarbeitet, welche die Strassenverkehrsanlagen als Gesamtsystem berücksichtigen und zum andern Konzepte, die sich auf Teilsysteme, insbesondere auf die Erhaltung des Trassees (offene Fahrbahn), der Brücken und der Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) beziehen. Während für die Kunstbauten und das Trassee bereits fortgeschrittene Modelle für die langfristige Erhaltungsplanung bestehen, befindet sich das Erhaltungsmanagement von Tunneln, auch im Hinblick auf eine künftige Integration dieses Teilbereiches in ein übergeordnetes systematisches Erhaltungsmanagement, noch in einem Anfangsstadium» [21], [7].

In der Schweiz ist die Erhaltung von bergmännischen Tunneln bisher eher projektbezogen und nicht systematisiert, behandelt worden. Tunnel werden alle fünf Jahre in einer Hauptinspektion inspiziert. Typischerweise werden die visuell erkennbaren Schäden auf Schadensskizzen nachgeführt, so dass die Schadensentwicklungen nachvollzogen werden können.

In naher Zukunft werden technologische und gesellschaftliche Entwicklungen das Verkehrssystem grundlegen beeinflussen. Die Veränderungen unter Nutzung der digitalen Technologien² erfordern in Zukunft auch in der Erhaltungsplanung Anpassungen und Weiterentwicklungen.

² Das ASTRA will in Zukunft vermehrt digitale Technologien nutzen. Bedeutende Anwendungsgebiete sind die Gewinnung und Verwaltung von Informationen sowie die Überwachung von Bauwerken, Naturgefahren und des Verkehrsgeschehens. Durch eine integrale Erhaltungsplanung kann diese damit in verschiedenen Bereichen optimiert werden (siehe auch [16], Seite 44).

1.1.2 Übergeordnete Fragestellungen im Forschungsprojekt

Im Initialprojekt [35] ist dargelegt, dass die Erhaltungsprozesse für Tunnel, im Vergleich zu Kunstbauten, nicht gebührend berücksichtigt und auch nicht standardisiert erfolgen. Im Initialprojekt wird empfohlen, durch weitere Forschungen Wissenslücken zu schliessen und die Erhaltungsmassnahmen in Abhängigkeit ihrer Wirkung, ihrer Kosten und ihres Ausführungsaufwandes zu systematisieren und zu katalogisieren. Als Ergebnis wird ein Steuerungsinstrument zur langfristigen Erhaltungsplanung und Erhaltungsentscheiden, sowohl für die präventiven als auch für die korrektiven Massnahmen, erwartet.

Im Initialprojekt [35] wurden folgende Wissenslücken für bergmännische Tunnel besonders hervorgehoben:

- Es fehlen trotz zahlreicher Studien und Richtlinien grundlegende Erkenntnisse für einen langfristigen und systematischen Planungsprozess für die Erhaltung von bergmännischen Tunneln;
- Es fehlen konkretisierte Gliederungen von Tunneln die einheitliche Abgrenzungen zu anderen Teilsystemen der Strasseninfrastruktur ermöglichen;
- Es bestehen Wissenslücken, welche spezifischen Schäden in Tunnel mit relevanten Schadensprozessen verknüpft werden können und wie sich insbesondere das Tunnelgewölbe (Verkleidung inkl. Abdichtung) über die gesamte Lebensdauer zeitlich verhält;
- Welche Inspektionsmethoden existieren im Bereich von bergmännischen Tunneln und wie zuverlässig sind sie in Bezug auf die Offenlegung von Schadensprozessen;
- Welche Auswirkungen haben Erhaltungsmassnahmen auf Tunnel und beteiligte Anspruchsgruppen;
- Wie sieht ein systematischer und stabiler Prozess der Entscheidungsfindung im Bereich der Erhaltung von bergmännischen Tunneln aus.

Für das Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln leiten sich folgende Ziele ab:

- Gewährleistung eines dauerhaft guten Zustandes zur Sicherstellung von Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit bis zu einem vom Anlagenbesitzer akzeptierten Restrisiko;
- Dafür erforderliche Erhaltungsmassnahmen sollen langfristig die Verfügbarkeit so wenig wie möglich beeinflussen und eine hohe Kostenwirksamkeit aufweisen.

Das Erhaltungsmanagement liefert langfristige, tunnelobjektbezogene Entscheidungsoptionen für Erhaltungsmassnahmen. Diese sind in einem übergeordneten Erhaltungsprozess mit den Entscheidungsoptionen aus anderen Teilsystemen zu Erhaltungsprojekten zusammenzuführen.

1.1.3 Fragestellung auf Einzelprojekt bezogen

Die geplanten und realisierten Erhaltungsmassnahmen sind das zentrale Element im Erhaltungsmanagementprozess, da sie für die Restlebensdauer resp. die ab erneuertem Zustand weiterführende Schadensentwicklung und damit verbundenen Kosten massgeblich sind. Das im vorliegenden Forschungsprojekt adressierte Hauptproblem besteht darin, den grossen Umfang der zur Verfügung stehenden Informationen zu Massnahmenkonzepten, deren Kosten, Wirksamkeit und Risiken so zu strukturieren, dass sie durch Standardisierung effizient und zielführend angewendet werden können.

Die Erhaltungsmassnahmen sollen pro Schadensprozess betrachtet werden, damit eine individuelle Nutzung im jeweiligen Anwendungsfall pro Tunnelobjekt in Entscheidungsmodellen (Problem-/ Schadensanalyse, Ableitung der adäquaten und kostenwirksamen Massnahmenkonzepte) möglich wird.

Dabei ist die Unterscheidung zwischen korrektiven- und präventiven Erhaltungsmassnahmen wichtig, weil die Eingriffe zu unterschiedlichen Stadien der Schadensentwicklung erfolgen, resp. sich die Wirkungsweisen unterscheiden bezüglich der einzelnen Schadensmechanismen, deren Gefährdungsgrad und Fortschreiten. Zum Beispiel stellen Oberflächenschutzsysteme für Betonoberflächen präventive, Betonreprofilierungen präventive

und korrektive und Betoninstandsetzungen mit Bewehrungsersatz korrektive Erhaltungsmassnahmen dar. Dabei unterscheiden sich die Erhaltungsmassnahmen in ihrer Wirkungsweise insofern, als dass die einen die (Rest)Nutzungsdauer durch Zustandsverbesserungen (korrektiv) verlängern, und die anderen eine Verzögerung der Alterung resp. Schadensentwicklung (präventiv) bewirken.

1.2 Grundlagen und Datenbasis

1.2.1 Normen und Richtlinien

Es existieren diverse für die Schweiz geltende Normen und Richtlinien, welche das Erhaltungsmanagement oder deren Teilprozesse umfassen. Diese gelten u.a. übergeordnet für Strasseninfrastrukturen (z.B. VSS-Normen) oder für Ingenieurbauten (v.a. SIA-Normen) sowie spezifischer als Richtlinien für Kunstbauten (z.B. in ASTRA Fachhandbüchern), welche bei Tunnel angewendet werden können. Die bekanntesten Normen und Richtlinien dazu sind:

- SN EN 640 900 (2022) – Erhaltungsmanagement (EM), Grundnorm; [9]
- SIA 469 (1997) – Erhaltung von Bauwerken; [4]
- SIA 269 (2011) – Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken; [6]
- Richtlinie Bundesamt für Strassen ASTRA (2005) – Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten. [2]

Diese und weitere für dieses Forschungsprojekt relevante Normen und Richtlinien sind Bestandteil der Literaturrecherche (Kapitel 1.2.2) und im Verzeichnis der Literatur im entsprechenden Anhang erfasst.

1.2.2 Literaturrecherche

Im Rahmen des EP3 wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, welche die ausführliche Zusammenstellung der Literatur des Initialprojekts [35] spezifisch für das EP3 aktualisiert und ergänzt. Die Erkenntnisse aus der Literatur sind insbesondere im Kapitel 1.3 «Stand der Praxis und Forschung (State of the Art)» des vorliegenden Berichts enthalten.

Auf Basis dieser Recherche wurde die ergänzte Literaturliste EP3 in elektronischer Form als CITAVI-Literatur-Datenbank für die weitere Verwendung der Literaturquellen erstellt. Diese ist Teil des Projekts bzw. der Schlussberichterstattung.

Das EP3-spezifische Literaturverzeichnis befindet sich im Anhang «Literaturverzeichnis» des vorliegenden Schlussberichts.

1.2.3 Fallbeispiele

Aufgrund der Wissenslücken, wie übergeordnet im Kapitel 1.1.2 aufgelistet, wurden neun Tunnelobjekte als Fallbeispiele für die Einzelprojekte EP1 - EP3 herangezogen, welche teilweise seit Jahrzehnten von den Partnern der INGE «Lombardi-EBP» betreut werden. Es handelt sich dabei ausschliesslich um bergmännische Strassentunnel, welche im Zuständigkeitsbereich einzelner ASTRA-Filialen bzw. deren Bereiche Erhaltungsplanung und Projektmanagement liegen.

Die verwendeten Fallbeispiele / Tunnelobjekte sind:

- (1) Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre;
- (2) Seelisbergtunnel;
- (3) Kerenzbergtunnel;
- (4) Gotschnatunnel;
- (5) Gubristtunnel;
- (6) Tunnel Belchen;
- (7) Tunnel Girsberg;

- (8) Sonnenbergtunnel;
- (9) Reussporttunnel.

Mit diesen neun Fallbeispielen wird das Tunnelportfolio des ASTRA gemäss Kapitel 1.1.1 gut repräsentiert. Es handelt sich um Tunnel verteilt auf die Schweiz mit unterschiedlicher Geologie. Die Tunnellängen reichen von weniger als 1 km bis hin zu 17 km des Gotthard-Strassentunnels, dem längsten Strassentunnel der Schweiz.

Die aufgeführten Strassentunnel decken zudem unterschiedlichste «Settings» ab, welche massgeblich die Zustandsentwicklung der Anlagen mitbestimmen: Von hochfrequentierten innerstädtischen, richtungsgetreten Tunneln bis zum Alpen-querenden Autobahntunnel mit Gegenverkehrsbetrieb auf über 1'000 Meter Höhe.

Auch bezüglich der Betriebsjahre decken diese neun Beispiele mit einem Alter von 21 bis 53 Jahren praktisch die gesamte Bandbreite ab. Wie unter Kapitel 1.1.1 beschrieben, ist der grösste Teil der Tunnel des ASTRA nicht älter als 50 Jahre alt. Entsprechend wurden sie von Anfang an als «Hochleistungs-Strassentunnel» für Nationalstrassen konzipiert und sind dadurch baulich bezüglich Bauart und Ausbaustandard deutlich homogener als z.B. im Vergleich zu den vielen verschiedenen Tunneln der SBB.

Die verwendeten Fallbeispiele bilden dieses vorhandene Bauart- und Ausbaustandard-Spektrum gut ab. Aufgezeigt werden dabei neben den verschiedenen Profiltypen (Kreis-, Maul-, Hufeisenprofil mit und ohne Sohlgewölbe) auch ein- und zweischalige Ausbauten, teilweise mit vorgestellten Wandplatten.

Fünf der neun Tunnel sind bereits seit mehr als 40 Jahren in Betrieb. Dies bedeutet, dass bei den meisten Tunnel bereits diverse Zustandsuntersuchungen und Instandsetzungsmassnahmen zusätzlich zu den regelmässigen Hauptinspektionen durchgeführt wurden.

Um die Ziele, gemäss Kapitel 1.1.2 zu erreichen, nämlich die Systematisierung und Katalogisierung von Schadensprozessen, Untersuchungsmethoden sowie Erhaltungsmassnahmen, wurden die Fallbeispiele hinsichtlich der objektspezifischen Erhaltungsplanung ausgewertet, analysiert und im Hinblick auf das Einzelprojekt dokumentiert.

Die Beschreibung der Tunnelobjekte, die als Fallbeispiele verwendet wurden, sind in Form von objektweisen Faktenblättern als Anhang I dem vorliegenden Schlussbericht EP3 angefügt.

1.3 Stand der Praxis und Forschung (State of the Art)

1.3.1 Aktueller Stand der Praxis und Forschung

Dieses Kapitel präsentiert den aktuellen Stand der Praxis und Forschung im Bereich des Erhaltungsmanagements von bergmännischen Tunneln sowohl in der Schweiz als auch im Ausland, mit besonderem Fokus auf die Systematisierung und Katalogisierung von Erhaltungsmassnahmen.

Im Hinblick auf den Erhaltungsprozess lässt sich vorläufig festhalten, dass der Tunnel nicht als Teilsystem, sondern als Teil der gesamten Kunstbauten bewertet wird. Dies führt dazu, dass die Anforderungen an die Erhaltung des Tunnels nicht angemessen berücksichtigt sind. Aus dem Initialprojekt [35] geht ebenso hervor, dass keine der darin genannten Quellen einen globalen Ansatz des Erhaltungsmanagementprozesses von bergmännischen Tunneln resp. eine übergreifende Integration der einzelnen Unterprozesse beschreibt. Ebenso kann als vorläufiges Fazit festgehalten werden, dass die meisten Veröffentlichungen zum Thema Erhaltung von Tunneln konkrete Tunnelprojekte und die tatsächlich ausgeführten Erhaltungsmassnahmen beschreiben. Systematische Massnahmenkataloge, welche auf Schadensprozessen basieren und das vorhandene Wissen für die systematische Verwendung in der Entscheidungsfindung nutzbar machen, werden nicht thematisiert.

In der Schweiz sind die Grundsätze für die Überwachung und den Unterhalt von bergmännischen Strassentunneln (insbesondere der Nationalstrassen) unter Berücksichtigung der übergeordneten UPlaNS-Strategie des ASTRA in [2] festgelegt. Mittels eines integralen Planungsansatzes über alle Fachbereiche (Trasse/Umwelt, Tunnel/Geotechnik, Kunstbauten und BSA) und der Bildung von entsprechenden Erhaltungsabschnitten sollen die Anzahl der Baustellen resp. die Verkehrsbehinderungen auf den Nationalstrassen minimiert und die für die Bauwerkserhaltung eingesetzten finanziellen Mittel optimiert werden.

Weiter soll dadurch die langfristige Sicherstellung von funktionstüchtigen und leistungsfähigen Nationalstrassen angestrebt werden. Die Bauwerkserhaltung umfasst gemäss [2] die nachfolgend chronologisch aufgeführten Phasen:

- Überwachung (Beobachtung – Inspektionen – Kontrollmessungen);
- Überprüfungen (generelle Überprüfung – detaillierte Überprüfung);
- Massnahmenplanung (Massnahmenkonzept – Massnahmenprojekt);
- Realisierung (Ausschreibung – Ausführung – Abnahme der Arbeiten).

Basierend auf Beobachtungen des Betriebs, der Zustandsbewertung aus den Inspektionen und ggf. den Kontrollmessungen gemäss des Überwachungsplans wird der Zustand des Bauwerks erfasst und beurteilt. Die Zustandsbeurteilung stellt das Ergebnis der Überprüfung dar und umfasst gemäss [2] eine «zusammenfassende Analyse und Bewertung der Informationen über den aktuellen Zustand und die bisherige Zustandsentwicklung und deren Konsequenzen im Laufe der festgelegten Restnutzungsdauer». Sie bildet die Grundlage für die Massnahmenempfehlung und anschliessende Massnahmenplanung. Falls die Ergebnisse der Inspektion dies erfordern, können dringliche Massnahmen oder Sofortmassnahmen angeordnet werden. Dies kann gemäss [35] bei schwerwiegenden Schäden am Tunnelbauwerk, z.B. infolge von speziellen Ereignissen, welche die Sicherheitsanforderungen und die Verfügbarkeit beeinträchtigen, eintreten. Diese Szenarien werden jedoch im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes nicht behandelt.

Das System KUBA, entwickelt vom ASTRA, spielt eine wichtige Rolle bei der Erhaltung der Strasseninfrastruktur in der Schweiz. Es bietet Instrumente zur Erfassung von Informationen zur Bausubstanz, Überwachung, Unterhalt und Umgestaltung sowie zur Planung von Erhaltungsmassnahmen. Diese Instrumente können als Führungs-, Planungs- und Organisationswerkzeuge eingesetzt werden.

Für die meisten Autobahntunnel dient KUBA 5.0 [3] als wichtige Informationsquelle und Grundlage zur Bewertung des Bauwerkszustands sowie zur Erfassung von beobachteten Schäden. Die für die Erhaltung relevanten Daten, wie Substanzdaten (Strukturierung von Infrastrukturobjekten, die das Bauwerk und seine Bauwerksteile abbilden, sowie Erfassung von Grunddaten), Daten zu Beteiligten und Dokumenten, sowie Daten zum erwarteten Verfall, sind in KUBA erfasst. Die Daten können in verschiedene Hauptkategorien eingeteilt werden wie zum Beispiel zur Substanz der Bauwerke, zur Inspektion oder Daten zur Erhaltung.

In KUBA werden zwar Empfehlungen zu dringlichen Massnahmen oder Sofortmassnahmen erfasst, was jedoch fehlt, ist eine Systematik bei der Bezeichnung der Erhaltungsmassnahmen, die Teil des Inspektionsprozesses sein soll.

Bei der Planung von Erhaltungsmassnahmen wird in KUBA 5.0 [3] zwischen Unterhaltungsmassnahmen und Umgestaltungsmassnahmen unterschieden, weil sich die Prozesse zu deren Bestimmung unterscheiden. Unterhaltungsmassnahmen sind primär ein Ergebnis des kontinuierlichen Verfalls von Bauwerken oder deren Bauwerksteile und können daher mittels mathematischer Modelle vorhergesagt werden. Umgestaltungsmassnahmen hingegen sind ein Ergebnis neuer Anforderungen und können aufgrund der Vielzahl an Möglichkeiten und Einflussfaktoren nur eingeschränkt vorhergesagt werden.

Die Unterhaltungsmassnahmen lassen sich in einen betrieblichen Unterhalt (Instandhaltung) und einen baulichen Unterhalt (Instandsetzung) gliedern [3]. Die Instandhaltung dient der Wahrung der Gebrauchstauglichkeit durch regelmässige und üblicherweise einfache Massnahmen. Sie umfasst ebenfalls die Behebung kleinerer Schäden. Als synonyme Begriffe

für Instandhaltung werden auch Funktioneller Unterhalt (Wahrung der Funktionstauglichkeit), Betrieblicher Unterhalt (Instandhaltung durch betriebseigene Organe) oder Wartung (Instandhaltung von technischen Anlagen) verwendet [3]. Die Instandsetzung dient der Wiederherstellung der Funktions- und Gebrauchstauglichkeit für eine vereinbarte Nutzungsdauer und unter Einhaltung einer ausreichenden Betriebssicherheit [3].

In Quellen aus Frankreich, Deutschland und Österreich gibt es nur wenige Hinweise auf ein Erhaltungsmanagement von Tunneln. Der Schwerpunkt liegt hauptsächlich auf Inspektionen und Bestandsaufnahmen sowie auf den Betrieb und die Instandsetzung der Tunnel.

Das Dokument der Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES) [13] bietet eine erste Übersicht über den Erhaltungsprozess. Es handelt sich um eine Zusammenfassung der aktuellen Praxis im Bereich des Erhaltungsmanagements von unterirdischen Bauwerken. Der Beitrag liefert jedoch nur allgemeine Konzepte für alle Typen von Tunnelbauwerken (Strassen, Bahn, U-Bahn, Wasserstollen usw.) und beschreibt den aktuellen Stand der Praxis in Bezug auf den Erhaltungsprozess, die Zustandserfassung, die Zustandsbewertung, die Risikomethodik und die Erhaltungsstrategie. Des Weiteren werden Datenbanken beschrieben und Beispiele für umgesetzte Erhaltungsmassnahmen für Strassentunnel, Bahntunnel (SNCF), U-Bahn (RATP), Stollen von Wasserkraftwerken und Abwassertunnel (SIAAP) aufgeführt.

In Deutschland wurden in den letzten Jahren Konzepte und Methoden zum Baumanagement durch die Forschungsreihen «Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstrassennetz» [18], [19] entwickelt. Diese Forschungsergebnisse bilden die Grundlage für ein umfassendes Bauwerks-Management-System (BMS), das die umfassende Erfassung und Bewertung des Bauwerksbestandes auf Objekt- und Netzebene ermöglicht. Die spezifischen Randbedingungen in Bezug auf den Bauwerksbestand und die gesetzlich festgelegte Verwaltungsstruktur wurden als wichtige Voraussetzungen berücksichtigt. Diese Konzepte richten sich primär an Kunstbauten, schliessen aber teilweise auch Tunnel ein.

Nach Abschluss des Initialprojekts im 2016 [35] wurde mit dem Projekt «Optimierte Instandsetzungsplanung der tunnelspezifischen baulichen und elektromaschinellen Ausrüstung mittels LCA» (OPTimAL) [17] in Österreich im September 2020 ein weiteres Forschungsprojekt mit vergleichbarer Zielsetzung abgeschlossen. Darin wurden erstmals fundierte Regellebenszyklen für die bauliche Infrastruktur sowie die BSA von Tunnelanlagen bereitgestellt. Damit sollen Investitionen bei Tunnelbauprojekten über den gesamten Lebenszyklus evaluiert und optimiert werden können, wobei alle Kosten, von der Erstellung, über den Betrieb, die Instandhaltung und Instandsetzung berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der Erstellung eines Massnahmenkatalogs für die bauliche Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln wurden im Projekt OPTimAL [17] folgende Herausforderungen erkannt:

- Bei der Instandsetzung handelt es sich um Massnahmen, welche sich von Bauteil zu Bauteil wesentlich unterscheiden;
- Auch innerhalb gleicher Bauteile kann eine Instandsetzungsmassnahme in Abhängigkeit des Schadensbildes und dem Instandsetzungsziel (z.B. langfristige vs. hinhaltende Instandsetzung) unterschiedlich ausfallen und sich in Art, Tiefe und räumlichem Eingriff stark unterscheiden. In der Regel divergieren diese auch je nach anlagenspezifischen Randbedingungen (Geologie, Verkehr, Hydrogeologie, Baustoffe, Bauqualität) und sind sehr ungleich über die Tunnellänge verteilt;
- Oftmals umfassen Instandsetzungsmassnahmen lokale Betoninstandsetzungen, örtliche Rohrsanierung, das Abdecken oder Abdichten undichter Fugen usw. Ein planbarer Umfang der Massnahmen einer bautechnischen Instandsetzung kann daher nicht allgemein gültig definiert werden;
- Das korrekte Ansetzen der bautechnischen Instandsetzungsmassnahmen in Lebenszyklusbetrachtungen setzt somit die Kenntnis der Art und des Umfangs der Massnahmen voraus. Da wäre erst ein objektspezifisches Instandsetzungsprojekt zu entwickeln, was zumindest für Portfoliobetrachtungen unpraktikabel ist.

Somit wurde im Projekt OPTimAL anhand der vorhandenen Informationen des Anlagenzustandes, der in Form einer Zustandsnote je Bauteil dokumentiert ist, ein Ansatz zur Verteilung des Zustandes über die Tunnelröhre getroffen. Für die baulichen Massnahmen können dann allgemein gültige Benchmarkkosten für bestimmte Bauteile angenommen werden, in Bezug auf den Teil des Tunnels, der eine bestimmte Zustandsnote überschreitet (z.B. anteilige Tunnellänge mit Bewertung 3 oder schlechter).

Zahlreiche Veröffentlichungen beschäftigen sich ausschliesslich mit Erhaltungsmassnahmen für Kunstbauten. So wurde in [24] die Instandsetzung von Galerien und die darin ergriffenen Massnahmen (Abtrag des chloridbelasteten Betons mit Hochdruckwasserstrahl und Reprofilierung bzw. Auftragung eines unbewehrten Vorbetons) und in [15] die Instandsetzung von Brücken behandelt. Besonders bezüglich der präventiven Massnahmen sind Tunnel oft nicht vollständig behandelt. Zum Beispiel wurden Oberflächenschutzsysteme für Beton insbesondere im Zusammenhang mit Kunstbauten behandelt [20], [34], [33], [10]. Die darin erläuterten Grundsätze und Massnahmenbeschreibungen können jedoch für Tunnel adaptiert werden.

In verschiedenen Quellen zum Thema Tunnelerhaltung wurden die Erhaltungsmassnahmen anhand von konkreten Tunnelprojekten beschrieben. So wurden im Handbuch für die Instandhaltung und Sanierung von Strassen- und Eisenbahn-Tunnel [38] präventive Massnahmen und Ausführungsempfehlungen für Instandsetzungen am Tunnelgewölbe vorgestellt. Insbesondere wurden abdichtende Massnahmen (Riss- und Abdichtungsinjektionen und Erstellung und Reparatur von Entwässerungsschlitzten) und Betoninstandsetzungen beschrieben. Weitere Instandsetzungsmassnahmen, welche die Abdichtung des Tunnelgewölbes betreffen, wurden in [12], [37], [23], [27] beschrieben und auf ihre Wirkungsweise untersucht. In [11] wurden Beton- und Bewehrungsinstandsetzungen wie auch Oberflächenschutzsysteme für das Tunnelgewölbe beschrieben.

Ein Massnahmenkatalog mit standardisierten Erhaltungsmassnahmen wurde in [39] für Fahrbahnen erstellt. Dabei handelt es sich um eine Zusammenstellung von relevanten Eigenschaften und Merkmalen bestimmter in der Praxis angewendeter Massnahmen, die zur Sanierung von definierten Schadensbildern von Fahrbahnen am geeignetsten sind. Gegliedert wurden die Massnahmen nach Reparatur, Instandsetzung bzw. Verstärkung und Erneuerung.

Eine Grundlage für die Katalogisierung der Massnahmen für Tunnelgewölbe wurde durch „Maintenance and Repair - Study of methods for repair of tunnel lining“ [26] gegeben. Die Massnahmen wurden unter zwei Gesichtspunkten gegliedert.

Einerseits Massnahmen, welche zum Ziel haben das strukturelle Tunnelgewölbe wiederherzustellen, das sich aufgrund von Faktoren wie Umwelteinflüssen, Betriebsbedingungen, mangelnder Ausführungsqualität und Alterung verschlechtert hat. Schäden aufgrund von Wassereintritten wurden unter diesem Gesichtspunkt ausgeklammert. Konkret wurden folgende Massnahmen aufgelistet:

- Betoninstandsetzungen (Reprofilierung mit Ortsbeton oder Spritzbeton ohne/mit Bewehrungsersatz bzw. -instandsetzung);
- Rissinjektionen mit Epoxidharzen;
- Instandsetzung von metallischen Strukturbauteilen;
- Instandsetzung von Ziegel-, Stein- und Quadermauerwerk.

Unter dem zweiten Gesichtspunkt wurden Massnahmen aufgelistet, die Schäden behandeln, welche durch Wassereintritte das Tunnelgewölbe verschlechtern haben. Konkret wurden folgende Massnahmen aufgelistet:

- Rissinjektionen;
- Instandsetzung von undichten Arbeits-, Block- oder Dehnungsfugen;
- Abdichtungsinjektionen in den anstehenden Baugrund.

1.3.2 Neue Massnahmen und Entwicklungen

Das Forschungsprojekt soll gemäss Pflichtenheft alle bekannten und erprobten Massnahmen für die Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln vollständig aufzeigen. Es sollen keine neuen Massnahmen evaluiert werden. Die Granularität, mit der die Massnahmen innerhalb des Forschungsprojektes und resultierenden Kataloges beschrieben werden, erlaubt es nicht, auf Entwicklungen je Massnahme einzugehen.

So kann zum Beispiel eine Erhaltungsmassnahme mit einer Vielzahl verschiedener Bauweisen erfolgen (Gleitschaltung, Vorfabrikation, Ortbeton, Spritzbeton etc.), welche sich wiederum im Detail unterscheiden und laufend weiterentwickeln.

An dieser Stelle können übergeordnete Trends, welche als die Treiber der Weiterentwicklungen identifiziert werden und aus Sicht Erhaltungsmanagement relevant sind dargelegt werden. Diese sind:

Bauen unter Betrieb: Totalsperren sind angesichts des zunehmenden Verkehrs immer schwieriger durchzusetzen. Entsprechend gibt es Bestrebungen, den Verkehr zumindest teilweise aufrecht zu erhalten. Ein Beispiel dafür ist der Montedomini Tunnel der Autobahn A14 in Italien, wo die «Nazzano» Methode zum Einsatz kam (siehe Abb. 2 und Abb. 3), ein Beispiel für die Tunnel-im-Tunnel Methode. Dabei wird ein Schlitz um die bestehende Tunnelröhre geschnitten und mit Spritzbeton verfüllt. Danach erfolgt der Ausbruch maschinell, bevor mittels eines mechanisch unterstützten Vortriebs die Elemente der vorgefertigten Innenschale versetzt werden. All diese Schritte laufen um einen temporären Schutzunnel ab, in dem der Verkehr ungestört weiterfliesst. [29]



Abb. 2 Nazzano Methode: mechanisch unterstützter Vortrieb im Fels mit Felssäge [32]

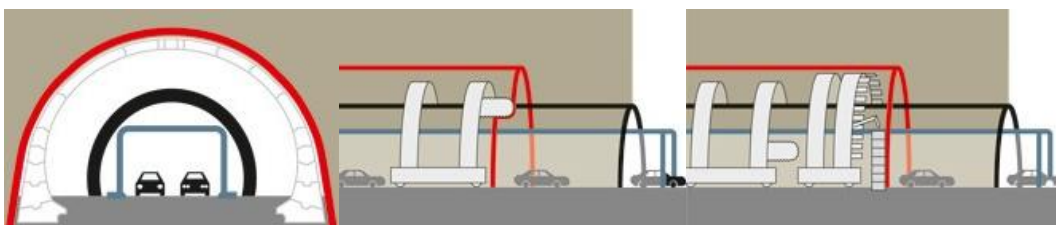


Abb. 3 Schutzunnel, bestehende Tunnelröhre und Querschnittserweiterung (Bild links): Spritzbeton (rot), Schutzunnel (blau), vorgefertigte Betonelemente (grau), ursprünglicher Durchmesser (schwarz). Schneidprozess gefolgt von Spritzbetonapplikation (Bild Mitte) und Einbau vofabrizierter Innenschale (Bild rechts) [32]

Automatisierung: die Digitalisierung bedeutet auch einen Schub in der Automatisierung. Analog zum Trend zur Automatisierung der Untersuchungsmethoden, erfolgen auch die Erhaltungsmassnahmen zunehmend gestützt durch automatische Systeme. Beispiele nebst dem oben gezeigten mechanisch unterstützten Vortrieb im Fels hierfür sind laserge-

gesteuerte Fertiger, Fräsköpfe, HDW-Roboter oder Bohrwagen, welche schneller, digital gesteuert und präziser und mit weniger Sicherheitsrisiken operieren. Ein weiteres Beispiel ist das automatische Versetzen von Stahlbögen, welches in der Sanierung vom Engelbergtunnel bei Leonberg in der Region Stuttgart eingesetzt wurde (siehe Abb. 4). [28]



Abb. 4 Versetzroboter für Stahlbögen [28]

Ein interessantes Beispiel aus dem Bahnbau ist die Normalbauweise der Rhätischen Bahn, welche ein Verfahren für die anstehenden Erneuerungen eines Grossteils der Tunnel mittels vorfabrizierter Elemente entwickelt hat. Durch die standardisierten Methoden in Management, Planung und Ausführung wird die Produktivität erhöht; Kosten und Zeit werden eingespart. [31]

1.4 Zweck und Ziel des Einzelprojektes

1.4.1 Übergeordnetes Hauptziel des Forschungsprojektes

Übergeordnetes Hauptziel des Forschungsprojektes ist es, die Grundlagen für das Erhaltungsmanagement von bergmännischen Strassentunneln zu verbessern und zu systematisieren, damit stabile Erhaltungsentscheide und kosteneffiziente Erhaltungsmassnahmen gewährleistet sind.

Die Erhaltungsplaner erhoffen sich im Rahmen der integralen Erhaltungsplanung Instrumente nutzen zu können, um Erhaltungsentscheide systematischer und nach vereinheitlichten Vorgehen treffen zu können. Diese Erhaltungsentscheide beziehen sich primär auf den Verfahrensschritt «Projektgenerierung» (siehe auch Abb. 6). Die Systematisierung des Erhaltungsprozesses bzw. des Entscheidungsprozesses dient auch der Transparenz der Entscheide. Damit soll erreicht werden, dass sowohl die Erhaltungsentscheide als auch die dazugehörigen Kostenbudgets im weiteren Projektierungsverlauf stabil bleiben.

Das Ziel der Kosteneffizienz von Erhaltungsmassnahmen ist aufgrund des laufend zunehmenden Umfangs und Alters der Infrastruktur geboten. Sie lässt sich aber nur schwer messen und wird von vielen Faktoren beeinflusst (Erhalt des Restwertes, Erkennen der Schadensprozesse und -entwicklung, Nutzungseinschränkung während der Umsetzung von Erhaltungsmassnahmen, Wirksamkeit und Nachhaltigkeit von Massnahmen). Die Kosteneffizienz dürfte sich am ehesten übergeordnet auf Netzebene und langfristig messen lassen. Ein sinnvolles, messbares Ziel der Kosteneffizienz könnte sein, dass der angestrebte mittlere Zustand von 1.90 (siehe Kapitel 1.1.1) über alle Tunnelanlagen bei einem vorgegebenen Anteil des jährlichen Erhaltungsbudget vom Wiederbeschaffungswert nicht überschritten wird.

Zudem sollen die Voraussetzungen verbessert werden, die Möglichkeiten der digitalen Technologien im Rahmen des Erhaltungsmanagements in Zukunft optimal und vermehrt nutzen zu können, sei es zur Gewinnung, Verwaltung und Auswertung von Informationen

oder sei es durch den Einsatz von Sensoren und Lasertechnologien zur Ergänzung von Bauwerksinspektionen.

1.4.2 Beitrag des Einzelprojektes zum Hauptziel

Das EP3 leistet einen wesentlichen Beitrag an das übergeordnete Ziel zur Verbesserung der Systematisierung der Erhaltungsplanung und zur Sicherstellung von stabilen Erhaltungsentscheiden und kostenwirksamen Massnahmen. Ziel ist, dass die erfassten Erhaltungsmaßnahmen mit den benötigten Informationen als Grundlage für die Erhaltungsplanung zur Verfügung gestellt werden und als Hilfe für die standardisierte Beschaffung von Erhaltungsleistungen herangezogen werden können.

Wichtig zu erwähnen ist, dass es sich um ein praxisorientiertes Forschungsprojekt handelt. Die zukünftigen Anwenderinnen der zu erarbeitenden Systematik (FaS Erhaltungsplanung, Ingenieurinnen, Inspektorinnen, Inspektoren, Sachverständige) werden von Anfang an in das Zentrum gerückt. Um trotz der Vielzahl an Nutzerinnen und Nutzer mit unterschiedlichen Fachkenntnissen stabile, nachvollziehbare und wiederholbare Entscheidungen zu gewährleisten, ist es notwendig, die Komplexität zu verringern. Dazu sind die in Strassentunnel vorkommenden Bauwerksteile und Bauarten, die möglichen, u.a. durch geeignete Untersuchungsmethoden bestätigten Schadensprozesse, sowie deren Konsequenzen auf wenige, dafür in allen Strassentunnel gleich und objektiv beurteilbare Grundlagen und Attribute zu reduzieren.

Im Einzelnen hat das Einzelprojekt EP3 folgende Ziele:

- Die Massnahmen pro Schadensprozess sollen systematisiert und in Abhängigkeit ihrer Wirksamkeit und Effizienz, ihrer Folgekosten während der Nutzung, ihres Ausführungsaufwandes und ihres Langzeitverhalten katalogisiert werden;
- Der Massnahmenkatalog soll vollständig sein, d.h. alle bekannten, erprobten Massnahmen für die bauliche Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln in der Schweiz sollen darin berücksichtigt sein. Dazu gehören auch Massnahmen für die übrigen Kunstbauten, sofern sie in Strassentunnel auch angewendet werden können. Für jeden möglichen und bekannten Schadensprozess (gemäss EP1) sind mindestens 3 nachweislich wirksame Massnahmen im Massnahmenkatalog aufzuführen;
- Der Massnahmenkatalog soll für jede der beschriebenen Massnahmen die relevanten Informationen für eine wirksame und effiziente Massnahmenplanung zur Instandsetzung und Erneuerung von Bauwerken umfassen. Zu den relevanten Informationen gehören zum Beispiel folgende Informationen:
 - Korrekte bzw. anerkannte Bezeichnung;
 - Beschreibung der Massnahme;
 - Schadensprozess (in Abstimmung mit dem Schadensprozesskatalog EP1)
 - Tunneltyp;
 - Bauelement-, Bauwerksteiletyp;
 - Wirkung und Ziel der Massnahme (vgl. SIA 269 (2011), Ziffer 7.2.1.1 [6]);
 - Hinweis auf Langzeitverhalten/langfristige Auswirkungen auf Zustand, Kosten und Nutzer nach Umsetzung der Massnahme;
 - Hinweise zur Beurteilung der Wirksamkeit und Effizienz;
 - Risiken (Gefahren und Chancen sowie Unsicherheit der Massnahmen);
 - Hinweise auf Voraussetzungen in Bezug auf Zugänglichkeit, Umgebungsklima, Materialien, etc.);
 - Hinweise und Daten zur Erstellung von Arbeitsprogrammen (Material- Geräte- und Personalbedarf, Dauer für Ausführung, Kostentreiber und Ausführungsart);
 - Fallbeispiele und Literatur;
 - Produktdokumentation und Anbieterlisten;

- Der Massnahmenkatalog soll eine Grundlage für das EP4 (Entscheidmodell) und EP5 (Kostenmodell) darstellen. Er soll in einer Form vorliegen, dass er später bei Bedarf in bestehende (KUBA) oder neue Datenmodelle und –banken (z.B. BIM) einfach implementiert und weiterentwickelt bzw. –verwendet werden könnte.

1.5 Erwartete Resultate und Nutzniessung

Als Resultat der Forschungsarbeit EP3 liegt ein systematischer Massnahmenkatalog vor, welcher einfach anwendbar ist und dessen Gliederungsstruktur die Erweiterung von weiteren, zukünftigen Erhaltungsmassnahmen erlaubt. Der Massnahmenkatalog bildet somit die Grundlage für die adäquate und zielführende Auswahl von effektiven und effizienten Massnahmen, welche massgeblich die Kosten und Wirksamkeit des Erhaltungsmanagementprozesses bestimmen.

Nutzniesser des übergeordneten Forschungsprojektes ist zur Hauptsache das operative Erhaltungsmanagement der Tunnelanlagen, namentlich die FaS Erhaltungsplanung (EP) der einzelnen Filialen und ihre Inspektionsteams und beauftragten privaten Ingenieurbüros. Das Forschungsprojekt enthält für die Inspektionsteams und beauftragte private Ingenieurbüros eine Bestandsaufnahme der Inspektions- und Überwachungsmethoden sowie eine detaillierte Auflistung aller in der Schweiz erprobten Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Tunnel, welche zuvor als Kataloge nicht zur Verfügung standen.

Neben den Erhaltungsplanern in den Filialen dient das Forschungsprojekt auch der im Jahr 2018 neu geschaffenen «Erhaltungsplanung Zentrale» in Ittigen, welche die organisatorische Drehscheibe der Erhaltungsplanung im ASTRA übernehmen soll. Das Forschungsprojekt kann damit auch Grundlagen für die netz- und systemübergreifende Zustandsbewertung und das strategische Erhaltungsmanagement liefern.

Die indirekten Nutzniesser werden die Nutzer der Infrastruktur und damit die Verkehrsteilnehmer sein, welche dank effizienter Massnahmen mit weniger Behinderungen und geringeren Kosten rechnen dürfen.

1.6 Definition Erhaltungsprozess und Abgrenzung

1.6.1 Erhaltungsprozess und Projektgenerierung

Die Prozesse des Erhaltungsmanagements des ASTRA sind in den Richtlinien 11002 «Planung und Durchführung des Unterhalts» [1] und 12002 «Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen» [2] geregelt. Bergmännische Tunnel sind dem Teilsystem Kunstbauten angegliedert. Das Erhaltungsmanagement stützt sich u.a. auf die SIA Normen 469 «Erhaltung von Bauwerken» oder die «Grundnorm Erhaltungsmanagement» SN 640 900 [9]. Die Abb. 5 zeigt den Prozess des Erhaltungsmanagements aus dieser Grundnorm.

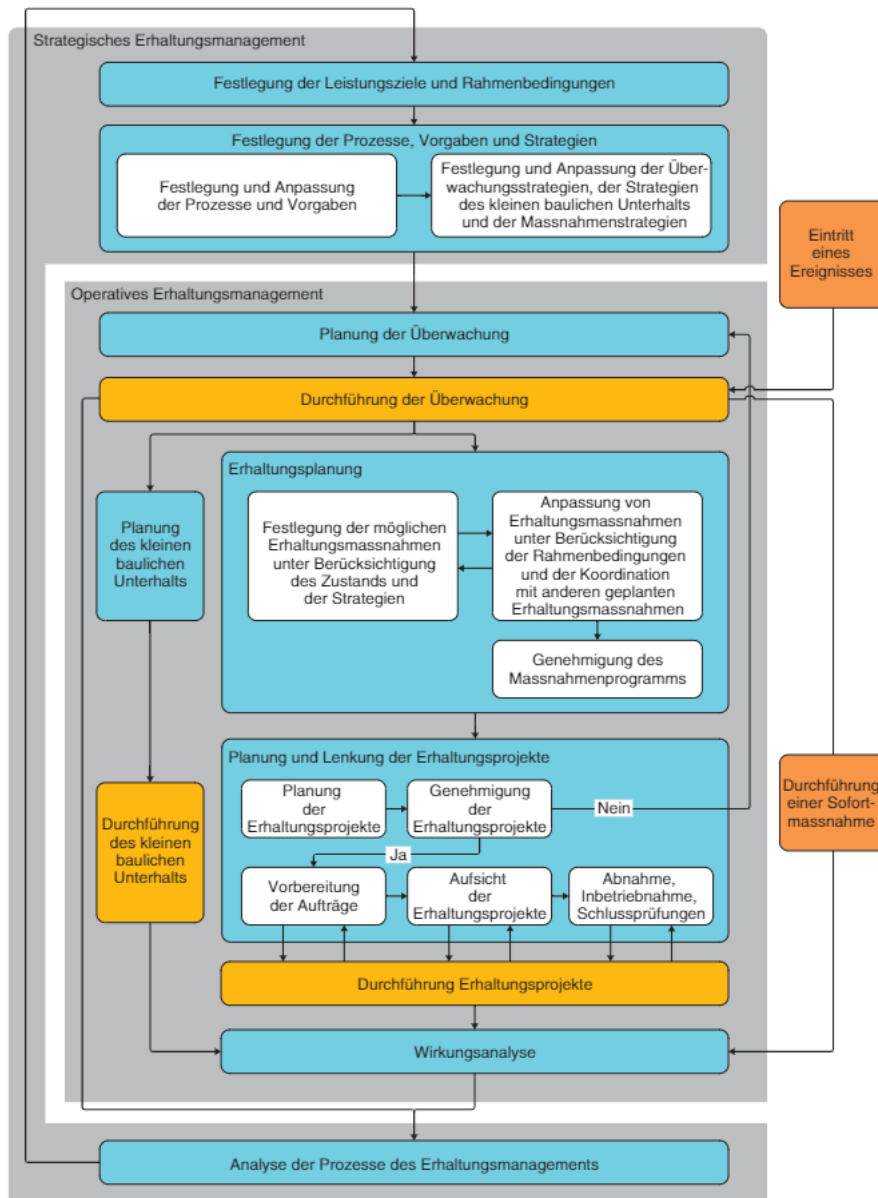


Abb. 5 Prozesse des Erhaltungsmanagements gemäss SN 640900 [9]

Im Rahmen des übergeordneten Forschungsprojektes wird der nachfolgende Erhaltungsprozess gemäss Abb. 6 zugrunde gelegt, welcher auf einen Vorschlag des Einzelprojekt EP4 basiert und auf ASTRA Kunstbauten ausgelegt ist.

Ausgehend von einem Ereignis oder Befund auf Ebene des operativen Erhaltungsmanagements sind zu verschiedenen Zeitpunkten Aufgaben wie Überwachung und Überprüfung

der Tunnelanlagen und die Beurteilung des Zustandes mit Bezug auf verschiedene Leistungsindikatoren aufgeführt. Je nach Abweichung der Leistungsindikatoren zu einem Soll-Zustand sind Handlungsoptionen zu prüfen, welche allenfalls zu einem Entscheid für die Generierung eines Erhaltungsprojektes führen können. Mit dem Entscheid geht die Tunnelanlage als Projektauftrag in die Verantwortung des Projektmanagements über.

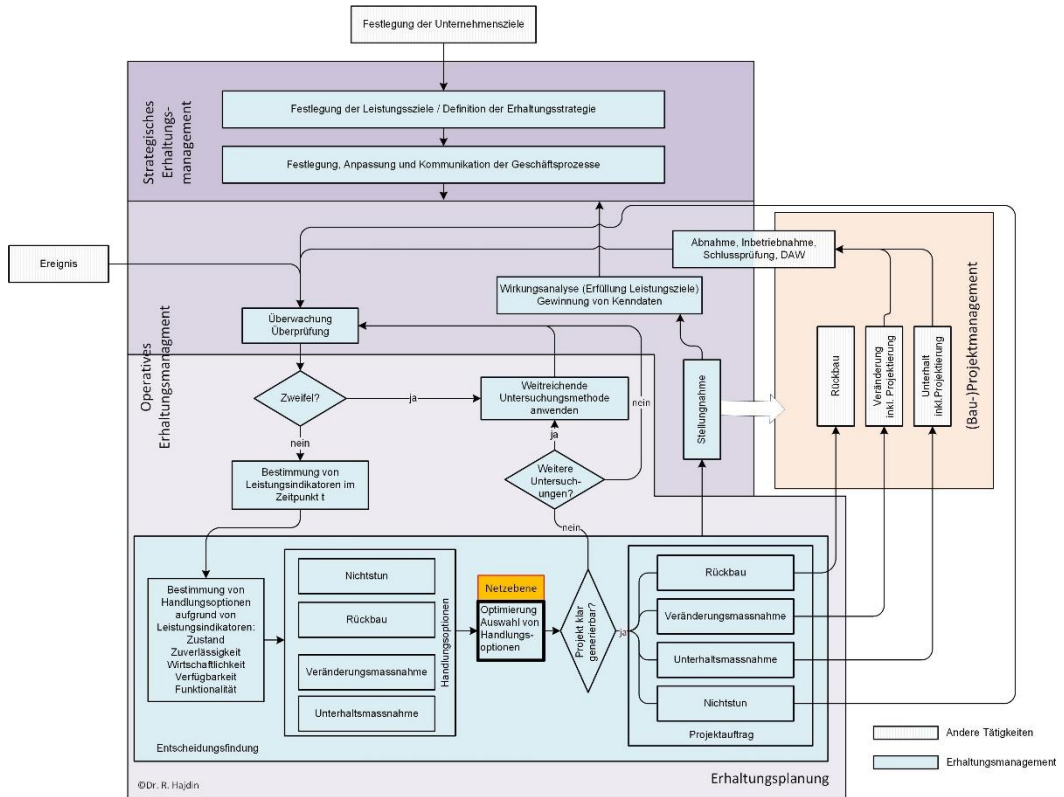


Abb. 6 Aufgaben im Erhaltungsprozess gemäss Vorschlag Einzelprojekt EP4

Eine zentrale Aufgabe im systematischen Erhaltungsmanagement bildet die Vorbereitung der Entscheidungsfindung zur Projektgenerierung. Teil der Projektgenerierung ist auch der Vorschlag der gewählten Handlungsoption. Im Rahmen des übergeordneten Forschungsprojektes wird der Entscheidungsfindungsprozess gemäss Abb. 7 zugrunde gelegt, welcher auf einem Vorschlag des EP4 [25] basiert.

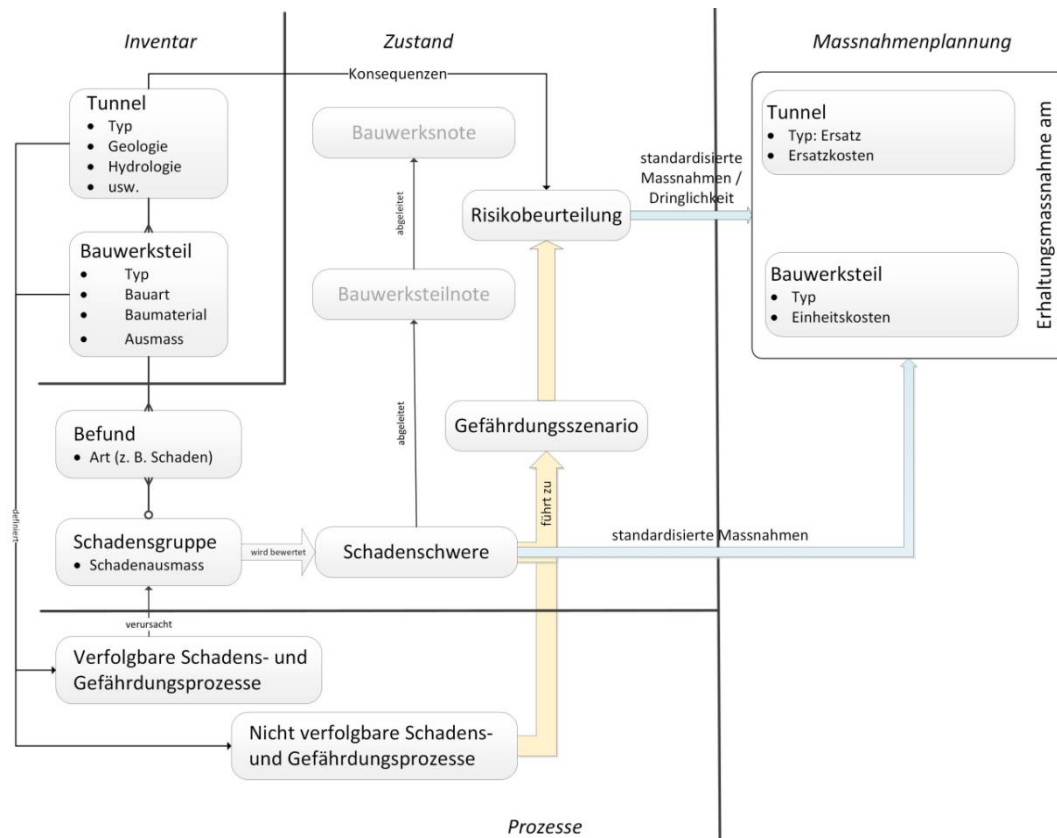


Abb. 7 Entscheidungsfindungsprozess in der Erhaltungsplanung von bergmännischen Strassentunnel (Quelle Einzelprojekt EP4)

1.6.2 Abgrenzung Forschungsprojekt

Im Erhaltungsmanagement unterscheidet das ASTRA die vier Fachbereiche Trasse, Kunstbauten, Tunnel sowie Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen, wobei der Fachbereich Tunnel sämtliche Elemente der bergmännisch erstellten Tunnelstrukturen umfasst [16].

Dieses Forschungsprojekt berücksichtigt somit ausschliesslich die bergmännisch erstellten baulichen Tunnelstrukturen bestehend aus dem Aussen- und Innengewölbe, der Fahrbahn inkl. Fahrbahnkonstruktion oder Werkleitungskanal, der Zwischendecke und dem Entwässerungssystem sowie alle bergmännisch erstellten, funktional zur Tunnelstruktur gehörenden Nebenbauwerke wie Sicherheitsstollen (SISTO), Querverbindungen, SOS/ Hydrantenrischen, Aufweitungen und Überfirstungen sowie Energieversorgungsstationen und Lüftungszentralen inkl. Lüftungsschächte.

Nicht Gegenstand des Forschungsprojektes sind die Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) eines Tunnels, welche Bestandteil eines separaten Fachbereichs sind.

Der Fokus des Forschungsprojektes gilt dem operativem Erhaltungsmanagement auf Stufe des einzelnen Tunnelobjekts (d.h. Objektebene) und nicht der strategischen Netzebene. Unter Netzebene wird gemäss Begriffsdefinition SN 640 900 [9] die Gesamtheit der Strassenabschnitte des Nationalstrassennetzes verstanden. Letzteres schliesst aber nicht aus, dass die Forschungsergebnisse auch von Nutzen für das strategische Erhaltungsmanagement auf Netzebene sein kann.

Im Forschungsprojekt sollen nur Erhaltungsaspekte systematisiert werden, welche auf externe Angriffsfaktoren, Verfallsprozesse und alters- und abnutzungsbedingte Materialentwicklungen zurückgeführt werden können. Erhaltungsbedarf als Folge von Nutzungsänderungen (z.B. Mehrverkehr), geänderter Anforderungen (z.B. Normkonformität) oder BSA-induzierter baulicher Anpassungen sind nicht Gegenstand dieses Forschungsprojektes.

In Bezug auf die Projektplanung bzw. Projektstufe steht der objektspezifische Erhaltungsentscheid zur Projektgenerierung durch die Erhaltungsplanung im Vordergrund des Forschungsprojektes. Die Umsetzung des Erhaltungsentscheids in der Verantwortung des Projektmanagements (PM) ist hingegen nicht Gegenstand des Forschungsprojektes, obwohl die Ergebnisse auch hierzu einen Nutzen bieten können.

1.6.3 Definitionen und verwendete Terminologie

Die im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit geltenden Definitionen und die verwendete Terminologie sind im Glossar ersichtlich.

1.7 Methodik der Forschungsarbeit

Generelles Vorgehen Gesamtprojekt:

Auf Basis des Erhaltungsprozesses von bergmännischen Tunneln (vgl. Kapitel 1.6.1) wurden im Rahmen des Initialprojektes [35] Teilprozesse identifiziert, für welche spezifische Grundlagen zu erarbeiten sind. Auf dieser Basis wurde im Initialprojekt eine Untergliederung des Forschungsvorhabens in folgende 6 Einzelprojekte (EP) vorgeschlagen:

- Einzelprojekt EP1: **Zustand** (Beschreibung der Schadensprozesse und des Langzeitverhaltens bei Tunnel);
- Einzelprojekt EP2: **Diagnostik** (Überwachungs- und Inspektionsmethoden);
- Einzelprojekt EP3: **Massnahmen** (Festlegung der Erhaltungsmassnahmen);
- Einzelprojekt EP4: **Entscheidungen** (Entwicklung eines Entscheidungsmodells);
- Einzelprojekt EP5: **Kosten** (Kostenmodell für die Erhaltung von bergmännischen Tunneln und Auswirkungen);
- Einzelprojekt EP6: **Umsetzung** (Praktische Umsetzung, Aufbau einer Tunneldatenbank-Skizze durch ein Prototyp).

Ausgehend vom Erhaltungsprozess bestehen mehr oder weniger bedeutende Schnittstellen zwischen den Einzelprojekten, welche in Abb. 8 dargestellt sind. In der Abbildung wird zwischen Haupt- und Nebenschnittstellen unterschieden. In der Leseart bedeuten Hauptschnittstellen in Pfeilrichtung, dass die Angaben des Vorgänger-Einzelprojektes ein notwendiger (aber nicht hinreichender) Input für das Folge-Einzelprojekt sind. Nebenschnittstellen zeigen mögliche weitere Inputdaten, die aber nicht zwingend für das Folge-Einzelprojekt sind.

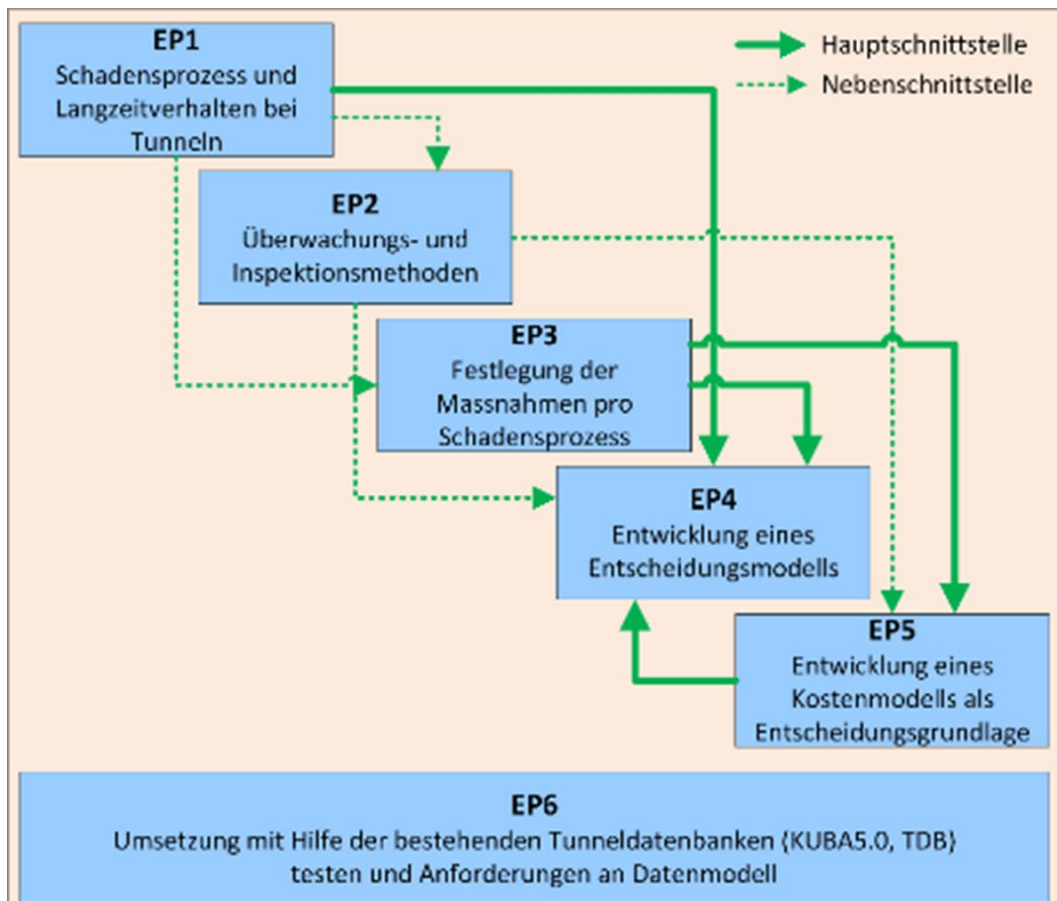


Abb. 8 Einzelprojekte und ihre Schnittstellen (Pflichtenheft EP3)

Zu Beginn des Forschungsprojektes wurde auf Anraten der Begleitkommission entschieden, dass das Einzelprojekt EP6 nicht gleichzeitig erarbeitet werden soll bzw. vorerst zurückgestellt werden soll. Die erfolgreiche Umsetzung eines Datenmodells bedingt eine klare Beschreibung der Rahmenbedingungen und Anforderungen. Diese sind aber zuerst durch die 5 Einzelprojekte EP1-5 zu entwickeln und abzustimmen, bevor ein dazu notwendiges Pflichtenheft erstellt werden kann.

Generelles Vorgehen / Methodik EP1 bis EP3

Die Methodik der Forschungsarbeit wurde in enger Abstimmung mit den weiteren EPs definiert und auf die künftige praktische Umsetzung ausgerichtet. Sie orientiert sich an den Grundsätzen des wissenschaftlichen Arbeitens. Die Bearbeitung erfolgte analytisch und die Ergebnisse werden im Rahmen des vorliegenden Schlussberichts objektiv nachvollziehbar erläutert. Die verwendeten Quellen werden spezifisch in jedem Einzelprojekt offengelegt (siehe u.a. Kapitel 1.2.2) und nach Möglichkeit werden mehrere berücksichtigt, um eine kritische Auseinandersetzung mit den jeweiligen Erkenntnissen zu gewährleisten. Es wird klar ausgewiesen, wenn es sich bei den verwendeten Grundlagen um Praxiserfahrungen der Projektverfasser handelt, welche nicht mit wissenschaftlichen Arbeiten und entsprechenden Quellenangaben belegbar sind. Das gewählte Vorgehen entspricht zudem den Vorgaben des Initialprojekts (vgl. [35]). Die Vorarbeit in Form der Formulierung der Forschungsfragen, der Gliederung der wissenschaftlichen Arbeit und die Literaturrecherche wurden im Rahmen des Initialprojekts bereits weitestgehend abgeschlossen. Sie wird im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes stellenweise mit themenspezifischen Punkten und neuen Erkenntnissen ergänzt.

Die zu erarbeitenden Kataloge wurden so erstellt, dass sie später einfach in eine Datenbank überführt werden können. Die Datenstruktur wurde so gewählt, dass zukünftige Entwicklungen einfach integriert und antizipiert werden können. Des Weiteren ist die Durchgängigkeit der Datenstruktur innerhalb der einzelnen EPs gewährleistet.

Dies erfolgt über eine einheitliche Gliederung der Bauwerksteile und Bauarten für bergmännische Strassentunnel durch das EP1 (vgl. Kapitel 1.9 und 2.1), welche allen EPs als Bezugsgrösse dient, die unterschiedlichen Detaillierungsgrade der einzelnen EPs berücksichtigt und somit die spätere Vernetzung der Informationen der einzelnen Kataloge in der Datenbank einfach zulässt. Die erarbeitete Gliederung baut auf der bestehenden Struktur von KUBA 5.0 [3] auf, wobei diese wo nötig ergänzt wurde, sodass die bestehende Wissensdatenbank weiterhin genutzt und gleichzeitig bauliche Strukturen von bergmännischen Strassentunneln zukünftig vollständig abgebildet werden können. Aktuelle Entwicklungen wie z.B. im Bereich BIM, wurden insofern mitberücksichtigt, dass mit der vorgeschlagenen Gliederung eine Überführung der aufgearbeiteten Informationen in zukünftige Bauwerksdatenbanken (z.B. Digitaler Zwilling) einfach möglich sein wird. Die Datenanforderungen an die zu erarbeitenden Kataloge wurden zu Beginn des Forschungsprojektes an mehreren Workshops mit dem Datenmanager EP4 festgelegt und unter Berücksichtigung der Inputs und Erfordernisse der restlichen EPs umgesetzt. Die Katalogisierung der Informationen und Daten erfolgt mittels Excel. Dieses ermöglicht ein Export in ein offenes und weiterverwendbares Dateiformat und kann bei Bedarf durch Plugins und grafische Programmiersoftware ergänzt werden.

Spezifisches Vorgehen / Methodik beim EP3

Die Gliederungsstruktur der Erhaltungsmassnahmen wurde unter Berücksichtigung der bestehenden Struktur von KUBA 5.0 [3] aufgebaut. Die Vollständigkeit des M.-Katalogs wurde anhand der Praxiserfahrung von aktuellen Fallbeispielen, diverser Literaturangaben und unter Berücksichtigung aller Erhaltungsmassnahmentypen gemäss EP, HI-Massnahmengliederung überprüft. Der erarbeitete M.-Katalog erlaubt die Verknüpfung mit der Bauwerksteil und -art und den Schadensprozessen, so dass jedem Schadensprozess mit Massnahmen aus dem Katalog begegnet werden kann.

In enger Abstimmung mit EP4 (Entscheidungsmodell) und EP5 (Kostenmodell) wurden die als relevante Informationen aufgeführten Attribute identifiziert und erfasst. Des Weiteren wurde mit der Reduktion einer Versagenswahrscheinlichkeit (Probability of Failure) eine Methode vorgeschlagen, nach welcher Massnahmen bezüglich ihrer Wirksamkeit und Effektivität beurteilt werden können. Beruhend darauf kann der M.-Katalog für quantifizierte Aussagen genutzt werden (Output EP4).

1.8 Ablauf und Organisation des Forschungsprojektes

1.8.1 Organisation und Beauftragter

Organisation Forschungsprojekt

Basierend auf den Empfehlungen des Initialprojektes [35] beauftragte das ASTRA für die Gesamtprojektleitung die Firma ILF Beratende Ingenieure AG. Die Gesamtprojektleitung (GPL) war für die organisatorische Koordination des gesamten Forschungspaketes und der übergreifenden fachlichen Einbettung der erarbeiteten Ergebnisse in den Einzelprojekten zuständig. Zudem erstellt die Gesamtprojektleitung einen Synthesebericht «Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln» [22], in welchem die Untersuchungen und Ergebnisse aller fünf Forschungsvorhaben EP1 bis EP5 zusammenfassend dargestellt werden.

Die fünf Einzelprojekte wurden separat ausgeschrieben, wobei die Einzelprojekte EP1 bis EP3 durch ein und dieselbe Forschungsstelle in Form einer Ingenieurgemeinschaft aus zwei Ingenieurbüros umgesetzt wurden. Die beiden übrigen Einzelprojekte wurden ebenfalls von zwei unterschiedlichen Ingenieurgemeinschaften abgewickelt, wobei einzelne Firmen in verschiedenen Forschungsstellen mitwirkten.

Die Begleitkommission (BK) besteht aus 7 Mitgliedern, einem Präsidenten, 3 Mitgliedern, welche in anderen Infrastrukturanlagenbetreibern Funktionen im Erhaltungsmanagement wahrnehmen und 3 Mitgliedern des ASTRA.

Beauftragte und Organisation Einzelprojekt EP3

Die Einzelprojekte EP1 bis EP3 wurden durch die INGE «Lombardi – EBP» erarbeitet. Die Projektleitung der INGE erfolgte durch Philipp Rietmann (EBP Schweiz AG) und Patrick Beeler (Lombardi AG) mit Unterstützung durch Hannes Heller (EBP Schweiz AG) und Maren Katterbach (Lombardi AG).

Innerhalb der INGE war die EBP Schweiz AG (EBP) verantwortlich für das EP3 «Festlegung von standardisierten Erhaltungsmassnahmen pro Schadensprozess». Die vorliegende Forschungsarbeit vom EP3 wurde durch Jürg Portner (PL) und Nikola Vasic erarbeitet.

Die übergeordnete Koordination mit den anderen EPs, der GPL und der BK erfolgte über die Projektleitung der INGE Lombardi – EBP mit Unterstützung durch Reto Weishaupt, Jürg Portner und Nikola Vasic.

1.8.2 Ablauf und Bearbeitungszeitraum

Gegenüber dem ursprünglich geplanten Zeitplan und Ablauf des Forschungsprojektes wurden aus verschiedenen Gründen Anpassungen erforderlich. Es hat sich gezeigt, dass die Bearbeitung der ersten beiden Arbeitspakete, Grundlagenstudium und Katalogerstellung, mit der intensiven Koordination und dem iterativen Vorgehen unter den Teilprojekten EP1 bis EP3 mehr Zeit in Anspruch nahm als im ursprünglichen Terminprogramm dafür vorgesehen war. Dazu kamen die diversen Absprachen zu den übergeordneten Schnittstellen bzw. nachgelagerten «Datenlieferungen», u.a. mit dem EP4, welche ebenfalls einen Einfluss auf die Art der Strukturierung der Kataloge EP1 / EP2 / EP3 und deren interne «Verknüpfungen» hatte. Rückblickend lässt sich der Zeitablauf folgendermassen gliedern:

Tab. 1 Ablauf- und Bearbeitungszeitraum

Phase	Zeitraum
Projektstart:	Januar 2021
Arbeitspakete 1 (Grundlagenstudium) und 2 (Katalogerstellung):	März 2021 bis April 2022
Arbeitspaket 3 (Dokumentation Vorabzug 1):	Februar bis Juni 2022
Bereinigung Rückmeldung BK + GPL zu Vorabzug 1:	Juli bis September 2022
Bereinigung Schlussbericht und Abgabe:	Oktober 2022 bis März 2023
Schlussprüfung Rückmeldung zu Abschluss:	März bis April 2023
Abschluss Schlussbericht und Forschungsprojekt EP3:	Mai bis Juni 2023

Die Bearbeitungsdauer des Forschungsprojektes erstreckte sich über 30 Monate zwischen Januar 2021 und Juni 2023.

Im Rahmen mehrerer Begleitkommissionssitzungen wurde der Fortschritt der Arbeiten präsentiert. Die Begleitkommission unterstützte die Forschungsstelle (EPs) und überwachte die Forschungsarbeiten laufend sowohl inhaltlich wie auch terminlich und finanziell. Zudem wurden bei mehreren EP-übergreifenden Workshops mit Beteiligung der GPL die Anforderungen an die Daten und die Struktur der zu erstellenden Kataloge gemeinsam festgelegt, Modelle und Forschungsansätze abgestimmt und die Koordination der Schnittstellen detailliert vorgenommen. Innerhalb der INGE «Lombardi-EBP» erfolgte die Koordination der Forschungsarbeiten und die Detailabstimmung der Kataloge EP 1 bis EP3 im Rahmen von Arbeitssitzungen auf Stufe Projektleitung und Sachbearbeitung.

1.9 Bauwerksgliederung unter Berücksichtigung der Anforderungen des ASTRA

Die Kunstbauten der Nationalstrassen sollen unter minimaler Behinderung des Verkehrs technisch und wirtschaftlich optimal instandgehalten werden. Dazu bedarf es gemäss [3] in einem ersten Schritt einer strukturierten Erfassung von Substanz-, Inspektions- und Erhaltungsdaten. Das ASTRA verwendet hierzu aktuell die Kunstbauten-Datenbank KUBA 5.0. In dieser Datenbank werden sämtliche bergmännische Strassentunnel der Nationalstrassen, sowie der zugehörigen Daten und Informationen aus der Überwachung und Überprüfung laufend erfasst. Sie stellt aktuell als Wissensdatenbank die Grundlage für alle weiteren Projektphasen der Erhaltungsplanung dar.

Gleichzeitig ist der Fortschritt im Bereich des digitalen Bauens rasant. BIM (Building Information Modeling) stellt hierbei ein Lösungsansatz für das Verwalten von Informationen dar, welcher von der Industrie weitgehend akzeptiert ist. Informationen sollen in Zukunft insbesondere von grossen Infrastrukturen wie bergmännische Strassentunnel entlang des gesamten Lebenszyklus anhand eines digitalen Zwillings verwaltet werden. BIM ist im Infrastrukturbereich aber vielerorts erst in der Pilotphase. Die internationalen und nationalen Standards sind noch nicht abschliessend homogenisiert und aufeinander abgestimmt. Das ASTRA hat zurzeit keine Vorgaben hinsichtlich einer einheitlichen Objektstrukturierung des Tunnelportfolios in BIM. Die Systematisierung des Erhaltungsmanagements von Strassentunneln voranzutreiben und dabei die aktuellen Entwicklungen im Bereich BIM ausser Acht zu lassen, erwiese sich dennoch als nicht zukunftsweisend.

Die zu erarbeitenden Kataloge sind daher gemäss dem Forschungsauftrag so zu strukturieren, dass sie in bestehende (KUBA) Datenmodelle und -banken implementiert werden können. Die aktuellen Entwicklungen im Bereich BIM sind, wo möglich mitzuberücksichtigen damit die Forschungsergebnisse später bei Bedarf einfach in neue Datenmodelle und -banken überführt werden können. So soll gewährleistet werden, dass das über die Jahre angesammelte Wissen in KUBA und die Ergebnisse der Forschungsarbeit weiterhin genutzt und zukünftige Entwicklungen insbesondere im Bereich BIM einfach antizipiert werden können. Die Herausforderung besteht darin, eine Bauwerksgliederung zu erstellen, welche diese Anforderungen erfüllt und gleichzeitig den Belangen des Forschungsprojekt resp. den einzelnen EPs hinsichtlich Detaillierung und Praktikabilität gerecht wird. Um diesen Anspruch zu erfüllen, wurde daher durch EP1 [14] in enger Absprache mit den weiteren EPs eine Bauwerksgliederung für das Forschungsprojekt erarbeitet. Diese Bauwerksgliederung stellt eine gemeinsame Bezugsgrösse aller EPs dar und bildet die Basis für die Datenverknüpfung zwischen den einzelnen EPs. Die erarbeitete Bauwerksgliederung und deren Umsetzung in den Katalogen von EP1, EP2 und EP3 ist in Kapitel 2.1 erläutert.

2 Ergebnisse des Einzelprojekts EP3

2.1 Bauwerksgliederung des Forschungsprojektes

2.1.1 Relevanz der Bauwerksgliederung für Forschungsprojekt

Eine Infrastrukturanlage oder -bauwerk besteht aus einer Vielzahl an unterschiedlichen Elementen resp. Infrastrukturobjekten, die in ihrer Kombination das Gesamtsystem bilden. Die einzelnen Infrastrukturobjekte werden alle einerseits durch ihren Zweck im Gesamtsystem und andererseits durch ihre Materialisierung charakterisiert. Dies ist sowohl in KUBA als auch in BIM der Fall. Durch die Verknüpfung der zu erarbeitenden Kataloge resp. den darin enthaltenen Informationen mit den einzelnen Infrastrukturobjekten bzw. deren Bauteile, sowie deren jeweiligen Materialisierung lässt sich daher die Implementierung in bestehende und zukünftige Datenmodelle / -banken sicherstellen. Gleichzeitig ist mit einer übergeordneten allgemeingültigen Bauwerksgliederung die Durchgängigkeit der Datenstruktur zwischen den einzelnen EPs gewährleistet (vgl. Kapitel 1.7).

2.1.2 Struktur der Bauwerksgliederung im Forschungsprojekt

Bauwerksteil (BWT) und Bauwerksteil-Ebene (BWT-Ebene)

Das Forschungsprojekt ist, wie in Kapitel 1.7 erwähnt, in sechs verschiedene Einzelprojekte bzw. EPs unterteilt. Im Rahmen der Forschungsarbeit stellte sich heraus, dass für die einzelnen EPs unterschiedliche Detaillierungsstufen der Tunnelbauwerke relevant sind. So werden z.B. die Schäden und Befunde der Inspektionen zur eindeutigen Lokalisierung entlang des Tunnelbauwerks in KUBA der untersten Hierarchiestufe bzw. den Bauwerksteilen (BWT) zugeordnet. Das Bauwerksteil ist folglich für das EP3 die Hierarchiestufe in der Bauwerksgliederung, welche für die Zuordnung geeigneter Instandsetzungsmethoden und deren Ergebnisse massgebend ist. Für das Kostenmodell vom EP5 sind hingegen nur die wesentlichen, kostenrelevanten Elemente eines Tunnelblocks massgebend. Die Baueinheit als nächst grössere, bereits bestehende Gliederungsebene in KUBA ist hierfür bereits zu grob. Deshalb wurde im Rahmen des Forschungsprojektes eine neue Gliederungsstufe eingeführt, welche die Gruppierung der für die Kostenermittlung massgebenden Bauwerksteile je Tunnelblock zulässt. Es handelt sich hierbei um die Bauwerksteil-Ebene (BWT-Ebene), welche in Abb. 9, Abb. 10 und Abb. 11 für die betrachteten repräsentativen Tunnelprofiltypen dargestellt ist.

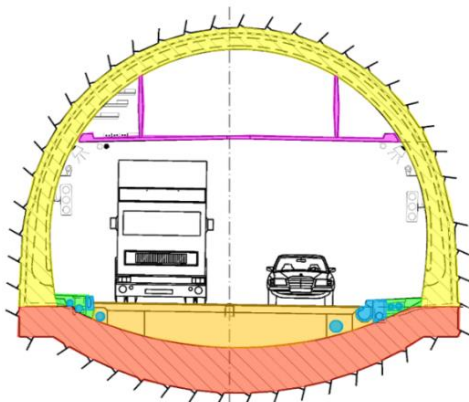


Abb. 9 Tunnelprofiltyp 1

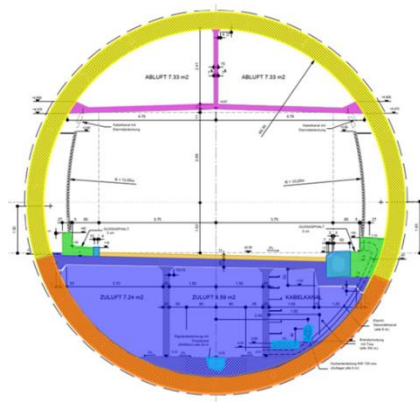
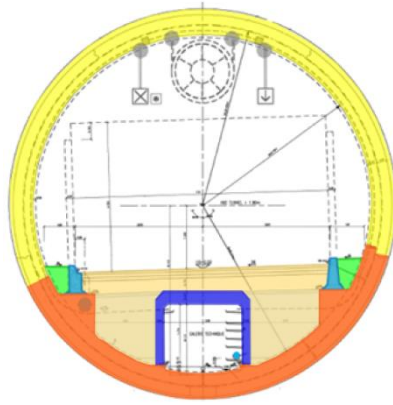


Abb. 10 Tunnelprofiltyp 2a



Bauwerksteil – Gliederung:	
1. Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felsicherung)*	Gew
2. Sohlgewölbe	SoG
3. Zwischendecke*	ZWD
4. Werkleitungskanal	WK
5. Fahrbahn/Fahrbahnfundation	Fab
6. Bankett	Ban
7. Leitungen/Schächte	LS
8. Einrichtungen: Signalisation, Aufhängungen etc.	Ein
I. Querverbindungen**	QV
II. Kamine/Schächte**	KS
III. Zentralen**	ZE
IV. Nischen	NI
V. Stollen	ST

Abb. 11 Tunnelprofiltyp 2b

Die sich daraus ergebende Gliederungsstruktur des Forschungsprojektes im Kontext zur bestehenden Gliederung in KUBA ist nachfolgend in Tab. 2 ersichtlich. Die für das Forschungsprojekt neu ergänzte BWT-Ebene ist grau hinterlegt und mit fetter Schrift hervorgehoben.

Tab. 2 Bauwerksgliederung des Forschungsprojektes im Kontext zu KUBA

Ebene	Bezeichnung
Bauanlage (BA)	Infrastrukturobjekte, die auf der obersten Hierarchiestufe mehrere Bauwerke zu einer Einheit zusammenfassen. [3]
Bauwerk (BW)	Infrastrukturobjekte, die ein komplettes klar abgrenzbares Infrastrukturobjekt abbilden. [3]
Baueinheit (BE)	Infrastrukturobjekte, die unterhalb der Bauwerksebene mehrere Bauwerksteile zu einer Einheit zusammenfassen. [3]
Bauwerksteil-Ebene (BWT-Ebene)	Gruppierung der für die Kostenmodellierung (EP5) massgebenden Bauwerksteile je Tunnelblock.
Bauwerksteil (BWT)	Infrastrukturobjekte, untergeordneter Ebenen, die einzelne nicht weiter unterteilbare Elemente des Bauwerks abbilden. [3]
Oberflächenschutz (OS)	Infrastrukturobjekte, die den Oberflächenschutz eines Bauwerkteils abbilden und daher einem Infrastrukturobjekt dieser Gruppe zugeordnet sind. [3]

Bauart (BA)

Die Bauart bezeichnet gemäss [3] die Art und Weise, wie ein Baustoff verwendet wird. Die Bauart steuert die Materialisierung der Bauwerksteile und ist somit neben den Bauwerksteilen der zweite wichtige Parameter zur Charakterisierung der Tunnelelemente im Gesamtsystem. Analog zu den Bauwerksteilen wurden im Rahmen des Forschungsprojektes die bestehenden Einträge der Bauarten in KUBA analysiert und hinsichtlich der anerkannten Bezeichnungen der Bauarten eines bergmännischen Strassentunnels überarbeitet. Jeder im entsprechenden Grundlagenkatalog (siehe EP1 [14]) aufgelisteten Bauart (BA) wurde eine eindeutige ID zugewiesen. Die Strukturierung der Bauart und die entsprechende Codierung der zugehörigen ID wird am Beispiel der Stahlbetonkonstruktion erläutert.

- 1. Ebene: Grundlagenkatalog Bauart BA- ;
- 2. Ebene: Betonkonstruktion BK- ;
- 3. Ebene: Stahlbetonkonstruktion, hier Subtyp. Nr. 3 03 .

Über diese Strukturierung und Codierung «BA-BK-03» resp. die weiter unten erläuterte Bauteilart erfolgt die Zuweisung der Schadensprozesse, Untersuchungsmethoden und der Instandsetzungsmassnahmen zu den zugehörigen Bauarten in den Katalogen von EP1, EP2 und EP3.

Bauteilart (BWT x BA)

Die in Realität tatsächlich in einem bergmännischen Strassentunnel vorkommenden Kombinationen von Bauwerksteilen und Bauarten wurden in einer Kombinationsmatrix zusammengestellt. Die Kombination aus Bauwerksteil und Bauart wird im Rahmen dieses Forschungsprojekt als Bauteilart (BWT x BA) bezeichnet. Schadensprozesse, Untersuchungsmethoden und Massnahmen können einerseits vom Bauwerksteil, andererseits aber auch von der Bauart abhängig sein. So sind z.B. von einer Belastungsänderung im Baugrund unabhängig von der Bauart sämtliche Bauwerksteile massgeblich betroffen, welche in direktem oder indirektem Kontakt zum anstehenden Baugrund stehen. Auf der anderen Seite macht eine Potentialfeldmessung nur bei Bauwerksteilen aus Stahlbeton Sinn. Für eine zweckmässige und eindeutige Verknüpfung der Kataloge von EP1, EP2 und EP3 untereinander wird daher die Bauteilart verwendet. Jeder aufgelisteten Bauteilart wurde eine eindeutige ID zugewiesen. Die ID kann aufgrund der klaren, eindeutigen Strukturierung der Bauwerksteile und der Bauarten einfach aus der Kombination ebendieser gebildet werden. Die Codierung der «Zwischendecke aus Stahlbeton» lautet entsprechend:

BWT-ZWD-NTW-101 _ BA-BK-03

Zwischendecke aus Stahlbetonkonstruktion

Bei der Bauteilart handelt es sich nicht um einen eigenständigen Katalog, sondern lediglich um ein Hilfsmittel zur Sicherstellung von eindeutigen Verknüpfungen zwischen den Katalogen EP1, EP2 und EP3 resp. zur Vermeidung von unlogischen Verknüpfungen mit in der Realität nicht vorkommenden Bauwerksteil-Bauart-Kombinationen bei einer späteren Implementierung der Kataloge in eine Datenbank. Die Kompatibilität der für die Verknüpfungen verwendeten Bauteilart mit zukünftigen Entwicklungen ist daher gewährleistet. Zukünftige neue Bauwerksteile oder Bauarten können weiterhin unabhängig voneinander in den dafür vorgesehenen, eigenständigen Katalogen angepasst und ergänzt werden.

2.1.3 Umsetzung der Bauwerksgliederung in den Katalogen EP1/EP2/EP3

Wie vorgängig in Kapitel 1.9 beschrieben, war der Anspruch, eine als gemeinsame Bezugsgrösse benutzbare Bauwerksgliederung für das gesamte Forschungsprojekt zu entwickeln. Die bestehende Bauwerksstrukturierung in KUBA 5.0 wurde hierfür durch EP1, EP2 und EP3 für das Forschungsprojekt erweitert, weiterentwickelt und EP-übergreifend festgelegt. Bei der Erarbeitung der Kataloge der drei Einzelprojekte wurde diese neue Bauwerksgliederung laufend weiter optimiert und vervollständigt. Ein Abgleich erfolgte auch im Austausch mit den Einzelprojekten EP4 und EP5, gemäss dem Ablauf des Erhaltungsprozesses, wie er übergeordnet im Kapitel 1.6.1 detailliert beschrieben und in der Abb. 7 vom EP4 dargestellt ist.

Die beschriebene Bauwerksgliederung des Forschungsprojektes ist die wesentliche Grundlage für die (Daten-)Verknüpfung zwischen den fünf Einzelprojekten. Diese erfolgt zwischen den Katalogen der EP1, EP2 und EP3 wie vorgängig beschrieben über die Bauteilart. Eine Verknüpfung zwischen den Katalogen des EP1, EP2 und EP3 ist sinngemäss in Abb. 12 schematisch dargestellt. Das Beispiel wird nachfolgend kurz erläutert.

In einem bergmännischen Strassentunnel werden Schäden bzw. Befunde an einem bestimmten Bauwerksteil mit einer bestimmten Bauart bzw. einer Bauteilart festgestellt und dokumentiert. Über die Datenverknüpfungen der Bauteilart und der visuellen Befunde mit den Schadensprozessen im Katalog von EP1 lässt sich in einer Datenbank nun eine Auswahl der möglichen Schadensprozesse und der daraus folgenden Konsequenzen bzw. Gefährdungsbilder generieren. Da die Kataloge von EP2 und EP3 wiederum über die Bauteilart mit dem Bestand bzw. über die Schadensprozesse mit EP1 verknüpft sind, lassen sich basierend auf der Auswahl der vermuteten Schadensprozesse auch direkt eine Auswahl der zweckmässigen möglichen Untersuchungs- und Instandsetzungsmethoden generieren. Die Datenverknüpfungen funktionieren grundsätzlich in beide Richtungen. Das heisst, man kann auch eine Auswahlliste generieren lassen, welche alle mit einer bestimmten Methode an einer Bauteilart untersuchbaren Schadensprozesse auflistet, falls dies von Interesse sein sollte.

Über die erarbeitete, übergeordnete und EP-übergreifende Bauwerksstrukturierung sowie die darauf basierende und in den Katalogen von EP1, EP2 und EP3 umgesetzte Datenverknüpfungen, lassen sich demnach bei der zukünftigen Datenbankimplementierung des Forschungsprojektes durch EP6 eine Vielzahl an möglichen Datenabfragen für verschiedene Anwendungsfälle generieren.

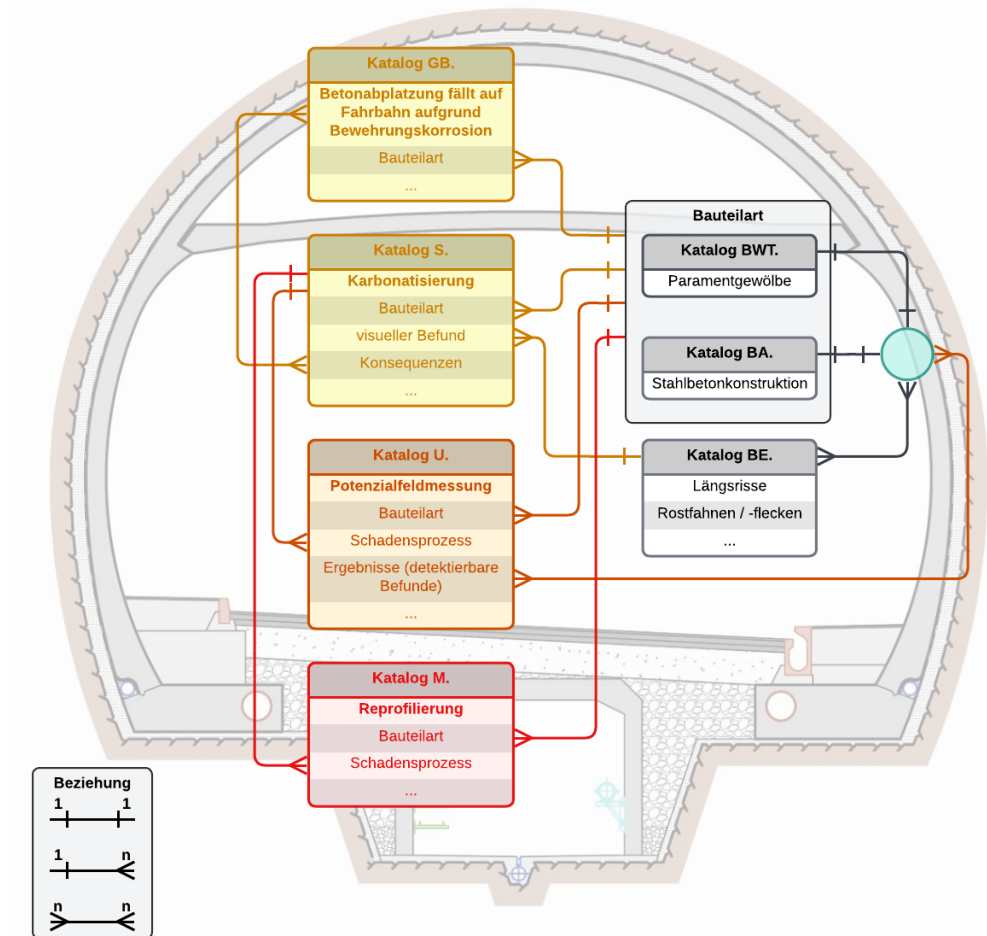


Abb. 12 Beispiel für die Verknüpfungen der Kataloge EP1 bis EP3 mit Hilfe der übergeordnet definierten Bauwerksgliederung

2.2 Aufbau des Massnahmenkatalogs mit standardisierten Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel

2.2.1 Anforderungen an Massnahmenkatalog

Gemäss Pflichtenheft hat der Massnahmenkatalog folgende Anforderungen zu erfüllen:

- Systematisierung von Erhaltungsmassnahmen in Abhängigkeit ihrer Wirksamkeit, ihres Langzeitverhalten und Ausführungsaufwandes;
- Ermöglichen einer Auswahl von Erhaltungsmassnahmen für alle möglichen und bekannten Schadensprozesse;
- Durchgängige Kompatibilität mit den Forschungsprojekten EP1 und EP2;
- Einfachheit in der Anwendung und Erweiterung;
- Grundlage für Forschungsprojekt EP4 und EP5;
- Hilfestellung zur Erstellung von Arbeitsprogrammen.

2.2.2 Abgrenzung

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit werden in Anlehnung an [9] nur werterhaltende Massnahmen berücksichtigt. Nicht enthalten sind wertvermehrende Veränderungen, welche auf Umgestaltungsmassnahmen aufgrund von Nutzungserweiterungen oder Normanpassungen zurückzuführen sind.

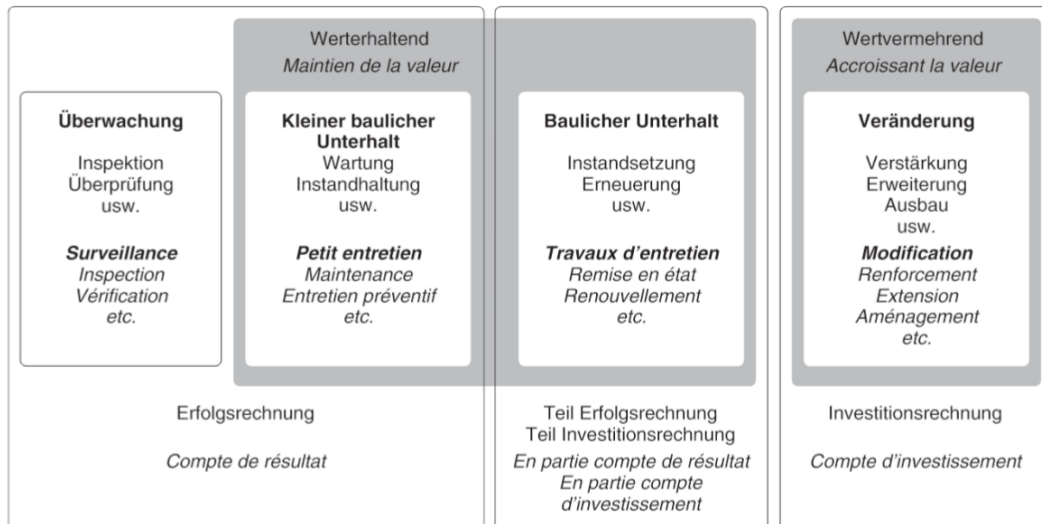


Abb. 13 Aufgaben der Erhaltung gemäss der Abb. 3 der Norm SN 640 900 [9]

Für den Massnahmenkatalog werden ausschliesslich bekannte und erprobte Erhaltungsmassnahmen für die bauliche Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln erfasst. Zudem wurde im Rahmen von Sitzungen im Beisein der Gesamtprojektleitung festgehalten, dass Erhaltungsmassnahmen an nachfolgend aufgeführten Elementen nicht berücksichtigt werden müssen:

- Betriebs- und Sicherheitsausrüstung, inkl. deren Montageelemente;
- Tagbautunnel;
- Zentralenbauwerke;
- Kamine und Schächte;
- (ersatzloser) Rückbau.

Es werden nur Erhaltungsmassnahmen am Betongewölbe betrachtet. Dies begründet sich damit, dass der grösste Teil der ASTRA-Strassentunnel nicht älter als 50 Jahre ist. Wie bereits in Kapitel 1.1.1 und 1.2.3 erläutert wurde, sind die Tunnel bezüglich Bauart und Ausbaustandard deutlich homogener und von Anfang an als «Hochleistungs-Strassentunnel» konzipiert worden. ASTRA-Strassentunnel mit einem Mauerwerksgewölbe oder anderen Baumaterialien für das Gewölbe sind nahezu nicht vorhanden.

Die Gefahren und Unsicherheiten (Risiken) der einzelnen Erhaltungsmassnahmen werden gemäss ihrer angestrebten Wirkungsweise beschrieben. Die Anforderungen an die Produkte sowie die unsachgemässe Befolgung der Anwendungsrichtlinien der Produkte, die unter anderem die folgenden Kriterien umfassen, werden nicht berücksichtigt:

- Lagerung;
- Oberflächen- und Untergrundvorbereitung (Vorbehandlung);
- Anmischen, Mischverhältnis z.B. bei Mörtel für die Betoninstandsetzung;
- Verarbeitung und Auftragung inkl. Beachtung der Aussentemperatur;
- Nachbehandlung der Oberfläche bzw. des Untergrunds.

Es wird bewusst auf Produktdokumentationen oder Anbieterlisten verzichtet, da in keiner der Massnahmen solche Monopolisten bzw. Produkt- oder Anbieter-Einmaligkeiten vorhanden sind. Zudem lässt das aktuelle ASTRA Fachhandbuch auch alternative Materialien zu.

2.2.3 Systematisierung und Zusammenstellung der Erhaltungsmassnahmen

Ein möglichst einfacher Ansatz für die Systematisierung der Erhaltungsmassnahmen ist zentral als Basis sowohl für die grundsätzliche Vollständigkeit als auch für die Praxistauglichkeit. Im Verlauf der Forschungsarbeit konnte erkannt werden, dass die Strukturierung der Erhaltungsmassnahmen nicht nur innerhalb der eigentlichen Massnahmen liegt. Erhaltungsmassnahmen unterscheiden sich wesentlich bezüglich ihrer Teilleistungen an welchem Bauwerksteil sie umgesetzt werden, sowie bezüglich ihres Umfangs resp. ihrer Ausdehnung der Anwendung. Wie bereits im Kapitel 2.1.2 beschrieben wurde, stellt das Bauwerksteil die Hierarchiestufe in der Bauwerksgliederung dar, welche für die Beurteilung von Schadensprozessen und der Zuordnung von zweckmässigen Erhaltungsmassnahmen massgebend ist (siehe auch Abb. 12).

Mit diesen Überlegungen im Hinterkopf wurde die Systematisierung der Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel ausgehend vom Bauwerksteil durchgeführt. Dabei wurde von der Gruppierung der für die Kostenmodellierung gemäss EP5 massgebenden Bauwerksteile je Tunnelblock (Bauwerksteil-Ebenen) ausgegangen, welche in Abb. 14 aufgelistet sind. Des Weiteren wurden die Erhaltungsmassnahmen für die repräsentativen Tunnelprofiltypen 1, 2a und 2b (siehe Abb. 9, Abb. 10 und Abb. 11) betrachtet.

Bauwerksteil – Gliederung:	
1. Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)*	Gew
2. Sohlgewölbe	SoG
3. Zwischendecke*	ZWD
4. Werkleitungskanal	WK
5. Fahrbahn/Fahrbahnfundation	Fab
6. Bankett	Ban
7. Leitungen/Schächte	LS
8. Einrichtungen: Signalisation, Aufhängungen etc.	Ein
I. Querverbindungen**	QV
II. Kamine/Schächte**	KS
III. Zentralen**	ZE
IV. Nischen	NI
V. Stollen	ST

Abb. 14 Bauwerksteil - Gruppierung für die Systematisierung der Erhaltungsmassnahmen

Neben den vorgestellten Bauwerksteil-Ebenen wurden die Erhaltungsmassnahmen weiterführend nach der Massnahmenart/Erhaltungsaufwand systematisiert. In Anlehnung an [9] setzt sich der Erhaltungsaufwand aus den Komponenten Überwachung, betrieblicher Unterhalt, baulicher Unterhalt und Veränderung zusammen. Wie bereits im Kapitel 2.2.2 erläutert wurde, sind die Bereiche der Überwachung und Veränderung nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit. Der betriebliche und bauliche Unterhalt umfasst folgende Massnahmenarten (Auflistung mit steigenden Erhaltungsaufwand):

- Betrieblicher Unterhalt:
 - Reinigung, Pflege;
 - Wartung;
 - Instandhaltung;
 - Kleinreparaturen;
- Baulicher Unterhalt:
 - Reparaturen;
 - Schutz gegen das Eindringen von Stoffen;
 - Abdichtung von Bauwerksteilen;
 - Instandsetzung;
 - Erneuerung (1:1 Ersatz).

Die Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel wurden aus den folgenden Quellen zusammengestellt:

- Insbesondere aus der Praxiserfahrung bzw. der inhaltlichen Auswertung der neun Fallbeispiele (siehe Anhang I). Wie im Kapitel 1.2.3 beschrieben wurde, sind fünf der neun Tunnel bereits seit mehr als 40 Jahren in Betrieb. Dies bedeutet, dass bei den meisten Tunnel bereits diverse Instandsetzungsmassnahmen durchgeführt wurden.

Die durchgeführten Erhaltungsmassnahmen wurden analysiert und standardisiert. Dies wird am nachfolgenden Fallbeispiel des Kerenzertunnels (Fallbeispiel Nr. 3) aufgezeigt:

- Durchgeführte Massnahmen:
 - Teilersatz des Belages (Walzasphalt);
=> Systematisierung und Standardisierung der Massnahme:
 - Bauwerksteil-Ebene Nr. 5: **Fahrbahn/Fahrbahnfundation** (siehe Abb. 14);
 - Erhaltungsaufwand/Massnahmenart: **Erneuerung (1:1 Ersatz)**;
 - **Standardisierte Erhaltungsmassnahmen**: Ersatz Deckbelag, Ersatz Binderschicht, Ersatz Tragschicht, Ersatz Fundationschicht;
 - Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn: Punktuelle Instandsetzungsmassnahmen an Sammel- und Gewölbedrainageleitung zur Gewährleistung der Abflusskapazität;
=> Systematisierung und Standardisierung der Massnahme:
 - Bauwerksteil-Ebene Nr. 7: **Leitungen/Schächte**;
 - Erhaltungsaufwand/Massnahmenart: **Reinigung und Instandhaltung**;
 - **Standardisierte Erhaltungsmassnahme**: Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen;
 - Rissverpressung Tunnelgewölbe im Bereich der Lüftungskanäle mit Epoxid-Harzinjektion;
=> Systematisierung und Standardisierung der Massnahme:
 - Bauwerksteil-Ebene Nr. 1: **Gewölbe**;
 - Erhaltungsaufwand/Massnahmenart: **Abdichtung von Bauwerksteilen**;
 - **Standardisierte Erhaltungsmassnahme**: Rissinjektionen mit Bohrpäckern;
 - Aufbringen Oberflächenschutz;
=> Systematisierung und Standardisierung der Massnahme:
 - Bauwerksteil-Ebene Nr. 1: **Gewölbe**;
 - Erhaltungsaufwand/Massnahmenart: **Schutz gegen das Eindringen von Stoffen**;
 - **Standardisierte Erhaltungsmassnahme**: Erneuerung Beschichtung (C);
- Weitere durchgeführte Massnahmen, welche als Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen eingestuft wurden und daher nicht Gegenstand der vorliegenden Forschungsarbeit sind:
 - Lokale Verstärkung / Sicherung Zwischendecke im Bereich von vorgesehenen Öffnungen für Einstieg in Lüftungskanal;
- Ebenso aus der Literaturrecherche, wobei insbesondere die Literatur «Maintenance and Repair - Study of methods for repair of tunnel lining» [26] (siehe Kapitel 1.3.1) als Grundlage für die Zusammenstellung der Erhaltungsmassnahmen bei Tunnelgewölben herangezogen wurde;
- Zusätzlich wurde bei der Zusammenstellung der Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel auch der bestehende KUBA-Katalog der Erhaltungsmassnahmentypen berücksichtigt. Dieser ist in der Tab. 3 ersichtlich, wobei nur die Erhaltungsmassnahmen am kostenrelevanten Infrastrukturobjekt aufgeführt sind.

Tab. 3 KUBA-Katalog Erhaltungsmassnahmentypen mit daraus abgeleiteten Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel

H-Code	Bezeichnung	Standardisierte Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel
3	Erhaltungsmassnahme am kostenrelevanten Infrastrukturobjekt	-
301	Lokale Reprofilierung	- Lokale Betoninstandsetzung oder - Reprofilierung ohne Bewehrungsinstandsetzung
302	Reprofilierung und Reinigung der korrodierten Bewehrung	- Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung
303	Reprofilierung und Reinigung der korrodierten Bewehrung und ganzflächiger Oberflächenschutz	- Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung - Hydrophobierende Imprägnierung (H) oder - Erneuerung Imprägnierung (I) oder - Erneuerung Beschichtung (C)
304	Sinterstellen entfernen	- Abklopfen inkl. - Lokale Betoninstandsetzung
305	Sinterstellen entfernen und wasserführende Risse ausinjizieren	- Abklopfen inkl. - Lokale Betoninstandsetzung - Rissinjektion mit Klebepackern oder - Rissinjektion mit Stahlpackern
306	Lokale Reprofilierung (ohne Massnahmen an Bewehrung)	- Siehe 301
307	Lokale Reprofilierung (mit Massnahmen an Bewehrung)	- Siehe 302
308	Lokale Reprofilierung und ganzflächiger Oberflächenschutz	- Reprofilierung ohne Bewehrungsinstandsetzung - Hydrophobierende Imprägnierung (H) oder - Erneuerung Imprägnierung (I) oder - Erneuerung Beschichtung (C)
309	Vollständige Instandsetzung inkl. Ersatz der korrodierten Bewehrung	- Reprofilierung mit Bewehrungersatz/-zulage
310	Vollständige Instandsetzung inkl. Ersatz der korrodierten Bewehrung und ganzflächiger Oberflächenschutz	- Reprofilierung mit Bewehrungersatz/-zulage - Hydrophobierende Imprägnierung (H) oder - Erneuerung Imprägnierung (I) oder - Erneuerung Beschichtung (C)
311	Lokale Instandsetzung des Korrosionsschutzes	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
312	Gesamtinstandsetzung des Korrosionsschutzes	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
313	Gesamtinstandsetzung des Korrosionsschutzes und lokale Ergänzung korrodierter Stahlteile	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
314	Ausmörteln der Mauerwerksfugen	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
315	Teilersatz des Mauerwerks und Ausmörteln der Mauerwerksfugen	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
316	Teilinstandsetzung des Fahrbahnüberganges (zugängliche Teile)	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
317	Teilinstandsetzung des Fahrbahnüberganges	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
318	Reinigung Lager und Instandsetzung des Korrosionsschutzes	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
319	Reinigung Lager, Instandsetzung des Korrosionsschutzes und weiche Lagerteile ersetzen	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
320	Reinigung Lager, Instandsetzung des Korrosionsschutzes und Lagerteile ersetzen	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
321	Lokaler Ersatz der Deckschicht	- Ersatz Deckbelag (Walzasphalt) oder

		- Ersatz Deckbelag (Gussasphalt)
322	Lokaler Ersatz des Belages	Für Guss- oder Walzasphalt: - Ersatz Deckbelag - Ersatz Binderschicht - Ersatz Tragschicht - Ersatz Fundationsschicht (nur bei Walzasphalt)
323	Ersatz der Deckschicht	- Siehe 321
324	Lokaler Ersatz der Abdichtung	- Ersatz PBD-Abdichtung oder - Ersatz FLK-Abdichtung oder - Ersatz Gussasphalt-Abdichtung
325	Rissanierung	- Belagsrisse vergiessen
326	Erneuerung der Belags- o. Randfugen	- Siehe 322 inkl. - Ersatz Randfugen

- Auch die Norm SIA 269/2 (2011) – Erhaltung von Tragwerken – Betonbau [5] wurde bei der Zusammenstellung der Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel beigezogen. Die darin enthaltenen Grundprinzipien und zugeordnete Verfahren für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken wurden analysiert und standardisiert (siehe Tab. 4).

Tab. 4 Grundprinzipien und zugeordnete Verfahren für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken aus [5] mit daraus abgeleiteten Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel

Grundprinzipien bei Schädigungen im Beton	Zugeordnete Verfahren	Standardisierte Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel
Schutz gegen das Eindringen von Stoffen und Regulierung des Wasserhaushalts des Betons	Hydrophobierende Imprägnierung	- Hydrophobierende Imprägnierung (H)
	Imprägnierung	- Erneuerung Imprägnierung (I) oder - Ersatz Imprägnierung (I)
	Beschichtung	- Erneuerung Beschichtung (C) oder - Ersatz Beschichtung (C)
	Örtliche Abdeckung von Rissen	- Lokale Betoninstandsetzung
	Verfüllen von Rissen	- Rissinjektionen mit Klebpackern oder - Rissinjektionen mit Stahlpackern
	Umwandlung von Rissen in Fugen	- Entwässerungsschlitz erstellen
	Bekleidung ohne Verbund	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
	Aufbringen von Membranen	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
Betonersatz	Mörtelauftrag von Hand	- Lokale Betoninstandsetzung
	Querschnittsergänzung mit Beton oder Mörtel	- Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz oder - Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung oder - Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage

	Spritzbeton oder -mörtel	- Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz oder - Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung oder - Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage
	Ersatz von Bauteilen	- Ersatz von Bauwerksteilen
Verstärkung	Zufügen oder Ersetzen von eingebetteter oder externer Bewehrung	- Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage
	Zufügen von Bewehrung, in Nuten oder Bohrlöchern verankert	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
	Verstärkung mit Laschen (Stahl oder Faserlaminat)	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
	Querschnittsergänzung mit Beton oder Mörtel	- Siehe Betonersatz
	Injizieren/Verfüllen von Rissen, Hohl- oder Fehlstellen	- Rissinjektionen mit Klebepackern oder - Rissinjektionen mit Stahlpackern
	Externe Vorspannung	- Irrelevant für bergmännische Strassentunnel
Physikalische Widerstandsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Chemikalien	Beschichtung	- Erneuerung Beschichtung (C) oder - Ersatz Beschichtung (C)
	Imprägnierung	- Erneuerung Imprägnierung (I) oder - Ersatz Imprägnierung (I)
	Bekleidung mit Verbund (Überzuge)	- Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz

Aus den oben genannten Quellen wurden insgesamt 55 Erhaltungsmassnahmen zusammengestellt. Dabei wurde sichergestellt, dass jeder Schadensprozess (siehe Kapitel 2.3.1) durch mindestens eine geeignete Massnahme abgedeckt wird. Darüber hinaus wurden die Erhaltungsmassnahmen in Katalogblättern beschrieben (siehe Kapitel 2.2.6 und Anhang III), die in der Praxis als Handouts nützlich sein können.

In der Tab. 5 ist der Massnahmenkatalog ersichtlich. Dieser basiert auf den einzelnen Erhaltungsmassnahmen, die unter Berücksichtigung des Erhaltungsaufwands bzw. der Massnahmenart auf die Bauwerksteil-Ebenen (grau hinterlegt und mit fetter Schrift hervorgehoben) verteilt wurden. Die Nummerierung im Massnahmenkatalog wird im Kapitel 3.2.1 erläutert.

Tab. 5 Massnahmenkatalog der Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel

1000 Gewölbe	2000 Sohlgewölbe
1100 Reinigung	2100 Reinigung (zugängliche Flächen)
1110 Abklopfen	2110 Abklopfen
1200 Betoninstandsetzung	2200 Betoninstandsetzung (zugängliche Flächen)
1210 Lokale Betoninstandsetzung	2210 Lokale Betoninstandsetzung
1220 Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz	2220 Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz
1230 Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung	2230 Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung
1240 Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage	2240 Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage
1250 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz	2250 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz

1260 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung	2260 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung
1270 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage	2270 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage
1300 Oberflächenschutzsysteme für Beton	2300 Betoninstandsetzung (unzugängliche Flächen)
1310 Hydrophobierende Imprägnierung (H)	2310 Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz
1320 Erneuerung Imprägnierung (I)	2320 Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung
1330 Ersatz Imprägnierung (I)	2330 Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage
1340 Erneuerung Beschichtung (C)	2340 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz
1350 Ersatz Beschichtung (C)	2350 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung
	2360 Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage
1400 Abdichtung	2400 Abdichtung (zugängliche Flächen)
1410 Rissinjektion mit Klebepackern	2410 Rissinjektion mit Klebepackern
1420 Rissinjektion mit Bohrpäckern	2420 Rissinjektion mit Bohrpäckern
1430 Entwässerungsschlitz einfach	2430 Entwässerungsschlitz einfach
1440 Entwässerungsschlitz erweitert	2440 Entwässerungsschlitz erweitert
1450 Blockfugen abdichten einfach	2450 Blockfugen abdichten einfach
1460 Blockfugen abdichten erweitert	2460 Blockfugen abdichten erweitert
1470 Abdichtungsinjektion	2470 Abdichtungsinjektion
1480 Instandsetzung Abdichtung	2480 Instandsetzung Abdichtung
1490 Ersatz Teilabdichtung	2490 Ersatz Teilabdichtung
1500 Ersatzmassnahmen	2500 (Abdichtung unzugängliche Flächen)
1510 Ersatz Innengewölbe	2510 Rissinjektion mit Klebepackern
	2520 Rissinjektion mit Bohrpäckern
	2530 Entwässerungsschlitz einfach
	2540 Entwässerungsschlitz erweitert
	2550 Blockfugen abdichten einfach
	2560 Blockfugen abdichten erweitert
	2570 Abdichtungsinjektion
	2580 Instandsetzung Abdichtung
	2590 Ersatz Teilabdichtung
	2600 Ersatzmassnahmen
	2610 Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)
	2620 Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)
3000 Zwischendecke	4000 Werkleitungskanal
3100 Reinigung	4100 Reinigung
3110 Abklopfen	4110 Abklopfen
3200 Betoninstandsetzung	4200 Betoninstandsetzung
3210 Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz	4210 Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz

1779 | Erhaltungsmanagement Tunnel
Festlegung von Massnahmen pro Schadensprozess

3220 Reprofilierung mit Bewehrungs- instandsetzung	4220 Reprofilierung mit Bewehrungs- instandsetzung
3300 Betoninstandsetzung Zwischenwände	4230 Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /- zulage
3310 Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz	4300 Abdichtung auf Fahrbahnplatte oder WELK (Elementbau)
3320 Reprofilierung mit Bewehrungs- instandsetzung	4310 Ersatz PBD-Abdichtung
3330 Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /- zulage	4320 Ersatz FLK-Abdichtung
3400 Oberflächenschutzsysteme für Beton	4330 Ersatz Gussasphalt-Abdichtung
3410 Hydrophobierende Imprägnierung (H)	4400 Ersatzmassnahmen
3420 Erneuerung Imprägnierung (I)	4410 Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände
3430 Ersatz Imprägnierung (I)	4420 Ersatz WELK (Elementbau)
3440 Erneuerung Beschichtung (C)	
3450 Ersatz Beschichtung (C)	
3500 Sicherungsmassnahmen	
3510 Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)	
3520 Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)	
3600 Ersatzmassnahmen	
3610 Ersatz Zwischendecke	
5000 Fahrbahn / Fahrbahnfundation	6000 Bankett
5100 Reinigung	6100 Reinigung
5110 Wiederherstellung Griffigkeit	6110 -
5200 Instandsetzung	6200 Belag und Abdichtung
5210 Belagsrisse vergiessen	6210 Ersatz Randfugen
5220 Ersatz Randfugen	6220 Ersatz Deckbelag
5300 Belagsersatz (Gussasphalt)	6300 Ersatzmassnahmen
5310 Ersatz Deckbelag	6310 Ersatz Bankett ohne Leitungen resp. KSR im Bankett
5320 Ersatz Binderschicht	6320 Ersatz Bankett mit Leitungen resp. KSR im Bankett
5330 Ersatz Tragschicht	
5400 Belagsersatz (Walzasphalt)	
5410 Ersatz Deckbelag	
5420 Ersatz Binderschicht	
5430 Ersatz Tragschicht	
5440 Ersatz Foundationsschicht	
5500 Instandsetzung Betonfahrbahnplatte	
5510 Oberflächenerneuerung mit Deckschicht Walzasphalt	
5520 Ersatz Betonfahrbahnplatte	
7000 Leitungen / Schächte	8000 -
7100 Leitungen resp. Kabelschutzrohre im Bankett	
7110 Leitungen spülen und Ablagerungen	

entfernen (Löschwasser-/ Entwässerungsleitung)
7120 Inlining (Löschwasser-/ Entwässerungsleitung)
7130 Ersatz (Löschwasser-/ Entwässerungsleitung)
7140 Ersatz Kabelrohre
7200 Leitungen im WELK
7210 Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (Löschwasser-/ Entwässerungsleitung)
7220 Inlining (Löschwasser-/ Entwässerungsleitung)
7230 Ersatz (Löschwasser-/ Entwässerungsleitung)
7300 Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn
7310 Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (Entwässerungsleitung)
7320 Inlining (Entwässerungsleitung)
7330 Ersatz (Entwässerungsleitung)
7400 Randelemente
7410 Randsteine instandsetzen
7420 Schlitzrinne instandsetzen
7430 Ersatz Randsteine
7440 Ersatz Schlitzrinne
7500 Schächte
7510 Ersatz Siphonschacht-Abdeckung
7520 Ersatz Siphonschacht
7530 Ersatz Kontroll-/ Einlaufschacht
7540 Ersatz Kabelschacht
7600 Gebirgsdrainage
7610 Leitungen spülen und Ablagerungen Entfernen (Drainageleitung)
7620 Inlining (Drainageleitung)

2.2.4 Massnahmentypen (Massnahmenausdehnung und -umfang)

Die Norm SN EN 640 900 (2022) [9], KUBA [3] und die von der Erhaltungsplanung empfohlenen Massnahmen der Hauptinspektion weichen teilweise in Begrifflichkeiten und Zuordnung zu den Kategorien 1 bis 5 voneinander ab. Die untenstehende Abb. 15 zeigt dies auf und gibt Auskunft über die im Rahmen dieses Forschungsprojektes gewählten Massnahmentypen. Von den 5 Kuba-Kategorien wird im Rahmen dieses Forschungsauftrags ausschliesslich der Massnahmentyp 3 (Instandsetzung inkl. 1:1 Ersatz aufgrund eines weitgreifenden Schadensbildes) behandelt.

Aufgrund der ähnlichen, aber nicht vollständig gleichen Nummerierung verwendet das vorliegende Forschungsprojekt eine darauf aufbauende Nummerierung 3.x und Kurztexte zur Beschreibung der Massnahmentypen (siehe fett markierte Texte in Abb. 15). Die Erhaltungsmassnahmen sind den Kategorien 3.1 (kleine, lokale Massnahmen) bis 3.5 (1:1 Ersatz) zugeordnet und beziehen sich auf den Umfang der Massnahme pro Tunnelblock.

Massnahmentypen			
(gemäss Kuba)		M. Typ	
(gemäss SN 640 900 Erhaltungsmanagement)		Charakterisierung --> Umfang (pro Tunnelblock)	
(gemäss EP; HI-Massnahmengliederung)		qualitativ	semi-quantitativ
	1	ordentliche Überwachung / Inspektionen (keine Massnahme = baulich Nichtstun)	
1	1	(1)	Überwachungsmassnahmen / Massnahmen der Diagnostik / Massnahmen Monitoring (keine baulichen Massnahmen)
2	2	22	Instandhaltung / Reparatur / Reinigung (betrieblicher Unterhalt) 2 (bauliche Massnahmen des M. Typ 2 identisch zu M. Typ 3.1 und werden im M. Typ 3.1 aufgenommen)
3	2,3	230	lokale / punktuelle Instandsetzung 3.1 / 2 kleine lokale Massnahme wenige m ² (~1-2 m ²)
			Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch 3.2 mittlere Massnahme viele m ² (~10-20 m ²)
	3,4	231-233	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz 3.3 grosse Massnahme ganzer Tunnelblock
	5	234	Ersatz 3.4 Ersatz (1:1) viele m ² (~10-20 m ²) 3.5 ganzer Tunnelblock
4	5	411, 412, 42, 43	Ersatz / Veränderung / Anpassung
5			Rückbau

Legende:

rot: → EP2
braun: → EP3
grau: → nicht Teil vom Forschungsprojekt

KUBA (informativ)	
1 = ¹	keine
2 = ²	allg. Erhaltung
3 = ³	Erhaltungsmassnahme
4 = ⁴	Umgestaltung
5 = ⁵	Abbruch

SN 640 900 Erhaltungsmanagement (informativ)	
1 = ¹	Überwachung / Nichtstun
2 = ²	Instandhaltung/Reparatur/Reinigung
3 = ³	lokale Instandsetzung
4 = ⁴	Instandsetzung / Teilersatz
5 = ⁵	Ersatz / Anpassung
∇	nicht vorhanden

Abb. 15 Massnahmentypen

2.2.5 Informationen der Erhaltungsmassnahmen

Der Massnahmenkatalog (siehe Tab. 5) beinhaltet für jede der beschriebenen Erhaltungsmassnahmen relevante Informationen für eine wirksame und effiziente Planung zur Instandsetzung und Erneuerung von Bauwerken, die effektiv und auf die jeweilige Zielsetzung abgestimmt ist. Eine Erläuterung dieser relevanten Informationen wird in den folgenden Abschnitten gegeben.

- Im Massnahmenkatalog gibt es für jede aufgeführte Erhaltungsmassnahme neben der korrekten bzw. anerkannten Bezeichnung der Massnahme auch in Kurzform eine Beschreibung. Wenn für eine nachvollziehbare Kostenkalkulation notwendig und wenn im ASTRA Fachhandbuch T/G keine eindeutigen Vorgaben vorhanden sind, ergänzt das EP5 [36] die Massnahmenbeschreibung um präzisierende Hinweise (z.B. hinsichtlich der Materialbeschreibung, Bezugsgrösse, Bauteilabmessungen etc.);
- Bestimmte einzelne Erhaltungsmassnahmen weisen bauliche Abhängigkeiten zu anderen Erhaltungsmassnahmen auf. Es kann daher vorkommen, dass die Ausführung der

- betroffenen Einzelmassnahme ohne die vorherige Ausführung einer anderen Massnahme per se nicht möglich ist. Beispielsweise erfordert der Ersatz der Binderschicht gleichzeitig den Ersatz des Deckbelags. Diese baulichen Abhängigkeiten sind, sofern vorhanden, für jede Erhaltungsmassnahme im Massnahmenkatalog aufgeführt;
- Um die Erhaltungsmassnahmen miteinander vergleichen zu können, ist die Angabe der Risiken wichtig. Die Risiken wurden im Massnahmenkatalog unter Berücksichtigung von Chancen und Gefahren / Unsicherheiten erfasst. Dabei wurden die Chancen und Gefahren jeder Massnahme bezüglich ihrer gewünschten Wirkungsweise beschrieben;
 - Im Massnahmenkatalog ist für jede Erhaltungsmassnahme aufgeführt, in welchem Tunnelprofiltyp/en (siehe Abb. 9, Abb. 10 und Abb. 11) sie angewendet werden kann;
 - Für jede Erhaltungsmassnahme sind die Massnahmentypen angegeben, die Auskunft über den Umfang der Massnahmen pro Tunnelblock geben;
 - Jede Erhaltungsmassname im Massnahmenkatalog ist allen möglichen Bauteilarten (BWT x BA, siehe Kapitel 2.1.2) zugeordnet, an denen sie zur Anwendung kommen kann;
 - Im Massnahmenkatalog stehen für jeden Schadensprozess (siehe Kapitel 2.3.1) nachweislich wirksame Erhaltungsmassnahmen zur Auswahl;
 - Für jede Erhaltungsmassnahme ist die massnahmenspezifische Grundeinheit (m', m², m³, Stk.) aufgeführt;
 - Jede Erhaltungsmassnahme enthält die wichtigsten Attribute (Personalbedarf, Dauer der Ausführung, Material-/ Gerätekosten, spezifischer Installationsgrad, Zugänglichkeit etc.), die in Abstimmung mit dem EP5 als Kostentreiber identifiziert wurden und als Grundlage für die Kostenermittlung durch EP5 dienen (siehe Kapitel 2.4.1). Diese Daten können auch als Hinweise zur Erfassung von Arbeitsprogrammen verwendet werden;
 - Jede Erhaltungsmassnahme umfasst eine Beschreibung des Ziels der Massnahme sowie ihrer Wirkungsweise. Diese Informationen können als Hinweise für die Wirksamkeit der Massnahme herangezogen werden. Darüber hinaus werden Informationen zur Effektivität der Erhaltungsmassnahme sowie zu ihrer Langzeitwirkung bereitgestellt und im Kapitel 2.4.2 näher erläutert.

2.2.6 Katalogblätter der Erhaltungsmassnahmen

Wie bereits erwähnt, wurden die Informationen und Daten der Erhaltungsmassnahmen mittels Excel katalogisiert. Dadurch ist zwar die Durchgängigkeit der Datenstruktur innerhalb der einzelnen EPs gewährleistet und zukünftige Entwicklungen können einfach integriert werden. Jedoch sind die Informationen des erarbeiteten Massnahmenkatalogs in Tabellenform schwer lesbar und unhandlich.

Um die Praxistauglichkeit des Massnahmenkatalogs sowie den praxisorientierten Charakter des Forschungsprojekts zu unterstreichen, wurden die Informationen für jede Erhaltungsmassnahme in Katalogblätter im A4-Format übertragen (siehe Abb. 16). Diese sind als Anhang III dem Schlussbericht beigelegt.

Die Katalogblätter enthalten neben den relevanten Beschrieben und Informationen teilweise auch Bilder von der Ausführung oder von spezifischen Maschinen/Geräten oder sonstigen Hilfseinrichtungen, die schnell einen Eindruck über die Randbedingungen der Erhaltungsmassnahme vermitteln sollen.

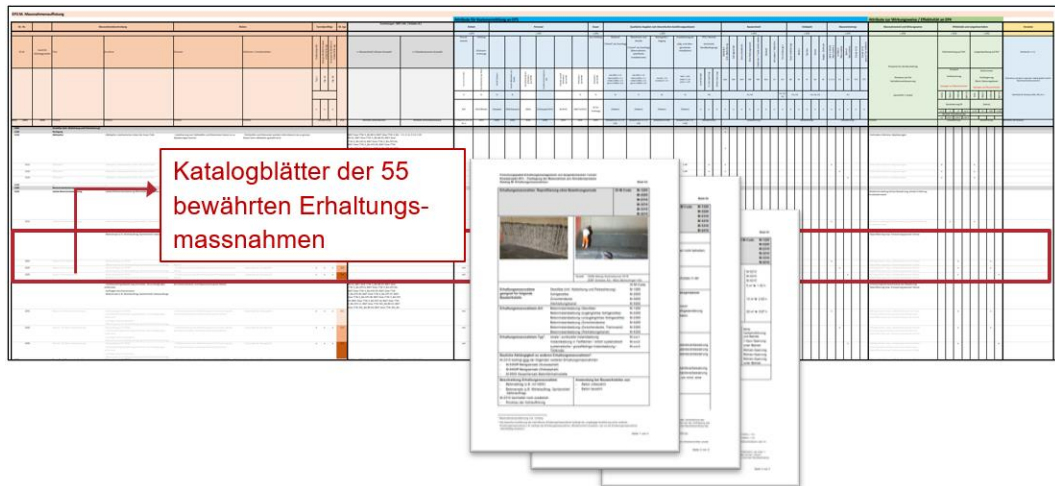


Abb. 16 Illustration der Übertragung der Informationen aus der Tabellenform im Excel des Massnahmenkatalogs in handliche Katalogblätter

2.3 Inputdaten

2.3.1 Schadensprozesse und Bauteilarten

Folgende Daten werden als Inputdaten bezeichnet:

- Von EP1 zur Gewährleistung einer durchgängigen Kompatibilität übernommen:
 - Erhaltungsmassnahmen je Bauwerksteil in Bezug auf die Bauteilart (BWT x BA);
 - Schadensprozesse (siehe Tab. 6).

Da der Massnahmenkataloge über die Bauteilart mit dem Bestand bzw. den Schadensprozessen mit EP1 verknüpft ist, können durch die Auswahl der vermuteten Schadensprozesse auch direkt geeignete Erhaltungsmassnahmen generiert werden (siehe Kapitel 2.1.3). Die Datenverknüpfungen funktionieren grundsätzlich in beide Richtungen.

Tab. 6 Schadensprozesse gemäss EP1 [14]

S-Nr.	Schadensprozess	Beschreibung	Schadensprozess-Typ (siehe Katalog S. Schadensprozesse des EP1 [14])
S-1 Schadensprozess Stahlbeton			
S-11	Bewehrungskorrosion	- Korrosion Betonstahl - Oxidation von Stahl mit Sauerstoff in Gegenwart von Wasser - Querschnittsverluste - Verlust der Tragfähigkeit	- Karbonatisierung - Lochfrasskorrosion / Chloridinduzierte Korrosion - Spannungsrissskorrosion, interkristalline oder transkristalline Korrosion
S-12	Betonangriff / Gefügezerstörung	- Zerstörung des Korngefüges im Beton - treibende Prozesse in Porenlösung (Volumenzunahme) - lösende Prozesse in Porenlösung (Aufweichung) - Frostbeanspruchung	- Alkali Aggregat Reaktion (AAR) - Sulfatangriff intern - Sulfatangriff extern - Chemisch lösender Angriff / Betonkorrosion - Frost / Tausalzschäden
S-19	Ermüdung Stahlbeton	- Materialschaden aufgrund zyklischer Belastung	- Ermüdung Stahlbeton
S-2 Schadensprozess Metall			
S-21	Stahlkorrosion	- Korrosion von Baustahl	- Flächenkorrosion (Rost) - Lochfrasskorrosion

		<ul style="list-style-type: none"> - Oxidation von Stahl mit Sauerstoff in Gegenwart von Wasser - Querschnittsverluste - Verlust der Tragfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Kontaktkorrosion / Spaltkorrosion - Spannungsrissskorrosion, interkristalline oder transkristalline Korrosion
S-29	Ermüdung Baustahl	- Materialschaden aufgrund zyklischer Belastung	- Ermüdung Metall
S-3 Schadensprozess Baugrund			
S-31	Belastungsänderung Baugrund	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzbelastung aus Baugrund - Verlust der Tragfähigkeit des Baugrunds - Verwitterung und Erosion im umliegenden Gestein - Konsolidationsprozesse im Fundationsbereich - Bauwerksverformungen (Starrkörper) - Zwängungen aufgrund diff. Setzungen - Volumenzunahme des Baugrunds infolge Wasseraufnahme (Quellhebung) - Aufbau von Gebirgsdruck bei verhinderter Verformung des Baugrunds (Quelldruck) 	<ul style="list-style-type: none"> - Auflockerung - druckhaftes Gebirge - (diff.) Setzungen / Konsolidation - Tonquellen / Quellprozess in Tonmineralien - Sulfatquellen / Quellprozess in Anhydrit
S-4 Schadensprozess Berg-/ Grundwasser			
S-41	Belastungsänderung Berg- / Grundwasser	<ul style="list-style-type: none"> - Zusatzbelastung aus Berg- / Grundwasser - Wasserspiegel- / Wasserdruckschwankungen - Wasseraufstau infolge Verlust Drainagewirkung - Veränderung der Wasserwegigkeiten im Baugrund 	<ul style="list-style-type: none"> - Wasserdruckaufbau - Fortschreitender Verlust der Abflusskapazität
S-5 Schadensprozess Kunststoff			
S-51	Alterung / Beschädigung Kunststoff	<ul style="list-style-type: none"> - Alterung der Kunststofffolien - mechanische / physikalische Beanspruchung (Temperatur, Zusatzbelastungen) - chemische Angriffe aus Umgebung (aggressives Bergwasser) - Versprödung Kunststoffe aufgrund Weichmacherhydrolyse (Verlust Weichmacher) 	<ul style="list-style-type: none"> - Alterung / Beschädigung Abdichtung
S-6 Schadensprozess Strassenoberbau			
S-61	Beschädigung Strassenoberbau	<ul style="list-style-type: none"> - zyklische physikalische Beanspruchung Fahrbahnbelag (Verkehr, Abnutzung) - plastische Verformungen (Temperatur, Reibung / Fliehkräfte) - Frostschäden - Zertrümmerung Fahrbahnfundation 	<ul style="list-style-type: none"> - Belagsverformungen - Belagsschäden - Strukturelle Schäden

2.4 Outputdaten

2.4.1 Ermittlung der Elementkosten standardisierter Erhaltungsmassnahmen an EP5

Der erarbeitete Massnahmenkatalog bildet die Grundlage für das Kostenmodell des EP5. Die vorliegende Forschungsarbeit hat nicht das direkte Ziel, Kostendaten zu erfassen. Dies ist die zentrale Aufgabe des EP5. Allerdings sollen anhand von «Attributen» spezifisch für jede Erhaltungsmassnahme die Basis resp. die Inputparameter für die Kostenschätzung im EP5 geschaffen werden. Für jede Erhaltungsmassnahme werden die Attribute festgelegt, welche in die Berechnungsmethodik des EP5 einfließen.

In Abstimmung mit dem EP5 wurden für die Abschätzung des Personalaufwands die in Tab. 7 erfassten Attribute festgelegt. Zur Bestimmung des Personalaufwands sind die Abschätzung der Anzahl der Equipen, die in Bezug auf die verschiedenen Arbeitsgattungen der betrachteten Erhaltungsmassnahme stehen, die Anzahl der Mitarbeiter pro Equipe sowie die Abschätzung der Leistungseinheit pro Equipe erforderlich. Die restlichen Parameter (Leistungseinheit, Mitarbeiter-Stunden pro Grundeinheit und Ausführungsdauer in Abhängigkeit vom Massnahmentyp) werden aus den zuvor geschätzten Attributen berechnet.

Tab. 7 Attribute für die Abschätzung des Personalaufwands für die Kostenermittlung durch EP5

Personalaufwand			
			Blau gefärbte Zeilen sind vom Anwender auszufüllen bzw. wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes ausgefüllt
Attribut	Einheit	Abstufung	Beschrieb, Verständnis, Erläuterung
Anzahl Equipen	Zahl	keine	Abschätzung Grösse zur Personalgliederung / Arbeitsgattungen
Anzahl Mitarbeiter pro Equipe	Zahl	keine	Abschätzung Anzahl Mitarbeiter pro Equipe / Arbeitsgattung
Stunden pro Equipe pro GrE ³	$\frac{h}{GrE}$	keine	Abschätzung Leistungseinheit pro Equipe pro Grundeinheit (nur effektive Arbeitsstunden vor Ort, ohne Verletzungszuschlag). Bei mehreren Equipen wurde der Durchschnittswert verwendet.
Stunden pro GrE	$\frac{h}{GrE}$	keine	Kalkulation, Leistungseinheit pro Grundeinheit, Hilfsspalte für die weitere Berechnung der Kosten pro Massnahme
Mitarbeiter*Stunden pro GrE	$\frac{MA * h}{GrE}$	keine	Kalkulation, Hilfsspalte für die weitere Berechnung der Kosten pro Massnahme
Dauer der Ausführung je Massnahmentyp	h	keine	Kalkulation, Abschätzung auf Basis von Arbeitsprogrammen und Erfahrungen aus Projekten, mit der zu erwartenden Ausführungsdauer können die Attribute "Anzahl Equipen", "Anzahl Mitarbeiter pro Equipe" und die "Leistungseinheit pro Equipe" justiert werden

Zur Verdeutlichung wird der Personalaufwand am Beispiel der Erhaltungsmassnahme «Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung» an der Bauwerksteil-Ebene «Gewölbe» für den Massnahmentyp 3.1 bestimmt (siehe Tab. 8).

Tab. 8 Bestimmung des Personalaufwands am Beispiel der Erhaltungsmassnahme «Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung» an der Bauwerksteil-Ebene «Gewölbe» für den Massnahmentyp 3.1

Attribut	Zahl, Einheit	Beschrieb
Massnahmentyp 3.1	5 m ²	kleine, lokale Massnahme

³ Grundeinheit der Massnahmen in m¹, m², m³ oder Stk

Anzahl der Equipen	2 Equipen	zwei Arbeitsgattungen, 1x Abtrag und Reprofilierung und 1x Vorbehandlung der Bewehrung und Auftragen des Korrosionsschutzes
Anzahl Mitarbeiter pro Equipe	1 MA/Equipe;	
Leistungseinheit pro Equipe pro Grundeinheit	0.167 h/Equipe/m ²	Annahme: 10 min pro m ² pro Equipe
Stunden pro GrE	0.333 h/m ²	Kalkulation
Mitarbeiter*Stunden pro GrE	0.667 MA*h/m ²	Kalkulation
Dauer der Ausführung je Massnahmentyp	1.667 h für 5m ²	Kalkulation

Neben der Abschätzung des Personalaufwands werden auch qualitative Angaben in Form von Faktoren zu Materialien, Geräten/Maschinen, Baulogistik, Installationsgrad und temporärer Verkehrsführung für jede Erhaltungsmassnahme gemacht. Diese Attribute und zugehörige Faktoren wurden ebenfalls in Abstimmung mit EP5 definiert (siehe Tab. 9).

Die in dieser Forschungsarbeit definierten Attribute für den Personal- und Ausführungsaufwand können als Unterstützung bei der Erstellung von Arbeitsprogrammen genutzt werden. Der Personalbedarf (Anzahl Mitarbeiter) und die Dauer für die Ausführung können aus der Abschätzung des Personalaufwands (siehe Tab. 7) im Massnahmenkatalog für die ausgesuchte Erhaltungsmassnahme herausgelesen werden. Die wesentlichen Kostentreiber sind ebenfalls bekannt und können aus Tab. 7 und Tab. 9 entnommen werden. Material- und Gerätelisten wurden nicht erstellt, da sie für die Kostenermittlung durch EP5 nicht erforderlich waren. Dennoch liefern die Faktoren für die Material- und Gerätekosten in Bezug auf den Aufwand Hinweise, welche bei der Erstellung von Arbeitsprogrammen hilfreich sein können.

Tab. 9 Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand für die Kostenermittlung durch EP5

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand			Blau gefärbte Zeilen sind vom Anwender auszufüllen bzw. wurden im Rahmen dieses Forschungsprojektes ausgefüllt
Attribut	Einheit	Abstufung	Beschrieb, Verständnis, Erläuterung
Material	Faktor, Zahl	kein (0%) > 1.0 klein (+10%) > 1.1 mittel (+50%) > 1.5 gross (+100%) > 2.0	Umfasst Materialkosten: klein -> "geringer Materialaufwand" mittel -> "mittlerer Materialaufwand" gross -> "grosser Materialaufwand"
Maschinen und Geräte	Faktor, Zahl	kein (0%) > 1.0 klein (+10%) > 1.1 mittel (+50%) > 1.5 gross (+100%) > 2.0	Umfasst Massnahmenspezifische Gerätekosten: klein -> "geringer Geräteaufwand", mittel -> "mittlerer Geräteaufwand" gross -> "grosser Geräteaufwand"
Baulogistik / Zugang	Faktor, Zahl	normal > 1.0 erschwert > 1.2	Umfasst allenfalls erschwerte Zugänglichkeit und/oder logistische Massnahmen innerhalb des Tunnels (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)
Installationsgrad / Baustelleninstallation	Faktor, Zahl	klein > 1.05 mittel > 1.15 gross > 1.25	Umfasst Hauptinstallationen (NPK Pos. 113): klein -> "geringer Installationsgrad" mittel -> "mittlerer Installationsgrad" gross -> "grosser Installationsgrad"
TESI ⁴ / Betrieb	keine	unter Betrieb: x 1-Spur-Sperrung: x Röhren-Sperrung: x	Es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb / ausserhalb der Fahrbahn, bei einfacher Tunnel-sperrung oder nur unter Totalsperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet

⁴ TESI: temporäre Verkehrsführung und Signalisation

Kalibrierung der Attribute für die Kostenermittlung durch EP5

In Koordination mit dem EP5 wurden 27 Erhaltungsmassnahmen aus dem Massnahmenkatalog als Testmassnahmen für die Kalibrierung der Attribute zur Abschätzung des Personal- und Ausführungsaufwands definiert. Bei der Auswahl der Erhaltungsmassnahmen wurde darauf geachtet, dass für jede Bauwerksteil-Ebene mindestens eine Massnahme definiert wurde. Zudem wurde angestrebt, mit der Auswahl der 27 Testmassnahmen eine möglichst breite Palette unterschiedlicher Massnahmenarten (Schutz gegen Eindringen von Stoffen, Instandsetzungen oder Erneuerungen) abzudecken.

Die Kostenkennzahlen der ausgesuchten Testmassnahmen wurden mit der sogenannten Bottom-Up-Methode kalkuliert und vereinzelt mit der Top-Down-Methode plausibilisiert. Der Kostenvergleich erfolgt auf der Kostenebene der Massnahmenkosten K2 (theoretische Realisierungskosten je Laufmeter Tunnel bzw. je Stück), die aus den theoretischen Aufwandskosten sowie den anteiligen Kosten für Baulogistik und Installationen besteht. Gemäss den Angaben von EP5 werden die Personalkosten mit 100.-/h angenommen.

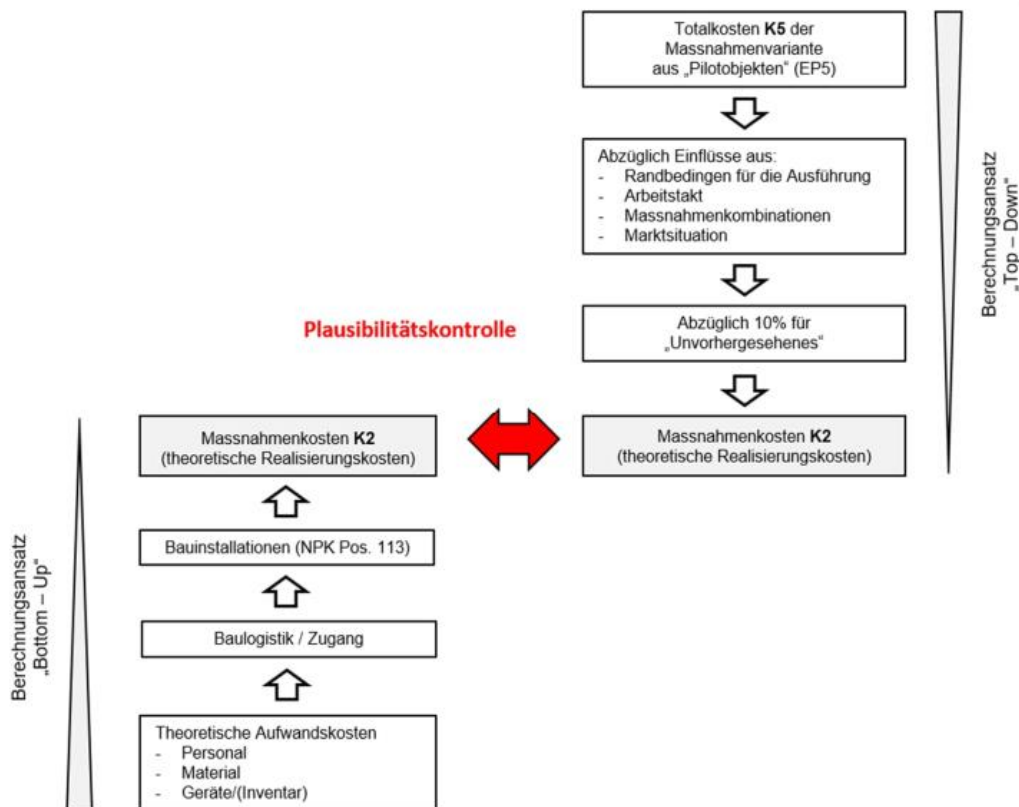


Abb. 17 Ermittlung der Kosten auf Kostenebene K2 mittels Bottom-Up und Top-Down-Ansatz gemäss EP5 [36]

Bei der Bottom-Up-Methode werden die Personalaufwendungen für jede Erhaltungsmassnahme als Grundwert abgeschätzt. Die Kostenanteile für Material, Geräte, Baustellenlogistik und Installationen werden über Faktoren als Zuschläge zu den Aufwandskosten berücksichtigt. Die Umrechnung der Kosten je Laufmeter Tunnel erfolgt mit den Abmessungen, die gemäss EP5 für die verschiedenen Bauwerksteile definiert sind.

Zur Verdeutlichung werden die Massnahmenkosten K2 (theoretische Realisierungskosten) für die Erhaltungsmassnahme: «Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung» an der Bauwerksteil-Ebene «Gewölbe» hergeleitet:

- Der Personalaufwand wurde bereits für die Erhaltungsmassnahme abgeschätzt, siehe Seite 49:
 - Mitarbeiter*Stunden pro GrE: 0.667 MA*h/m²;
 - Personalkosten: 100 CHF/h*MA;

- Theoretischer Ausführungsaufwand (Faktoren als Zuschläge):
 - Material: 1.50 (mittlerer Materialaufwand);
 - Maschinen/Geräte: 1.10 (geringer Geräteaufwand);
 - Baulogistik/Zugang: 1.00 (keine erschwerte Zugänglichkeit);
 - Installationsgrad: 1.05 (geringer Installationsgrad);
- Kalkulation der theoretischen Aufwandskosten K1 in Bezug zur Grundeinheit:
 - $0.667 \text{ MA} \cdot \text{h}/\text{m}^2 \cdot 100 \text{ CHF}/\text{h} \cdot \text{MA} \cdot 1.50 \cdot 1.10 = 110 \text{ CHF}/\text{m}^2$;
- Kalkulation der theoretischen Aufwandskosten K1 je Laufmeter Tunnel:
 - Bezugsgrösse für die Umrechnung (Bauwerksteil-Ebene: Gewölbe): $9.00 \text{ m}^2/\text{lfm}$
 - $110 \text{ CHF}/\text{m}^2 \cdot 9.00 \text{ m}^2/\text{lfm} = 990 \text{ CHF}/\text{lfm}$;
- Kalkulation der theoretischen Realisierungskosten je Laufmeter Tunnel:
 - $990 \text{ CHF}/\text{lfm} \cdot 1.00 \cdot 1.05 = 1040 \text{ CHF}/\text{lfm}$.

Der Top-Down-Ansatz basiert auf durchgeführten Projekten. Um vergleichbare Kosten mit dem Bottom-Up-Ansatz zu erzielen, müssen projekt- und objektspezifische Eigenheiten herausgerechnet werden, wie die Tunnellänge (sehr kurze oder sehr lange Tunnel) oder Auswirkungen aus Projektanforderungen (Kleinausmass, sowie Zuschläge für Nacht-, Schicht- oder Wochenendarbeit). Ebenso sind die TeSi-Kosten (Kosten der temporären Signalisation, Markierung, Einrichten von Überleitungen, etc.), Projektierungskosten und Kosten für Unvorhergesehenes nicht enthalten.

Der Top-Down-Ansatz wurde ausschliesslich vom EP5 angewendet und in der vorliegenden Forschungsarbeit zur Plausibilisierung der Kostenkennzahlen der Erhaltungsmassnahmen verwendet, die mit der Bottom-Up-Methode ermittelt wurden.

In Tab. 10 sind die definierten Testmassnahmen ersichtlich. Wie bereits erwähnt, wurden die Kostenkennzahlen der Testmassnahmen mit der Bottom-Up-Methode berechnet und vereinzelt, wo vorhanden, mit der Kostenkennzahl aus der Top-Down-Methode plausibilisiert und bei Bedarf angepasst (Justierung der Faktoren). Die restlichen Kostenkennzahlen, welche nicht mit dem Top-Down-Ansatz plausibilisiert werden konnten, wurden in Koordination mit dem EP5 analysiert und plausibilisiert.

Basierend auf diesen 27 «kalibrierten» Testmassnahmen (siehe Anhang II), wurden die Personal- und Ausführungsaufwand-Schätzungen für die verbleibenden Erhaltungsmassnahmen im Massnahmenkatalog durchgeführt.

Tab. 10 Ausgesuchte Erhaltungsmassnahmen für die Kalibrierung der Kostenattribute

M.-Nr.	Massnahme	Verfahren zur Plausibilisierung / Kalibrierung der Attribute
BWT-Ebene: Gewölbe (1000)		
1230	Reprofilierung mit Bew.instandsetzung	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Schänzli)
1340	Erneuerung Beschichtung (C)	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
1350	Ersatz Beschichtung (C)	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Galgenbuck)
1420	Rissinjektionen mit Bohrpäckern	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
1450	Blockfugen abdichten einfach	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Schänzli)
BWT-Ebene: Sohlgewölbe (2000)		
2560	Blockfugen abdichten erweitert	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Sonnenberg)

BWT-Ebene: Zwischendecke (3000)		
3410	Hydrophobierende Imprägnierung (H)	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
3510	Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
3610	Ersatz Zwischendecke	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
BWT-Ebene: Werkleitungskanal (4000)		
4220	Reprofilierung mit Bew.instandsetzung	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
BWT-Ebene: Fahrbahn (5000)		
5110	Wiederherstellung Griffigkeit	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
5220	Ersatz Randfugen	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Sonnenberg)
5310	Ersatz Deckbelag (Gussasphalt)	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
5410	Ersatz Deckbelag (Walzasphalt)	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Sonnenberg)
5420	Ersatz Binderschicht	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Sonnenberg)
5430	Ersatz Tragschicht	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Sonnenberg)
5440	Ersatz Fundationsschicht	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
BWT-Ebene: Bankett (6000)		
6210	Ersatz Randfugen	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
6220	Ersatz Deckbelag	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
6310	Ersatz Bankett ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
BWT-Ebene: Leitungen / Schächte (7000)		
7130	Ersatz Löschwasserleitung	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
7140	Ersatz Kabelrohrblock	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
7430	Ersatz Randsteine	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
7440	Ersatz Schlitzrinne	Top-Down-Ansatz (anhand des Instandsetzungsprojekts Tunnel Schänzli)
7510	Ersatz Siphonschacht-Abdeckung	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
7520	Ersatz Siphonschacht	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5
7610	Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (Drainageleitung)	Bottom-Up-Methode und Plausibilisierung mit EP5

2.4.2 Einschätzung der Wirkungsweise, Effektivität und Langzeitverhalten an EP4

Der Massnahmenkatalog umfasst Informationen zur Wirkungsweise, Effektivität und zum Langzeitverhalten von Erhaltungsmassnahmen. Diese Informationen bilden die Grundlage für das Entscheidmodell im EP4 und den Erhaltungsmassnahmenvergleich in Bezug auf die Risikoreduzierung hinsichtlich der Bauwerks- und Betriebssicherheit.

Die Massnahmenart impliziert in qualitativer Hinsicht ihre übergeordnete Wirkungsweise als grundlegende Beschreibung und Zielsetzung. Die Überlegungen und die Auswahl der Erhaltungsmassnahmen im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts stützen sich auf die SIA 269 7.2.1.1, die folgende Ziele bzw. Wirkungsweisen unterscheidet:

- Ursachen beseitigen:
diese Wirkungsweise liegt im Tätigkeitsfeld des Betreibers und ist nicht Teil der Forschungsarbeit;
- Schädigungsmechanismen verlangsamen oder unterbinden:
Bsp.: die Betonreprofilierung führt zu einer Verlangsamung oder Stoppen der Korrosion, indem chloridhaltiger Beton entfernt und die Bewehrung repassiviert wird;
- Schädigungen beheben:
Bsp.: der Bewehrungs- oder Belagsersatz, aber auch ein (Teil)Ersatz eines Bauwerksteiles entfernt die geschädigte Substanz und behebt somit den Schaden;
- Bauwerksteile schützen:
Bsp.: eine Querschnittsergänzung durch Spritzbeton- oder Betonauftrag oder ein Oberflächenschutz schützt das Bauwerksteil und verhindert ein künftig weiteres Eindringen der Schädigungsursache.

Folgendes kann in Bezug auf die Wirkungsweise, den Zustand und die Restnutzungsdauer einer Massnahme festgehalten werden.

Die Wirkung «Zustandsverbesserung» stellt in erster Linie eine Sofortwirkung dar. Das Beheben einer Schädigung führt zu einer Verbesserung des Zustands oder sogar zur Wiederherstellung des Neuzustands. Die Versagenswahrscheinlichkeit (Possibility of Failure, PoF) wird unmittelbar reduziert.

Im folgenden Diagramm (siehe Abb. 18) ist auch die Langzeitwirkung einer Erhaltungsmassnahme ersichtlich. Indem die Zustands- und Alterungsentwicklungskurve angehoben wird, resultiert je nach Massnahme eine unterschiedliche Verlängerung der Restnutzungsdauer (siehe Abb. 18, roter vertikaler Pfeil bei Massnahme EP3). Die Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer ist auch der Effekt beim Schützen oder Verlangsamen der Schädigungsmechanismen. Bei diesen Wirkungsweisen wird der Zustand nicht verbessert, sondern die Alterungsentwicklung verlangsamt, sprich die Entwicklungskurve wird flacher (siehe Abb. 18, blauer horizontaler Pfeil bei Massnahme EP3).

Es ist zu betonen, dass in der Abb. 18 (siehe pinke Zustands- und Alterungsentwicklungskurve) auch die (Neben)Wirkung von Untersuchungsmethoden ersichtlich ist. Durch den Wissensgewinn des Zustandes kann eine verbesserte Aussage über die noch verbleibende Restnutzungsdauer (ohne Massnahmen) gemacht werden.

Die Wirkungsweise einer Erhaltungsmassnahme kann anhand der Zustands- und Alterungsentwicklungskurve (siehe Abb. 18) erklärt werden. Die Massnahme x führt zu einer Verzögerung der Alterung resp. Schadensentwicklung (präventive Massnahme, blauer horizontaler Pfeil), einer Zustandsverbesserung (korrektive Massnahme, roter vertikaler Pfeil) oder einer Kombination dieser Wirkungen. Beide Wirkungsweisen führen insgesamt zur Erfüllung der Anforderung, die Restnutzungsdauer zu erhöhen oder zumindest zu erhalten / sicherzustellen, wie es per Definition für eine Instandsetzung erforderlich ist.

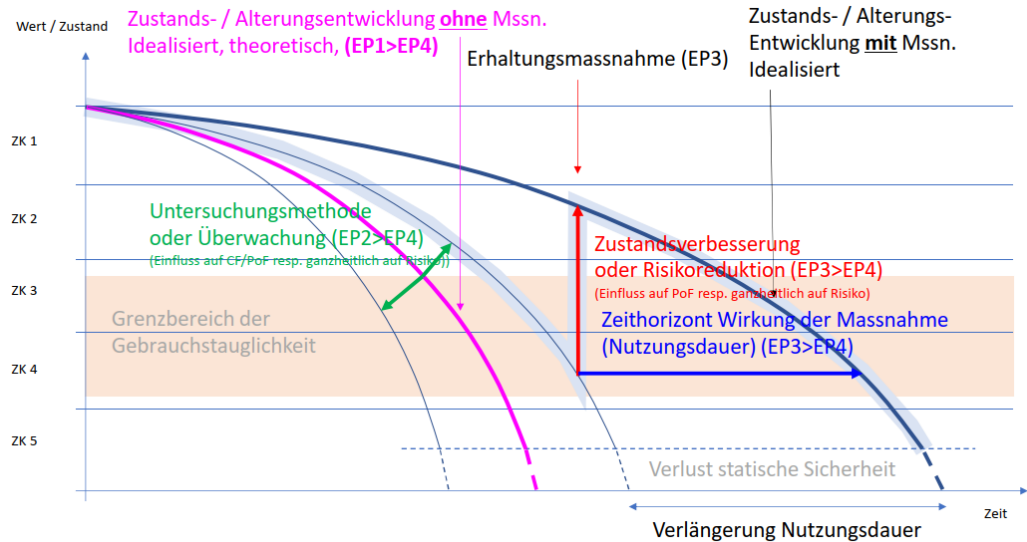


Abb. 18 idealisierte, theoretische Zustand- und Alterungsentwicklungskurve ohne/mit Massnahmen

An dieser Stelle sei noch erläutert, dass das vorliegende Forschungsprojekt bewusst von Effektivität, und nicht von Effizienz spricht. Die Effizienz, die das Verhältnis von Nutzen resp. Verbesserung zu den Kosten darstellt, wird im EP4 behandelt, wo die Kosten des EP5 parallel zum EP3-Input in das Entscheidungsmodell einfließen. Die Effektivität ist dann das Mass der Wirkung resp. des Effektes.

Unter Berücksichtigung der oben genannten Überlegungen wurden die folgenden Attribute zur Wirkungsweise und Effektivität der Erhaltungsmassnahmen definiert (siehe Abb. 19, Spalten aus dem Massnahmenkatalog). Diese Angaben werden im EP4 für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit verwendet.

Massnahmenziel und Wirkungsweise	Effektivität und Langzeitverhalten							
Hinweise für die Beurteilung Hinweise auf die Verhaltensverbesserung sprachlich / verbal	Sofortwirkung auf PoF				Langzeitwirkung auf PoF			
	Zustand				Zeithorizont			
	Verbesserung				Verlängerung (Rest-) Nutzungsdauer			
	bezogen auf Bauwerksteil				bezogen auf Bauwerksteil			
	keine	[klein]	[mittel]	[gross]	kein	[klein]	[mittel]	[gross]
Veränderung ZK				[Jahre]				
+/-0	-1	-2	zu 1	+/-0	+5	+15	+>25	

Abb. 19 Attribute zur Wirkungsweise / Effektivität an EP4

- Das Massnahmenziel bzw. die Wirkungsweise werden beschrieben, wobei Hinweise auf die Verhaltensverbesserung enthalten sind;
- Die Sofortwirkung auf PoF resp. die Zustandsverbesserung ausgedrückt in einer Veränderung der Zustandsklasse ist mit folgender Abstufung angegeben:
 - +/-0: Schützen oder Verlangsamen der Schädigungsmechanismen;
 - -1: leichte Zustandsverbesserung;
 - -2: deutliche Zustandsverbesserung;
 - zurück zur ZK 1: Wiederherstellung Neuwert / neuwertiger Zustand;
- Die Langzeitwirkung auf PoF resp. die Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer ist mit folgender Abstufung angegeben:
 - +/-0: keine Wirkung auf (Rest)Nutzungsdauer;
 - +5 Jahre: leichte Zustandsverbesserung bis zur nächste Hauptinspektion;
 - +15 Jahre: deutliche Zustandsverbesserung;
 - >+25 Jahre: Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode.

Die Vorgehensweise bei der Bewertung der Sofort- und Langzeitwirkung der Erhaltungsmassnahmen unter Verwendung der zuvor eingeführten Abstufungen war wie folgt:

- Zuerst wurden die die Erhaltungsmassnahmen in präventive, korrektive oder präventiv + korrektive Massnahmen eingeteilt. Es ist zu beachten, dass präventive Massnahmen in regelmässigen Abständen oder nach vorgeschriebenen Kriterien durchgeführt werden sollten, um Schäden zu vermeiden. Korrektive Massnahmen hingegen werden erst nach der Erkennung eines Fehlers oder Schadensbilds durchgeführt, mit dem Ziel die (Rest-)Nutzungsdauer durch Zustandsverbesserungen zu verlängern;
Als Kriterium für die Einteilung wurden die im Massnahmenkatalog definierten Massnahmenarten verwendet:
 - Reinigung/Pflege: keine Sofort- und Langzeitwirkung;
 - Oberflächenschutzsysteme: präventive Massnahmen, nur Langzeitwirkungen;
 - Abdichtungen: präventive Massnahmen, nur Langzeitwirkungen;
 - (Beton)Instandsetzung: präventive + korrektive Massnahmen, Sofort- und Langzeitwirkungen;
 - Ersatzmassnahmen: präventive + korrektive Massnahmen, Sofort- und Langzeitwirkungen (neuwertiger Zustand);
- Anschliessend wurde die Einteilung der Erhaltungsmassnahmen in die Abstufungen vorgenommen, wobei der Massnahmentyp (Ausdehnung und Umfang) in Bezug auf das Bauwerksteil ein entscheidendes Kriterium darstellte.

2.5 Vollständigkeitsnachweis des Massnahmenkatalogs

Das Ziel der vorliegenden Forschungsarbeit besteht unter anderem darin, alle bekannten und erprobten Massnahmen für die bauliche Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln in der Schweiz in einem Massnahmenkatalog zu erfassen. Es versteht sich von selbst, dass nicht jeder spezielle Fall oder individuelle Massnahme bezüglich Bauwerksteil, Randbedingung oder Ursache aufgenommen werden kann, sondern vielmehr die Gesamtheit von standardisierten Instandsetzungsmethoden betrachtet wird.

Zudem soll der Katalog mindestens drei nachweislich wirksame Massnahmen für jeden möglichen und bekannten Schadensprozess (siehe Tab. 6) enthalten. Die Zielsetzung der Vollständigkeit umfasst somit die Aspekte Datenbasis sowie Massnahmen für alle Bauwerksteile, für alle Massnahmentypen und für alle Schadenprozesse.

Unter diesen Aspekten wird nachfolgend die Vollständigkeit des Massnahmenkatalogs aufgezeigt.

2.5.1 Datenbasis / Fallbeispiele

Das vorliegende Forschungsprojekt hat die als relevant eingestuften Fallbeispiele (siehe Kapitel 1.2.3) hinsichtlich der Massnahmen ausgewertet und mit Kenntnissen aus öffentlich zugänglichen Dokumenten (z.B. Fachzeitschriften, Normen und Literatur) ergänzt. Daraus wurden dann alle Massnahmen zusammengetragen und in eine Systematik (siehe Kapitel 2.2.3) eingeordnet. Projektspezifische Ausprägungen, partielle oder erweiterte Massnahmenkonzepte sowie Details von speziellen Randbedingungen in den Projekten wurden bewusst ausgeblendet, um dem Forschungsziel nach standardisierten Massnahmen gerecht zu werden und zu erreichen.

2.5.2 Massnahmenvollständigkeit bezogen auf die Gliederung

Die Vollständigkeit des Massnahmenkatalogs kann auch damit aufgezeigt werden, dass für alle Bauwerksteile standardisierte Erhaltungsmassnahmen vorhanden sind. Zudem wurden alle Erhaltungsmassnahmentypen aus dem bestehenden KUBA-Katalog sowie die gemäss SIA 269/2 (2011) zugeordneten Verfahren für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken berücksichtigt und erfasst.

2.5.3 Massnahmen für alle Schadensprozesse

Die Vollständigkeit des M.-Katalogs wird explizit damit aufgezeigt, dass für alle Schadensprozesse (siehe Tab. 6) mindestens 3 nachweislich wirksame Massnahmen vorhanden sind. Dieser Vollständigkeitsnachweis ist in Tab. 11 ersichtlich.

Tab. 11 Nachweis der Vollständigkeit des M.-Katalogs

S-Nr.	Schadensprozess	M-Nr.	Erhaltungsmassnahme
S-1	Stahlbeton		
S-11	Bewehrungskorrosion	1230/2230/2320/3220/3320/4220	Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung
		1240/2240/2330/3330/4230	Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage
		1260/2260/2350	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung
		1270/2270/2360	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage
		1310/3410	Hydrophobierende Imprägnierung (H)
		1320/3420	Erneuerung Imprägnierung (I)
		1330/3430	Ersatz Imprägnierung (I)
		1340/3440	Erneuerung Beschichtung (C)
		1350/3450	Ersatz Beschichtung (C)
		S-12	Betonangriff / Gefügezerstörung
1220/2220/2310/3210/3310/4210	Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz		
1230/2230/2320/3220/3320/4220	Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung		
1240/2240/2330/3330/4230	Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage		
1250/2250/2340	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz		
1260/2260/2350	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung		
1270/2270/2360	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage		
1310/3410	Hydrophobierende Imprägnierung (H)		

		1320/3420	Erneuerung Imprägnierung (I)
		1330/3430	Ersatz Imprägnierung (I)
		1340/3440	Erneuerung Beschichtung (C)
		1350/3450	Ersatz Beschichtung (C)
		7410	Randsteine instandsetzen
		7420	Schlitzzrinne instandsetzen
		7430	Ersatz Randsteine
		7440	Ersatz Schlitzzrinne
S-19	Ermüdung Stahlbeton	1210/2210	Lokale Betoninstandsetzung
		1220/2220/2310/3210/3310/4210	Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz
		1230/2230/2320/3220/3320/4220	Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung
		1240/2240/2330/3330/4230	Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage
		1250/2250/2340	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz
		1260/2260/2350	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung
		1270/2270/2360	Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage
S-2	Metall		Stahlträger/Baustahl kann als Bestandteil des Gewölbes resp. der Ausbruchsicherung in ASTRA-Strassentunnel vorkommen.
S-21	Stahlkorrosion	1510	Ersatz Innengewölbe
		2610	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)
		2620	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)
		3520	Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)
S-29	Ermüdung Baustahl	1510	Ersatz Innengewölbe
		2610	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)
		2620	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)
		3520	Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)
S-3	Baugrund		
S-31	Belastungsänderung Baugrund	1410/2410/2510	Rissinjektion mit Klebpackern
		1420/2420/2520	Rissinjektion mit Bohrpäckern
		1510	Ersatz Innengewölbe
		2610	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)
		2620	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)
		3510	Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)
		3520	Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)
		3610	Ersatz Zwischendecke
		4410	Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände
		4420	Ersatz WELK (Elementbau)
		6310	Ersatz Bankett ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett
		6320	Ersatz Bankett mit Leitungen bzw. KSR im Bankett

S-4		Berg-/ Grundwasser	
S-41	Belastungsänderung Berg- / Grundwasser	1410/2410/2510	Rissinjektion mit Klebepackern
		1420/2420/2520	Rissinjektion mit Bohrpäckern
		1430/2430/2530	Entwässerungsschlitz einfach
		1440/2440/2540	Entwässerungsschlitz erweitert
		1450/2450/2550	Blockfugen abdichten einfach
		1460/2460/2560	Blockfugen abdichten erweitert
		1470/2470/2570	Abdichtungsinjektion
		1480/2480/2580	Instandsetzung Abdichtung
		1490/2490/2590	Ersatz Teilabdichtung
		1510	Ersatz Innengewölbe
		2610	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)
		2620	Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)
		3510	Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)
		3520	Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)
		3610	Ersatz Zwischendecke
4410	Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände		
4420	Ersatz WELK (Elementbau)		
6310	Ersatz Bankett ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett		
6320	Ersatz Bankett mit Leitungen bzw. KSR im Bankett		
7110/7210/7310/7610	Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (im Bankett, WELK, unter Fahrbahn oder Gebirgsdrainage)		
7120/7220/7320/7620	Inlining Leitungen (im Bankett, WELK, unter Fahrbahn oder Gebirgsdrainage)		
7130/7230/7330	Ersatz Leitungen (im Bankett, WELK oder unter Fahrbahn)		
S-5		Kunststoff	
S-51	Alterung / Beschädigung Kunststoff	1480/2480/2580	Instandsetzung Abdichtung
		1490/2490/2590	Ersatz Teilabdichtung
		4310	Ersatz PBD-Abdichtung
		4320	Ersatz FLK-Abdichtung
		4330	Ersatz Gussasphalt-Abdichtung
S-6		Strassenoberbau	
S-61	Beschädigung senoberbau	Stras- 5110	Wiederherstellung Griffigkeit
		5210	Belagsrisse vergiessen
		5220/6210	Ersatz Randfugen
		5310/5410/6220	Ersatz Deckbelag (Guss- oder Walzasphalt)
		5320/5420	Ersatz Binderschicht (Guss- oder Walzasphalt)
		5330/5430	Ersatz Tragschicht (Guss- oder Walzasphalt)
		5440	Ersatz Fundationsschicht
		5510	Oberflächenerneuerung mit Deckschicht aus Walzasphalt (Betonfahrbahnplatte)
		5520	Ersatz Betonfahrbahnplatte

3 Erkenntnisse und Folgerungen

3.1 Kompatibilität der Grundlagen mit bestehenden Daten und Planungsmethoden

Alle erstellten Kataloge von EP1 bis EP3 sind über die übergeordnete Strukturierung der Bauwerksteile und Bauarten bzw. Bauteilarten miteinander verknüpft (siehe Kapitel 2.1). Die Verbindung erfolgt über eindeutige IDs. Die zugrunde liegende Bauwerksgliederung in allen Katalogen basiert auf der bestehenden Struktur der Kunstbautendatenbank KUBA. Diese wurde unter Berücksichtigung der aktuellen Entwicklungen im Bereich BIM überarbeitet und konzentriert sich auf bergmännische Strassentunnel. Um eine einfache Integration der Kataloge in diese Datenbanken zu ermöglichen, wurden die Einträge in den Katalogen, wo möglich, mit den entsprechenden Einträgen in KUBA oder IFC abgeglichen.

Der Massnahmenkatalog ist mit einer logischen Gliederungsstruktur aufgebaut. Jeder Eintrag im Katalog ist durch eine eindeutige ID gekennzeichnet, über die eine Verbindung zu den anderen Katalogen hergestellt wird.

Daher ist die Integration des erstellten Massnahmenkatalogs sowie der anderen Kataloge in bestehende und zukünftige Datenbanken gewährleistet.

3.2 Anwendung

Beim Aufbau des Massnahmenkatalogs wurde grosser Wert auf Praktikabilität und Einfachheit gelegt, damit der Anwender keine vertieften Spezialkenntnisse benötigt und künftige Erhaltungsmassnahmen ergänzen kann.

Die Begrifflichkeiten wurden gemäss den einschlägigen Normen gewählt.

Die Gliederungsstruktur der Massnahmen baut auf den Bauwerksteilen (Gewölbe, Sohle, Werkleitungskanal usw.) auf. Konkret werden Massnahmen immer an Bauwerksteilen umgesetzt, ungeachtet der Ursachen, Materialisierung, ihres Ausführungsaufwandes und Kosten. Im Rahmen der Inspektionen werden ebenfalls die Befunde als auch die Massnahmenempfehlungen des Inspektors nach den Bauwerksteilen gegliedert und erfasst.

Die Ergebnisse des vorliegenden Forschungsvorhabens EP3 bauen daher weitgehend auf bekannten Instrumenten auf

3.2.1 Hinweise zur Anwendung

Darstellung der Informationen des Grundlagenkatalogs für die Anwendung

Das zentrale inhaltliche Ergebnis des vorliegenden Forschungsprojekts EP3 ist der Grundlagenkatalog der Erhaltungsmassnahmen für bergmännische Strassentunnel, mit den in den vorangehenden Kapiteln beschriebenen Systematisierung, Inhalten und deren Verknüpfungen mit den weiteren Grundlagen- bzw. Fachkatalogen der Forschungsprojekte EP1 und EP2.

Der Massnahmenkatalog wurde, wie auch die verknüpften Grundlagenkataloge von EP1 und EP2, als Excel-Tabelle erstellt. In der Excel-Applikation lassen sich im Katalog Informationen suchen und lesen. In der umfassenden Tabelle können Erhaltungsmassnahmen nach bestimmten Kriterien (wie Bauwerksteilen, Bauteilarten und Schadensprozessen etc.) gefiltert werden, um sie spezifisch anzuzeigen und auszuwählen.

Die Entwicklung einer Anwendung bzw. Applikation zur benutzerfreundlichen Handhabung dieses Katalogs ist nicht Gegenstand des EP3. Es ist vorgesehen, dies als Bestandteil eines Nachfolgeprojekts umzusetzen, das auf den Ergebnissen aller fünf Einzelprojekte

EP1 bis EP5 basiert (siehe auch Kapitel 1.7). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist noch nicht festgelegt, wie und wann die Daten zu den Erhaltungsmassnahmen über eine benutzerfreundliche Applikation bereitgestellt werden können.

Darstellung der Erhaltungsmassnahmen als Katalogblätter

Die Ausgabe des umfangreichen Massnahmenkatalogs auf Papier ist weder in Bezug auf das Format noch auf die Lesbarkeit für den Benutzer praktikabel. Aus diesem Grund wurde vorgeschlagen, sämtliche Informationen zu den erprobten Erhaltungsmassnahmen in «Katalogblättern» darzustellen. Diese enthalten pro Erhaltungsmassnahme sämtliche Informationen aus dem Katalog, sowie zur Visualisierung typische Fotos bzw. Abbildungen. Die Katalogblätter sind dem vorliegenden Schlussbericht EP3 beigefügt (siehe Anhang III).

Gliederung des Grundlagenkatalogs

Um sicherzustellen, dass der Massnahmenkatalog einheitlich verstanden wird und eine konsistente Weiterführung gewährleistet ist, wird im Folgenden die Gliederungsstruktur sowie die Nummerierung der Massnahmen erläutert.

Unter Berücksichtigung der Systematisierung (siehe Kapitel 2.2) wurden die Erhaltungsmassnahmen in der folgenden Gliederungsstruktur erfasst.

- └ Bauwerksteil-Ebene
 - └ Massnahmenart/Erhaltungsaufwand
 - └ Erhaltungsmassnahme
 - └ Massnahmentyp (Massnahmenausdehnung und -umfang)

Die Erhaltungsmassnahmen wurden unter Berücksichtigung der definierten Gliederungsstruktur mit einer 4-stelligen Dezimalzahl eindeutig im Massnahmenkatalog erfasst.

Bauwerksteil-Ebene:

Die erste Dezimalzahl in der 4-stelligen Massnahmennummerierung bezieht sich auf die Bauwerksteil-Ebene, an welcher die Massnahme angewendet wird (siehe Tab. 12).

Tab. 12 Massnahmengliederung, Bauwerksteil-Ebene

M. Nr.:	Bauwerksteil-Ebene:
1000	Gewölbe
2000	Sohlgewölbe
3000	Zwischendecke
4000	Werkleitungskanal
5000	Fahrbahn/Fahrbahnfundation
6000	Bankett
7000	Leitungen/Schächte
x000	

Die Nummerierung der Bauwerksteil-Ebenen ist nicht limitiert und kann beliebig erweitert werden.

Massnahmenart /Erhaltungsaufwand:

Die zweite Dezimalzahl in der 4-stelligen Massnahmennummerierung bezieht sich auf die Massnahmenart (Reinigung, (Beton)Instandsetzung, Oberflächenschutzsysteme, Abdichtung, Sicherungsmassnahmen und Ersatzmassnahmen). Es ist zu beachten, dass die Nummerierung der Massnahmenarten je Bauwerksteil-Ebene von 1 bis 9 limitiert ist. Dies wird zur Verdeutlichung am Beispiel des Gewölbes gezeigt (siehe Tab. 13).

Tab. 13 Massnahmengliederung, Massnahmenart (Gewölbe)

M. Nr.:	Massnahmenart:
1100	Reinigung
1200	Betoninstandsetzung
1300	Oberflächenschutzsysteme für Beton
1400	Abdichtung
1500	Ersatzmassnahmen
1600	Reserve
1700	Reserve
1800	Reserve
1900	Reserve

Einige Massnahmenarten wurden zum Teil systematisch über fast alle Bauwerksteil-Ebenen nummeriert. So wurde zum Beispiel die Massnahmenart «Reinigung» mit Ausnahme der Bauwerksteil-Ebene 7000 (Leitungen / Schächte) bei allen Bauwerksteilen mit der Ziffer x100 nummeriert. Die «Instandsetzungen» wurden mit Ausnahme der Bauwerksteil-Ebene 6000 (Bankett) und 7000 (Leitungen / Schächte) bei allen Bauwerksteilen mit der Ziffer x200 nummeriert.

Es ist auch zu beachten, dass bei der Bauwerksteil-Ebene 7000 (Leitungen / Schächte) die Erhaltungsmassnahmen nicht nach den Massnahmenarten gegliedert wurden, sondern entweder nach dem Standort, an dem sich die Leitungen befinden, oder bei Schächten und Randelementen als Oberbegriff für die darin enthaltenen Erhaltungsmassnahmen (siehe Tab. 14).

Tab. 14 Massnahmengliederung, Massnahmenart (Leitungen/Schächte)

M. Nr.:	Massnahmenart:
7100	Leitungen resp. Kabelschutzrohre im Bankett
7200	Leitungen im WELK
7300	Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn
7400	Randelemente
7500	Schächte
7600	Gebirgsdrainage

Erhaltungsmassnahme:

Die dritte Dezimalzahl in der 4-stelligen Massnahmennummerierung bezieht sich auf die eigentliche Erhaltungsmassnahme. Es ist zu beachten, dass die Nummerierung der Erhaltungsmassnahmen je Massnahmenart auf 1 bis 9 beschränkt ist. Dies wird zur Verdeutlichung am Beispiel des Gewölbes und der Massnahmenart «Abdichtung» veranschaulicht (siehe Tab. 15).

Tab. 15 Massnahmengliederung, Erhaltungsmassnahmen

M. Nr.:	Erhaltungsmassnahme:
1400	Abdichtung (Massnahmenart)
1410	Rissinjektion mit Klebepackern
1420	Rissinjektion mit Bohrpäckern
1430	Entwässerungsschlitz einfach
1440	Entwässerungsschlitz erweitert
1450	Blockfugen abdichten einfach

1460	Blockfugen abdichten erweitert
1470	Abdichtungsinjektion
1480	Instandsetzung Abdichtung
1490	Ersatz Teilabdichtung
1500	Abdichtung 2 (wenn weitere Erhaltungsmassnahmen für die Massnahmenart «Abdichtung» an der Bauwerksteil-Ebene «Gewölbe» ergänzt werden sollen, muss eine nächste Massnahmenart im Katalog aufgenommen werden. Hier dient "Abdichtung 2" als Beispiel)
1510	Weitere Erhaltungsmassnahme

Massnahmentyp:

Die vierte Dezimalzahl in der 4-stelligen Massnahmennummerierung umfasst die Massnahmenausdehnung /-umfang einer Erhaltungsmassnahme, die in diesem Bericht als Massnahmentyp bezeichnet wird. Die folgende Zusammenstellung beschreibt die Zuordnung der vierten Dezimalstelle in Bezug auf den Massnahmentyp (siehe auch Kapitel 2.2.4).

Tab. 16 Massnahmengliederung, Massnahmentyp

Massnahmennummerierung	M.-Typ	Kurzbeschreibung	Umfang (pro Tunnelblock) semi-quantitativ
xxx1	2 / 3.1	Lokale / punktuelle Instandsetzung (kleine lokale Massnahme)	wenige m ² («1-2 m ² »)
xxx2	3.2	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch (mittlere Massnahme)	viele m ² («10-20 m ² »)
xxx3	3.3	Systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz (grosse Massnahme)	ganzer Tunnelblock
xxx4	3.4	Ersatz (1:1)	viele m ² («10-20 m ² »)
xxx5	3.5	Ersatz (1:1)	ganzer Tunnelblock

3.2.2 Auswertung der Fallbeispiele für den Erhaltungsmassnahmen-Katalog

Bei der Erstellung des Massnahmenkatalogs wurde dessen Vollständigkeit unter anderem anhand der im Anhang I aufgeführten Fallbeispiele überprüft (siehe auch Kapitel 2.5.1). Das bedeutet, dass die in den Fallbeispielen durchgeführten Instandsetzungsmassnahmen inhaltlich ausgewertet wurden, um sicherzustellen, dass sie auch im Massnahmenkatalog abgebildet sind.

Darüber hinaus wurden in Zusammenarbeit mit EP5 ausgewählte repräsentative Erhaltungsmassnahmen aus den Fallbeispielen kalkulatorisch ausgewertet und für die Kalibrierung und Auswertung des Kostenmodells von EP5 verwendet (siehe Kapitel 2.4.1 und Tab. 10).

Die Fallbeispiele wurden auch für die übergreifende Koordination zwischen den EPs genutzt, um Schnittstellen zu diskutieren und Einträge in den Katalogen festzulegen. In Zukunft können die Fallbeispiele auch für das Testen der praktischen Anwendung in einer Applikation (zukünftiges EP6) verwendet werden.

3.3 Plausibilität und Zuverlässigkeit der Angaben

Die Ausarbeitung des Massnahmenkatalogs erfolgte in mehreren Schritten, einschliesslich der Zusammenstellung der Erhaltungsmassnahmen und der Plausibilisierung der Attribute für das Kosten- und Risikomodell des EP5 und EP4. Die Schritte trugen massgeblich zur Vervollständigung und Verbesserung der Daten im Katalog bei und dienten daher auch auf verschiedenen Ebenen zur Überprüfung der Zuverlässigkeit der Angaben:

- Erstellung der grundlegenden Strukturierung des M.-Katalogs, einschliesslich aller erforderlichen Attribute pro Erhaltungsmassnahme und der Verknüpfung mit dem Grundlagenkatalog des EP1;
- Auswertung der Fallbeispiele bezüglich der Erhaltungsmassnahmen und der daraus gewonnen Ergebnisse für die Massnahmenplanung, u.a. zur Kontrolle, wie diese Informationen im Katalog abgebildet werden können;
- Abgleich und Aufnahme bisheriger Daten aus den Fachdatenkatalogen von KUBA zu Erhaltungsmassnahmentypen am kostenrelevanten Infrastrukturobjekt und deren vollständige Integration in die Struktur des Massnahmenkatalogs;
- Verifikation, dass sämtliche bekannten Schadensprozesse durch die aufgeführten Erhaltungsmassnahmen abgedeckt werden können (siehe Kapitel 2.5.3);
- Spiegeln der erfassten Erhaltungsmassnahmen mit Angaben aus früheren und aktuellen Normen, Richtlinien und Publikationen.

Beim zuletzt genannten Schritt wurde der vorliegende Massnahmenkatalog u.a. anhand der Norm SIA 269/2 (Folgenorm Empfehlung SIA 162/5) und der darin beschriebenen Grundprinzipien und zugeordneten Verfahren für den Schutz und die Instandsetzung von Betontragwerken kontrolliert.

3.4 Praktischer Nutzen

Der praktische Nutzen der vorliegenden Ergebnisse des EP3 sollen den folgenden Anwenderkreisen zugutekommen:

- Mitarbeitende des ASTRA, insbesondere der Abteilung Erhaltungsplanung, bei der Planung und Bestellung von Leistungen für die Instandhaltung oder Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln;
- Beauftragte Planende bzw. Ingenieurbüros, welche Vorschläge für Massnahmenempfehlungen ausarbeiten müssen mit der Wahl optimaler Erhaltungsmassnahmen für die angetroffenen Befunde, vermuteten Schadensprozesse oder betroffenen Bauwerksteile;
- Übergeordnete Stellen von Tunnelbetreibern / -besitzer, wie z.B. die Erhaltungsplanung Zentrale des ASTRA, welche auch aus Netzsicht eine projektübergreifende Vereinheitlichung des Erhaltungsmanagement-Prozesses anstreben, um bessere Datengrundlagen fürs aktuelle und zukünftige «Asset Management» von Tunneln zu erhalten.

Der praktische Nutzen in der Umsetzung zeigt sich u.a. in folgenden Bereichen:

- Der Massnahmenkatalog liefert als Nachschlagewerk den Anwenderinnen und Anwendern einheitlich strukturierte Informationen für jede erprobte Erhaltungsmassnahme je Schadensprozess. Diese können damit bezüglich ihrer Eigenschaften (Personalaufwand, theoretischer Ausführungsaufwand, Massnahmenziel, Sofort- und Langzeitwirkung) gut miteinander verglichen werden. Die aufgearbeiteten digitalen Daten bzw. Informationen können vollständig und flexibel u.a. am Bildschirm dargestellt werden;
- Für alle erprobten Erhaltungsmassnahmen stehen zusätzlich Katalogblätter (pdf, druckbar) für Interessierte zur Verfügung. Diese Katalogblätter für Erhaltungsmassnahmen sind immer gleich aufgebaut und fassen alle Informationen auf ein bis drei A4-Seiten zusammen. Sie können ausgedruckt schnell zur Hand genommen oder als pdf-Datei auf einem beliebigen pdf-fähigen Mobilgerät unterwegs angezeigt werden. So können sie direkt von Inspektorinnen und Inspektoren verwendet werden.

Ungeachtet des übergeordneten Gesamtprojekts kann der Beitrag des Forschungsprojekts EP3 in der Praxis von Nutzen sein. So ist beispielsweise eine einfache Datenbankabfrage zur Wirksamkeit einer Massnahme als Antwort auf einen bestimmten Schadensmechanismus zweifelsfrei ein nützliches Werkzeug für Projektleiter in der Praxis. Unter Berücksichtigung des EP4 und EP5, können bereits nach der Zustandserfassung in der frühen Evaluation der Instandsetzungsmassnahmen, die geeigneten Massnahmen hinsichtlich der Kosten (EP5) resp. Abwägung und Vergleich verschiedener Massnahmenkonzepte (EP4) miteinander verglichen und ausgewertet werden.

4 Empfehlungen

Im Folgenden sind die Empfehlungen aufgelistet, die sich aus der Bearbeitung des Forschungsprojekts EP3 ergeben haben.

Integration in zukünftige Erhaltungsmanagement-Systeme

Die von den Forschungsprojekten EP1 bis EP3 definierten Schadensprozesse, Untersuchungsmethoden, Erhaltungsmaßnahmen etc. sind in einer zukünftigen Datenbankanwendung fürs Erhaltungsmanagement von Tunneln zu integrieren, das BIM-fähig sein muss.

Damit kann eine systematische und integrative Erhaltungsplanung erreicht werden, welche auf einer durchgängigen Datenbasis, ausgehend vom Bauwerk, über die Erkenntnis zu Schäden, durchgeführten oder laufenden Untersuchungen bis hin zu den Erhaltungsmaßnahmen basiert.

Hauptinspektion (HI) Vorgaben anpassen

Für die Hauptinspektionen und deren Berichte gibt es detaillierte Vorgaben bezüglich Aufbau und Inhalt. Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass die Strukturierung, die Befunde und die vom Inspektor vorgeschlagenen Massnahmen auf die von den Forschungsprojekten EP1 bis EP3 definierten Bauwerksteil-Ebenen (siehe Abb. 14) und Massnahmentypen (siehe Kapitel 2.2.4) fokussiert und ausgerichtet werden.

Verifizierung der Attribute für die Kostenermittlung durch EP5

Weiter wird empfohlen, die gemäss der Bottom-Up-Methode geschätzten Attribute für den Personalaufwand und den theoretischen Ausführungsaufwand (siehe Kapitel 2.4.1) von Experten (z.B. von Bauunternehmen) überprüfen zu lassen. Es ist insbesondere ratsam, Bauunternehmen zu berücksichtigen, die sich auf spezifische Instandsetzungen konzentrieren, um von deren langjähriger Erfahrung und Marktorientierung zu profitieren. Die Verwendung von «genaueren» Attributen bei der Kostenermittlung von EP5 würde zu einer «genaueren» Kostenabschätzung je Erhaltungsmaßnahme führen und somit zu «genaueren» Eingabeparametern für das Entscheidungsmodell von EP4.

Beurteilung der Wirkung

Die Beurteilung der Wirkung des Forschungsprojekts soll in zwei Phasen unterteilt werden. Zuerst soll die Zuverlässigkeit der Angaben in der Praxis beurteilt werden. Dies kann nur erfolgen, wenn der Massnahmenkatalog plangemäss angewendet wird. Diesbezüglich sind die Hinweise zur Anwendung (siehe Kapitel 3.2.1) zu beachten. Damit der Erfolg der Einführung des Konzepts beurteilt werden kann, sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Werden die entwickelten Methoden zur Festlegung von Massnahmen korrekt und systematisch angewendet;
- Sind die erzeugten Grundlagen und Entscheidungen stabil bezüglich unterschiedlicher Anwender;
- Wie gross ist die Akzeptanz bei den Anwendern.

Erst bei plangemässer Anwendung des M.-Katalogs macht es Sinn, die Wirkung der Methode hinsichtlich des übergeordneten Ziels zu beurteilen. Um dies direkt und eindeutig beurteilen zu können, müssen punktuelle Vergleiche zwischen den gegenübergestellten Erhaltungsprojekten durchgeführt werden. Diese Projekte werden parallel auf der Grundlage der neu entwickelten Methodologie und der traditionellen projektbasierten Arbeitsweise erstellt und vor der Ausführung evaluiert. Dadurch würde auch implizit die Vollständigkeit des M.-Katalogs und der darin zusammengetragenen Erhaltungsmaßnahmen geprüft werden.

Die vorgeschlagenen Massnahmen der Projekte könnten bezüglich folgender Fragen bewertet werden:

- Was sind die unmittelbaren Kosten der empfohlenen Massnahmen;
- Was sind die Auswirkungen auf den Betrieb unter anderem durch Sperrungen und Verkehrsbehinderungen;
- Was ist die längerfristige Wirkung und Kostenentwicklung aufgrund der Massnahme.

Besonders die letzte Frage ist nur schwer zu beantworten und erfordert zunächst Prognosen und Expertenmeinungen, die über Jahrzehnte mit Daten validiert werden müssen. Zusätzlich können die im Rahmen des Forschungsprojekts eingeführten Risikoanalysen dazu beitragen, Untersuchungsergebnisse und Massnahmenpakete zu vergleichen und die Wahrscheinlichkeit einer positiven Wirkung im Hinblick auf die Forschungsziele abzuschätzen.

5 Datengrundlage

5.1 Kompilation der Literatur

Die im vorliegenden Schlussbericht EP3 verwendete Literatur, gemäss dem Literaturverzeichnis im Anhang, ist Bestandteil der strukturierten Literaturdatenbank des EP3 in Citavi und steht dem Gesamtprojekt zur Verfügung.

5.2 Kompilation Fallbeispiele

Die als Fallbeispiele für die Anwendung von Untersuchungsmethoden (EP2) sowie auch von Befunden und Schadensprozessen (EP1) sowie Instandsetzungsmassnahmen (EP3) verwendeten Tunnelobjekte, ausgewählt gemäss Kapitel 1.2.3 sind ausführlich und systematisch im Anhang I dokumentiert.

Anhänge

I	Fallbeispiele: Faktenblätter Tunnel	78
II	Testmassnahmen für die Kalibrierung der Attribute der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung.....	118
III	Katalogblätter Erhaltungsmassnahmen	126

I Fallbeispiele: Faktenblätter Tunnel

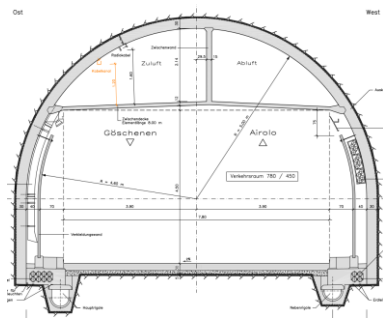
Als Fallbeispiele liegen angefügt die neun Faktenblätter zu folgenden untersuchten Tunnelanlagen gemäss Kapitel 1.2.3 vor:

Tab. 1 Fallbeispiele / Tunnelobjekte

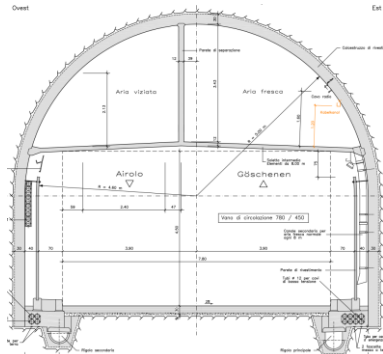
Bauwerk	Nationalstrasse / Kanton	Länge	Baujahr / Inbetriebsetzung letzte Gesamterneuerung
Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre	A2, TI / UR	16.9 km	1980
Seelisbergtunnel	A2, NW / UR	9.2 km	1980
Kerenzerbergtunnel	A3, GL / SG	5.5 km	1986
Gotschnatunnel	A28, GR	4.2 km	2004; 2019-2020
Gubristtunnel	A1, ZH	3.3 km	1985; (ab 2023)
Tunnel Belchen	A2, SO / BL	3.2 km	1963-1970; (ab 2023)
Tunnel Girsberg	A7, TG	1.8 km	2002
Sonnenbergtunnel	A2, LU	1.6 km	1976; 2009-2013
Reussporttunnel	A2, LU	0.8 km	1979; 2009-2013

Tab. 2 FALLBEISPIEL NR. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre

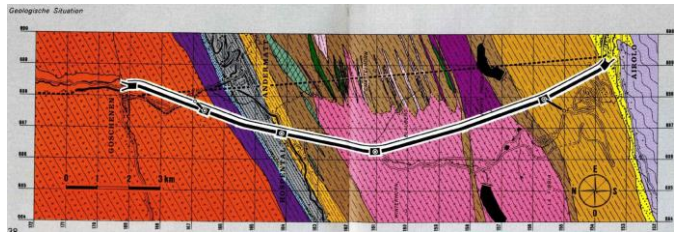
Steckbrief Tunnelobjekt



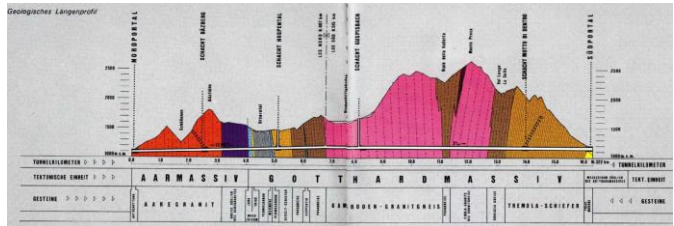
Normalprofil Nord



Normalprofil Süd



Geologische Situation



Geologisches Längsprofil

Abb. 1 Quelle: Planausschnitte: Berichte der Erhaltungsplanung Gotthard-Strassentunnel, ASTRA Filiale Zofingen

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A2, TI / UR
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> • alpin; klimatisch ausgeprägte Zonen Portalbereiche + Tunnelinneres • DTV ca. 5'000 – 23'000, ausgeprägte jahreszeitliche Schwankungen (Tourismus)
Länge	16.9 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	1980 laufende Instandsetzungen und Erneuerungen bzw. kleiner baulicher Unterhalt (KBU) in Rahmen von Nachtsperren (während 6 Wochen pro Jahr); Gesamterneuerung geplant: 2030 bis 2032
Mittlere Höhe Überdeckung	ca. 1'100 m.ü.M. max. Überdeckung >1'000 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> • Ab Nordportal: <ul style="list-style-type: none"> • Aarmassiv (vorwiegend Granit, Granitgneis und Gneis) • Urseren Zone (Metasediment: Störzone Nord (Mesozoikum)) • Gotthardmassiv (vorwiegend Granit, Granitgneis, (Para-)Gneise, Schiefer) • Nufenen-Zone (Metasediment: Sörzone Süd) • Grosser Bergwasseranfall, Fassung via Rigolen unter Bankett im Freispiegel
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Röhre à 2 Spuren • Gegenverkehr • Paralleler Sicherheitsstollen (SISTo) • Schutzräume (QV zu SISTo) ca. alle 250 m

Tab. 2 FALLBEISPIEL NR. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre

	<ul style="list-style-type: none"> • Beidseitige Ausstellbuchten ca. alle 300 m
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Halbquerlüftung • Zwischendecke für Abluft (Brandklappen) + Zuluft mit Lüftungsschächten (bis 543 m Höhe bzw. 896 m Länge) • Tragsystem Zwischendecke: Zweifeldträger mit seitlichen Auflagern und mittiger Aufhängung (an Trennwand Zu-/Abluftkanal) • 6 Lüftungszentralen
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Mischsystem: beidseitige Rigolen unter Fahrbahn
Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbruchverfahren: <ul style="list-style-type: none"> • Sprengvortrieb, grösstenteils im Vollausbruch • Profilform: Hufeisenprofil • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Aussengewölbe: Betonschale (30 cm) (regelmässig unterbrochen im standfesten Felsen) • Innengewölbe: vorgestellten Wandplatten aus vorfabriziertem Stahlbeton • Gewölbe-Abdichtung (Ableitkonzept)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> • bergmännische Strecke: 1.4 bis 3%
Eignung als Fallbeispiel	<ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Schädigungsmechanismen / Schäden • ausführliche Zustandsdaten • ausführliche Zustandsdaten inkl. Informationen zu ausgeführten Erhaltungsmassnahmen (SOMA und ÜMA) • Informationen von > 20 Jahren
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: Kantenausbrüche und Fugenöffnungen, Risse und Abplatzungen in den Tunnelgewölbe, der Zwischendecke, der Trennwand, den Wandplatten, im Bankett und den Randsteinen <ul style="list-style-type: none"> • Fugenversätze, Fugenöffnungen, Kantenausbrüche (BE-1200) • Risse (BE-1300) • Abplatzungen (BE-1400) • Chemische Integrität: Korrosion und sichtbare Bewehrung an Zwischendecke, Wandplatten und Wandplattenhalterungen <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-1100) • Undichtigkeiten: Feuchte Stellen, lokale / flächenhafte Nassstellen, vereinzelt Wasserzutritte, Mineralische Ausblühungen / Sinter <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion Tunnelwände, Zwischendecke und Wandplatten, Betonangriff / Gefügezerstörung in Ringfugen, Wandplatten und Randsteinen <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Betonangriff / Gefügezerstörung (S-12) • Schadensprozess Baustahl: Korrosion Wandplattenhalterungen / -abstützungen, Schachtabdeckungen <ul style="list-style-type: none"> • Metallkorrosion (S-21) • Schadensprozess Baugrund: Risse und Deformationen in der Kalotte, der Trennwand und der Zwischendecke <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31) • Schadensprozess Strassenoberbau: Abnutzung Belag <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung Strassenoberbau (S-61)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Versagen Zwischendecke (GB-13) • Versagen Aufhängungen (GB-15)

Tab. 2 FALLBEISPIEL NR. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre

	<ul style="list-style-type: none">• Betriebssicherheit<ul style="list-style-type: none">• unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21)• ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22)• Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23)• Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none">• Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen, Kanal-TV (Entwässerungsleitungen und Hydrantenleitung)<ul style="list-style-type: none">• Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110)• Hauptinspektion visuell (U-1-121)• Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123)• Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131)• visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211)• Kanal-TV (U-1-214)• Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221)• Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Deformations- und Konvergenzmessungen im Zu- und Abluftkanal (Zwischendecke) und im SISTo (Bereich Mesozoikum); Abklopfen, Bewehrungsüberdeckungs-messungen (lokal); Potenzialfeldmessung, Sondagefenster zur Bestimmung Korrosionsgrad Zwischendecke, Wandplatten, Schachtfussbereiche der Lüftungsschächte; Korrosionsmonitoring Zwischendecke (Überwachung Korrosionsfortschritt mittels Korrosionssensoren und Feuchtehaushalt); Materialtechnologische (u.a. metallographische) Untersuchungen Aufhängungen Zwischendecke und Wandplattenverankerungen, Zustandserfassung Fahrbahneigenschaften,<ul style="list-style-type: none">• Händische Messung (U-2-111)• Gleitmikrometer / Gleitdeformeter (U-2-131)• Abklopfen (U-2-211)• Automatische Belags- und Strassenzustandsprüfung (U-2-265)• Karbonatisierungsmessung am Bauwerk (U-2-411)• Sondierungs-/Bewehrungsfenster: Bestimmung Korrosionsgrad Bewehrung (U-2-421)• Potenzialfeldmessung (Bewehrung) (U-2-441)• Messung elektrischer Widerstand (Beton) (U-2-444)• Korrosionsmonitoring mittels Probekörpern mit spezifischer Sensoren (U-2-446)• Wirbelstromverfahren (Betonüberdeckungsmessung) (U-2-455)• Röntgenfluoreszenzspektrometrie (U-2-459)• Messung Umgebungstemperatur (U-2-511)• Messung Luftfeuchtigkeit (U-2-521)• Laborprüfungen: Mikroskopische Untersuchungen Betonbruchstücke Randstein, Untersuchung Beton: Zwischendecke, Wandplatten; Chemische Untersuchungen Baustoffe, Einwirkungen und Schadstoffe; Untersuchung Wasserproben Bergwasser (im Mesozoikum) und Brauchwasser (Hydrantenleitung), Untersuchungen Ermüdung der Bewehrung Zwischendecke mittels Zugversuchen und Dehnungsmessungen; Vortunnel: Untersuchung Wirksamkeit KKS u.a. mit laserinduzierter Plasmaspektroskopie (LIBS), Mikroskopischer Untersuchung am Dünnschliff, Bestimmung Haftzugfestigkeit der Grenzfläche zwischen Mörtel und Beton

Tab. 2 FALLBEISPIEL NR. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre

	<ul style="list-style-type: none">• Chloridanalyse (U-3-111)• Zugfestigkeit und Haftzugfestigkeit (U-3-221)• Zugversuche metallische Werkstoffe (U-3-241)• Elektronenmikroskop (U-3-411)• Lichtmikroskop (U-3-412)• Mikroskopische Untersuchung am Dünnschliff (U-3-421)• Chem. Zusammensetzung Wasser (U-3-520)• Asbest (U-3-542)• Wischprobe bei metallischen Werkstoffen (U-3-641)• Laserinduzierte Plasmaspektroskopie (LIBS) (U-3-661)• Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Nachrechnung Tragsicherheit, Schwingungs- und Erschütterungsmessungen an der Zwischendecke, Druckmessungen für Wandplatten<ul style="list-style-type: none">• Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110)• Belastungsversuche (U-4-300), u.a.• Schwingungsanalyse (U-4-311)
Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)	<ul style="list-style-type: none">• Sicherstellung, dass mit dem kleinen baulichen Unterhalt (KBU) sowie SOMA, ÜMA und VOMA die Trag- und Betriebssicherheit bis zur Gesamterneuerung (ab 2030) gewährleistet ist.• Sicherstellung Tragsicherheit der Zwischendecke u.a. durch Überwachung Aufhängungen Zwischendecke• Visuelle Inspektionen und detaillierte Untersuchungen lieferten relevante Inputs für Festlegung Eingriffstiefe und Ausmass der Instandsetzungsmassnahmen, welche im Rahmen der Gesamterneuerung (ab 2030) ausgeführt werden• Zusätzlich haben u.a. Schadstoffuntersuchungen den Handlungsbedarf im Zusammenhang mit dem Bau der 2. Röhre aufgezeigt
Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)	<ul style="list-style-type: none">• Gewölbe: Ersatz Wandplatten Portalbereich Airolo, Ersatz Befestigungen Bauwerksverkleidung / Wandplatten, zusätzliche Sicherung der Wandplatten mit korrosionsbeständigen Ankern, Abklopfen lose Betonteile, lokale Betoninstandsetzung, Abdichten von Wassereintritten, Fugensanierungen, Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz Tunnelwände Tagbau, Erneuerung Beschichtung Tunnelwände Tagbau und einzelne Blöcke Innengewölbe<ul style="list-style-type: none">• Abklopfen (M-1110)• Lokale Betoninstandsetzung (M-1210)• Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz (M-1220)• Ersatz Innengewölbe (M-1510)• Blockfugen abdichten einfach (M-1450)• Zwischendecke: Erneuerung Hydrophobierung, Abklopfen, Ersatz und Ergänzung Aufhängestangen<ul style="list-style-type: none">• Abklopfen (M-3110)• Hydrophobierende Imprägnierung (M-3410)• Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel) (M-3510)• Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel) (M-3520)• Randelemente: Reprofilierung Bankett<ul style="list-style-type: none">• Randsteine instandsetzen / reprofiliere (M-7420)• Leitungen resp. Kabelschutzrohre und Einlaufschächte im Bankett: Ersatz und Instandsetzung von Einlaufschächten / Rigolenschächten, Instandsetzung Kabelzugschächte inkl. Ersatz Schachtabdeckungen<ul style="list-style-type: none">• Kabelschächte Instandgesetzt bez. Totalersatz (M-7540)• Ersatz Kontroll-/Einlaufschacht (M-7530)• Entwässerungsleitungen unter Fahrbahn: Entfernen Ablagerungen Rigolen (Bereich Mesozoikum)

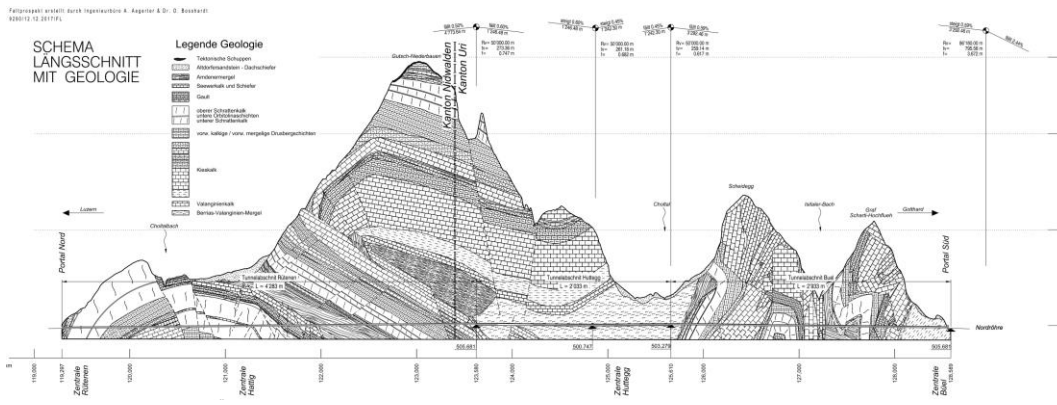
Tab. 2 FALLBEISPIEL NR. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre

	<ul style="list-style-type: none"> • Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (M-7310) • Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen¹: <ul style="list-style-type: none"> • Zubetonieren der alten DWL-Schächte • Neuer DWL in SISTo • Ersatz Betonsturz bei Schutzraumeingängen • Schliessung der Zwischenwand im Vortunnel (VOMA für Bau 2. Röhre) • Versuch Härtestabilisatoren Bergwasser Mesozoikum
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung Tragsicherheit, u.a. der Zwischendecke durch Ersatz und Einbau neuer Aufhängestangen • Gewährleistung Betriebssicherheit u.a. durch Ersatz von Schachtabdeckungen und Einbau neuer DWL im SISTo • Verringerter Chlorid- und Feuchtigkeitseintrag Wände Tagbau durch KKS, Betoninstandsetzung, Verlangsamung Bewehrungskorrosion und Vermeidung von Betonabplatzungen auf Bankett • Verringerter Feuchtigkeitseintrag in Zwischendecke durch Erneuerung Hydrophobierung -> Verlangsamung Bewehrungskorrosion
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamterneuerung u.a. mit Ersatz Zwischendecke und Fahrbahn (eingeschütteter WELK anstelle Fahrbahnplatte) sowie div. Betoninstandsetzungen u.a. am Innengewölbe (2030 – 2032)

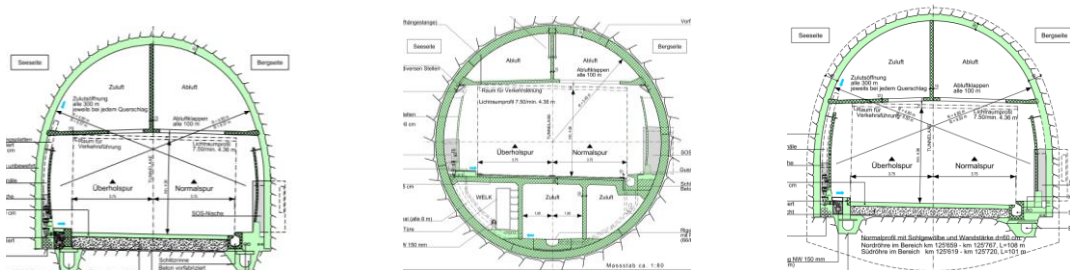
¹ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 3 FALLBEISPIEL NR. 2 Seelisbergtunnel

Steckbrief Tunnelobjekt



Geologisches Längsprofil



Normalprofil Los Rütene

Normalprofil Los Hutteg

Normalprofil Los Büel

Abb. 2 Quelle Planausschnitte: *Faltprospekt A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt, 12.12.2017*

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A2, NW / UR
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> • Zentralschweiz • DTV ca. 20'000
Länge	9.2 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	<p>1980</p> <p>Verstärkung verankerte Längsträger unter Fahrbahnplatte in Hebungszone 2000</p> <p>Instandsetzung Hebungszone 2004 / 2017</p> <p>Instandsetzung geplant: 2025 - 2030</p> <p>Gesamterneuerung geplant: 2035 – 2045</p>
Mittlere Höhe	ca. 500 m.ü.M.
Überdeckung	max. Überdeckung 1'400 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> • Geologische Einheiten / Lithologien: <ul style="list-style-type: none"> • grösstenteils Sedimente des in der Kreide und im Tertiär abgelagerten Helvetikums der Drusberg-Decke im Norden und Axen-Decke im Süden (Wechsellagerung aus i. A. standfestem Kalk und weniger standfesten Mergeln) • Hydrogeologie <ul style="list-style-type: none"> • Karstphänomene im Schrottenkalk in der nördlichen Drusberg-Decke • während Tunnelvortrieb festgestellte Wasserführung in drei Tunnellosen stark von Niederschlägen abhängig mit Maximum während Schneeschmelze (Los Rütene 50 – 1000 l/s, Los Hutteg 1 – 4 l/s, Los Büel 5 – 10 l/s) • Amdenermergel erwies sich während Vortrieb als absolut trocken. In Valanginienmergeln was Wasserführung vernachlässigbar klein. • betonaggressives Bergwasser infolge hoher Sulfidgehalt, • TA Rütene (km 119.300 – ca. km 123.600)

Tab. 3 FALLBEISPIEL NR. 2 Seelisbergtunnel

	<ul style="list-style-type: none"> Gault, obere / untere Orbitolinaschichten, Schrattenkalk, kalkige / mergelige Drusbergschichten, Altmansschichten, Kieselkalk, Kieselkalkschiefer, Seewerkalk, Seewerschiefer, Amdenermergel, Valanginienkalk Karst lokale, sich ausbreitende grosse Wasserzutritte (fliessend) Block 185 – 205 (Südröhre) resp. 185 – 210 (Nordröhre) TA Huttegg (ca. km 123.600 – ca. km 125.640) <ul style="list-style-type: none"> Valanginienkalk, Valanginienmergel TA Büel (ca. km 125.640 – 128.590) <ul style="list-style-type: none"> Valanginienmergel, Valanginienkalk, Alttertiäre Schiefer / Nummulitenkalke / Sandsteine, Schrattenkalk, obere Orbitolinaschichten, kalkige / mergelige Drusbergschichten, Altmansschichten, Kieselkalk, Echinodermenbrekzie des Kieselkalkes, Ultrahelvetischer Flysch, Altdorfer Sandstein-Gruppe lokale Hebungszone zwischen ca. km 128.140 bis 128.200 (stärker ausgeprägt in Südröhre) in parautochthone Schächentaler Flysch (Wechselagerung aus Altdorfer Sandsteinen und Schiefen), stark tektonisch gestört und zerschert, Felsüberdeckung ca. 120 m, kleinere bekannte Störungen / Störzonen („Ruschelzonen“) vorhanden, leichte Wasserzutritte jedoch unter Druck
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> 2 Röhren à 2 Spuren Richtungsverkehr Begehbare und befahrbare Querverbindungen
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> Zu- und Abluftkanäle (mit Umleitbauwerke bei Profilwechsel) Tragsystem Zwischendecke: Zweifeldträger mit seitlichen Auflagern und mittiger Aufhängung (an Trennwand Zu-/Abluftkanal) 4 Lüftungsbauwerke (Rütenen / Hattig / Huttegg / Büel)
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> Bergwasser via Bergwasserrigole oder Bergwasserfassung via Viadukt Mischwasser via Schlitzrinnen / Ölabscheider "Trennsystem" auf rund 2/3 der Tunnellänge; Abschnitt Büel im Mischsystem
Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> Ausbruchverfahren: <ul style="list-style-type: none"> Los Rütenen, 2 x 4'300 m konventioneller Sprengvortrieb Los Huttegg, 2 x 2'000 m mechanischer Vortrieb Los Büel, 2 x 2'900 m konventioneller Sprengvortrieb Profilform: <ul style="list-style-type: none"> Los Rütenen und Büel: Hufeisenprofil Los Huttegg: Kreisprofil Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> Aussengewölbe: Ortbetonschale <ul style="list-style-type: none"> Los Rütenen und Büel: 30 cm Los Huttegg: 50 cm Innengewölbe: vorgestellten Wandplatten aus vorfabriziertem Stahlbeton Abdichtungskonzept: keine Abdichtung Verankerte Längsträger als Auflager für Fahrbahnplatte in Hebungszone / Amdenermergelstrecke
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> bergmännische Strecke: 0.50 – 0.60%
Eignung als Fallbeispiel	<ul style="list-style-type: none"> unterschiedliche Schädigungsmechanismen / Schäden verschiedene Einwirkungen aus Baugrund (u.a. Quellen, Bergwasser, Karst) ausführliche Überwachungs- und Zustandsdaten div. ausgeführte SOMA, ÜMA, EP (u.a. Sicherung Zwischendecke für Normkonformität, div. Reprofilierungen, Wasserfassung / -

Tab. 3 FALLBEISPIEL NR. 2 Seelisbergtunnel

	<p>ableitung, Ersatz defekte Schieber Löschwasserleitung, Belagersatz)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hinterfüllung Tübbinge zur Mängelbehebung Ausführung
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
<p>Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: Verschiebungen und Fugenversätze Tübbinge, Sohlhebungen / Hebungen Fahrbahnplatte, Unebenheiten Fahrbahn, Längs- / Querrisse in Fahrbahnplatte und Betonbelag, Abplatzungen <ul style="list-style-type: none"> • Setzungen, Verschiebungen, Verformungen, Hebungen (BE-1100) • Fugenversätze, Fugenöffnungen, Kantenausbrüche (BE-1200) • Risse (BE-1300) • Abplatzungen (BE-1400) • Belagsschäden (BE-1500) • Chemische Integrität: Korrosionsflecken <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-2100) • Undichtigkeiten: sich ausbreitende Wasserzutritte (fliessend) oberhalb Zwischendecke, Wasserzutritte / Tropfstelle in Fahrraum über undichte Stellen Zwischendecke, Feuchtstellen / feuchte Blockfugen, Versinterungen <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000) • Funktionsstörung: verformte, zerdrückte Schlitzrinne infolge Hebung Fahrbahnplatte <ul style="list-style-type: none"> • Querschnittsverluste in Drainage- / Entwässerungssystem (BE-4100)
<p>Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Betonangriff / Gefügezerstörung (S-12) • Ermüdung Stahlbeton (S-19) • Schadensprozess Baustahl: verrostete Schachtrahmen / -deckel <ul style="list-style-type: none"> • Metallkorrosion (S-21) • Schadensprozess Baugrund: druckhaftes Gebirge, starke Auflockerung / Verwitterung infolge „Gebirgsdurchnässung“ <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31) • Schadensprozess Berg- / Grundwasser: Veränderung der Wasserwegigkeiten, fortschreitende sich ausbreitende Wasserzutritte <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Berg- / Grundwasser (S-41) • Schadensprozess Strassenoberbau: Risse / Netzrisse und Materialausbrüche in Fahrbahnbelag, Risse in Betonbelag / Fahrbahnplatte <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung Strassenoberbau (S-61)
<p>Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) • ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) • Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23) • Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
<p>Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) • Hauptinspektion visuell (U-1-121) • Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) • Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) • visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) • Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221) • Messtechnische Untersuchung am Bauwerk: Deformationsmessungen Fahrbahn / Fahrbahnplatte, Aufnahme Gewölbbestärken mit Ultraschall, Ankerkraftmessungen,

Tab. 3 FALLBEISPIEL NR. 2 Seelisbergtunnel

	<p>Gleitmikrometer und Inklinometer in Hebungszone, Klimamessungen (Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit sowie vereinzelt Oberflächentemperaturen der Zwischendecke)</p> <ul style="list-style-type: none">• Händische Messung (U-2-111)• Nivellement (U-2-121)• Gleitmikrometer / Gleitdeformeter (U-2-131)• Inklinometer (U-2-141)• Ankerkraftmessung (U-2-232)• Ultraschallprüfung (U-2-452)• Messung Umgebungstemperatur (U-2-511)• Messung Luftfeuchtigkeit (U-2-521)• Laborprüfungen: Untersuchung Wasserproben Bergwasser, Untersuchung Ablagerung Bergwasser<ul style="list-style-type: none">• Chem. Zusammensetzung Wasser (U-3-520)• Feinanteile (U-3-531)• Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Nachrechnung Tragsicherheit Zwischendecke, Kontrollbohrungen zur Erfolgskontrolle Tübbinghinterfüllung<ul style="list-style-type: none">• Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110)• Sondierung am Bauwerk (U-4-210)
Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)	<ul style="list-style-type: none">• Ultraschallaufnahmen zur Erfolgskontrolle Tübbinghinterfüllung haben sich nicht bewährt unter lokalen Gegebenheiten Seelisbergtunnel• Kontrollbohrungen zur Erfolgskontrolle Tübbinghinterfüllung haben sich bewährt.• Feststoffproben an Ablagerungen aus Bergwasser liessen auf 100% Calciumcarbonat (Kalk) schliessen• Die chem. Analyse des Bergwassers liess auf eine unauffällige Zusammensetzung schliessen. Es gibt keine Hinweise, dass das Wasser zu Kalkausscheidungen neigt. Es ist jedoch denkbar, dass das Wasser infolge einer Erhöhung des pH-Werts zu Kalkausfällungen neigen würde.• Durchgeführte Untersuchungen ermöglichten umfassendes Bild des Zustands der verschiedenen Bauwerksteile und Eingrenzung des Instandsetzungs-umfangs (lokale Instandsetzungen)
Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)	<ul style="list-style-type: none">• Gewölbe: lokale Massnahmen / Installation Blechwannen zur Ableitung der Wasserzutritte (Auffangwannen, Ableitbleche)<ul style="list-style-type: none">• Entwässerungsschlitz erweitert (M-1440)• Zwischendecke: Sicherung und Ersatz der Zwischendeckenaufhängung / Schweizerriegel für Wiederherstellung Normkonformität<ul style="list-style-type: none">• Sicherung durch Aufhängungen (M-3510)• Ersatz der Aufhängungen (M-3520)• Fahrbahnplatte: Ersatz Fahrbahnplatte, Einbau stärkerer, neuer Fahrbahnplatte<ul style="list-style-type: none">• Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände (M-4400)• Fahrbahn: Ersatz Foundationsschicht, Reprofilierung Fahrbahn, Ersatz Betonbelag / Gussasphalt mit Walzasphalt in Hebungszone zur Vereinfachung zukünftiger Instandsetzungsmassnahmen<ul style="list-style-type: none">• Belagsersatz Walzasphalt (M-5400)• Ersatz Foundationsschicht (M-5440)• Leitungen / Schächte: Instandsetzung Schlitzrinne<ul style="list-style-type: none">• Schlitzrinne instandsetzen / reprofilieren (M-7420)• Injektion / Hinterfüllung Tübbinge (Mangelbeseitigung aus Bau)<ul style="list-style-type: none">• Abdichtungsinjektionen (M-1470)• Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen²:<ul style="list-style-type: none">• Entlastungsbohrungen Fassung Bergwasserzutritte im Fels

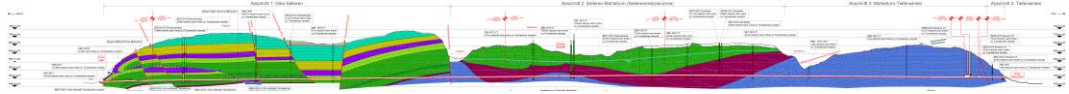
² Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 3 FALLBEISPIEL NR. 2 Seelisbergtunnel

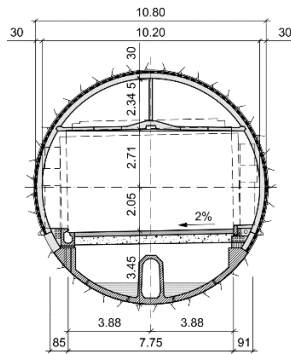
	<ul style="list-style-type: none"> lokale Verstärkung Zwischendecke mit Klebelamellen bei zusätzlichen Aussparungen für Brandluftabsaugen für Wiederherstellung Normkonformität / Tunnelsicherheit
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> Hinterfüllung Tübbinge in Südröhre zeigte gute Ergebnisse. Auf dieser Grundlage wurde entschieden auch die Tübbinge der Nordröhre zu hinterfüllen. Entlastungsbohrungen brachten Erkenntnisse hinsichtlich Gewölbestärke (i.d.R. 50 – 100 cm anstatt plangemäss 30 cm), Betonqualität (bei einzelnen Bohrungen markante Kiesnester vorhanden) und Geologie (Schrattenkalk mit beachtlichen Lehmeinschlüssen) Entlastungsbohrungen und Ableitung Wasserzutritte verhindern Wasserzutritte auf Fahrbahn
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> div. Instandsetzungsmassnahmen geplant zwischen 2025 - 2030 Gesamterneuerung geplant (ggf. mit Einbau von Sohlgewölbe in Hebungszonen oder Sohlverankerung): 2035 – 2045 Interventionszeitpunkt / VOMA abhängig von Hebungsverlauf

Tab. 4 FALLBEISPIEL NR. 3 Kerenzerbergtunnel

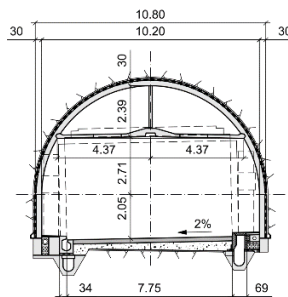
Steckbrief Tunnelobjekt



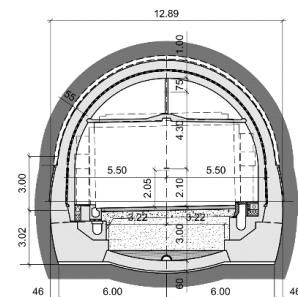
Geologisches Längenprofil



Normalprofil Gäsi



Normalprofil Tiefenwinkel



Normalprofil Lockergestein Tiefenwinkel

Abb. 3 Quelle Planausschnitte: Massnahmen- / Detailprojekt N03/70 Kerenzerbergtunnel, INGE K2, 26.02.2016

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A3, GL / SG
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> Ostschweiz DTV ca. 18'000
Länge	5.5 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	1986 Keine grösseren Instandsetzungen seit Inbetriebnahme Gesamterneuerung: 2020 bis 2026
Mittlere Höhe Überdeckung	ca. 450 m.ü.M. max. Überdeckung 300 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> Geologische Einheiten / Lithologien: <ul style="list-style-type: none"> Sedimente der im späten Jura- und der frühen Kreideformation abgelagerten Helvetischen Decken der Alpen (Mürtschen-Decke im Westen und Glarner-Decke im Osten) Gäsi - Salleren <ul style="list-style-type: none"> Betlis Formation (Valanginienkalk), Öhrli Formation (oberer / mittlerer / unterer Öhrlikalk, Öhrlimergel), Zementstein Formation (Zementsteinschichten), Quinten Formation (Troskalk, Quintnerkalk) Mürtschen-Decke aus unterschiedlich stark gebankten, kompakten Kalken mit dazwischenliegenden dünnmächtigen Mergeln. Sallerenbrekzienzone <ul style="list-style-type: none"> Quinten Formation-Brekzie (Troskalk, Quintnerkalk), Zementstein Formation-Brekzie (Zementsteinschichten) tektonisch unterschiedlich stark beanspruchter Bereich der östlichen Mürtschen-Decke bestehend aus kataklastisch überprägte bis kakiritisierte Gesteine. Mühlenhorn - Tiefenwinkel <ul style="list-style-type: none"> Quinten Formation Glarnerdecke (Troskalk, Quintnerkalk), Lockergestein im Portalbereich (Seebodenablagerungen, Bachschutt, Moräne) mehrheitlich massige, grobgebankte ziemlich intakte Kalke teilweise stark zerrüttet und intensiv zerklüfteter Kalk mit verlehmt in verschiedene Richtungen laufenden Klüften (insb. Störzone Tiefenwinkel) Hydrogeologie

Tab. 4 FALLBEISPIEL NR. 3 Kerenzerbergtunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Klufthwasserzutritte, starke Wasserzutritte insb. in Sallerenbrekziezone und in wenigen stark zerklüfteten Zonen in Quinten-Formation • Karstphänomene (ins. stark wasserführende Gäsihöhle) • Totale Bergwasserschüttmenge im ausgebauten Kerenzerbergtunnel ca. 10 (Portal Tiefenwinkel) bis 60 l/s (Portal Gäsi). Abflussmengen reagieren stark auf Niederschläge.
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Röhre à 2 Spuren • Richtungsverkehr • 6 einseitige Ausstellbuchten ca. alle 700 m • ausser Lüftungsstollen Hofwald zurzeit keine Notausgänge aus Tunnel
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Längslüftung mit Portalzentralen • punktuelle Absaugung im Ereignisfall über Rauchabzugsklappen • mit seitlichen Auflagern und mittiger Aufhängung (an Trennwand Zu-/Abluftkanal) • drei Lüftungszentralen Portal Gäsi, Hofwald (ca. Tunnelmitte) und Portal Tiefenwinkel
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • zurzeit Mischsystem (wird mit Instandsetzung umgebaut zu Trennsystem) • Fassung Bergwasser über Gewölbedrainage (in Instandsetzungsbereich zusätzlich über Sohl drainage)
Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbruchverfahren: <ul style="list-style-type: none"> • Los Gäsi: mechanischer Vortrieb mit Pilotstollen und nachträger Aufweitung in zwei Stufen • Los Tiefenwinkel: konventioneller Sprengvortrieb in Felsstrecke, Deutsche Kernbauweise (Messervortrieb) in Lockergesteinsstrecke • Profilform: <ul style="list-style-type: none"> • Los Gäsi: Kreisprofil • Los Tiefenwinkel: Hufeisenprofil (mit massiven Aussengewölbe im Lockergestein) • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Aussengewölbe Fels: <ul style="list-style-type: none"> • Spritzbeton, Netzarmierung, Anker, vereinzelt Stahlbogen in Los Tiefenwinkel • Aussengewölbe Lockergestein: <ul style="list-style-type: none"> • Stahleinbau mit Ortbetongewölbe 55 cm (100 – 200 cm im Widerlagerbereich) • Innengewölbe: <ul style="list-style-type: none"> • Los Gäsi: Ortbeton unbewehrt, 30 cm, Sohle mit Tübbingausbau • Los Tiefenwinkel: Ortbeton unbewehrt, 30 cm • Abdichtungskonzept: Ableitkonzept (drainierend)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> • bergmännische Strecke: <ul style="list-style-type: none"> • 1.05 % Portal Gäsi – Hochpunkt, • 0.67 % Hochpunkt – Portal Tiefenwinkel
Eignung als Fallbeispiel	<ul style="list-style-type: none"> • altersbedingte Schädigungsmechanismen / Schäden • Instandsetzung aufgrund unzureichender Tunnelsicherheit (u.a. Sicherung Zwischendecke infolge Anpassung Lüftung, Umbau Löschwasserleitung) • div. ausgeführte SOMA, ÜMA, EP (u.a. Belagersatz) • Instandsetzung mit geringen Verkehrsbehinderungen

Tab. 4 FALLBEISPIEL NR. 3 Kerenzerbergtunnel

Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: offene Längsrisse im Gewölbe Lüftungskanal, örtlich Vertikalrisse in Trennwand Lüftungskanal, Lüftungskanal und Trennwand, (Mörtel-)Abplatzungen im Auflagerbereich Zwischendecke, Abplatzungen Schlitzrinne und Randsteine, breiter Belagsriss infolge differentieller Setzung zwischen Tunnel und Galerie <ul style="list-style-type: none"> • Setzungen, Verschiebungen, Verformungen, Hebungen (BE-1100) • Risse (BE-1300) • Abplatzungen (BE-1400) • Belagsschäden (BE-1500) • Chemische Integrität: Korrosionsflecken: Korrosion von freiliegender Bewehrung im Lüftungskanal und Fluchtstollen <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-2100) • Undichtigkeiten: Wassereintritte in Fahrraum im Bereich der Blockfugen, Kondenswasser in Lüftungskanal <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000) • Funktionsstörung: beschädigte Schlitzrinne, kleinere Kalkablagerungen in Sammelkanal, tlw. Risse und Ausbrüche in Sickerleitung und Sohl drainage <ul style="list-style-type: none"> • Querschnittsverluste in Drainage- / Entwässerungssystem (BE-4100) • Ausfällungen, Versinterungen (BE-4200)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Schadensprozess Baugrund: differentielle Setzungen <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31) • Schadensprozess Berg- / Grundwasser: Wasserzutritte in Fahrraum, mangelhafte Wasserableitung aus Karsthöhle bei Starkniederschlägen, Versinterungen <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Berg- / Grundwasser (S-41) • Schadensprozess Strassenoberbau: Belagsrisse infolge differentieller Setzungen <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung Strassenoberbau (S-61)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) • ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) • Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen / Rissaufnahmen, Kanal-TV, <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) • Hauptinspektion visuell (U-1-121) • Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) • Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) • visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) • Kanal-TV (U-1-214) • Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221) • Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Scanneraufnahmen Risse, Messung Bewehrungsüberdeckung, Potentialfeldmessung, Entnahme Bewehrungsseisen, Sondierfenster für Korrosion, Ultraschallmessungen, Querebenheits- / Deflektions- / Tragfähigkeitsmessung Fahrbahn, Bohrkerne Belag, Belagsbohrung für Abklärung eventueller Belagsabsenkung, <ul style="list-style-type: none"> • Laserscanning (U-2-151) • Automatische Belags- und Strassenzustandsprüfung (U-2-265) • Sondieröffnung/Bewehrungsfenster (U-2-421) • Belagsfenster (U-2-422)

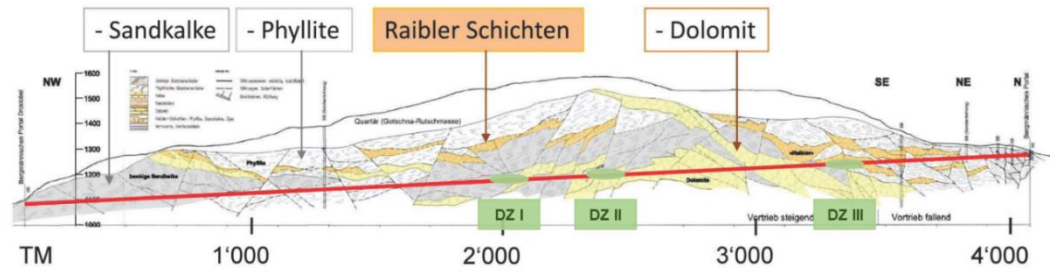
Tab. 4 FALLBEISPIEL NR. 3 Kerenzerbergtunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Potenzialfeldmessung (Bewehrung) (U-2-441) • Georadar (U-2-451) • Ultraschallprüfung (U-2-452) • Laborprüfungen: Entnahme Bohrkern für Druckfestigkeit und Karbonatisierung, CI-Entnahme von Bohrmehlproben für Chloridprüfung, Überprüfung Belagsaufbau und Asbestgehalt, Mischgutuntersuchungen, Entnahme Bergwasserproben, Rissbohrung <ul style="list-style-type: none"> • Chloridanalyse (U-3-111) • Karbonatisierungstiefe am Bohrkern (U-3-121) • Druckfestigkeit (U-3-211) • Chem. Zusammensetzung Wasser (U-3-520) • Asbest (U-3-542) • PAK (U-3-543) • Rissmessung am Bohrkern (U-3-631) • Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Nachrechnung Tragsicherheit Zwischendecke, Sondierfenster <ul style="list-style-type: none"> • Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110) • Überprüfung / Aktualisierung Statik (U-4-120) • Sondierungen am Bauwerk (U-4-210)
Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)	<ul style="list-style-type: none"> • Durchgeführte Untersuchungen ermöglichten umfassendes Bild des Zustands der verschiedenen Bauwerksteile und Eingrenzung des Instandsetzungsumfanges (lokale Instandsetzungen) • Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit der bestehenden Zwischendecke konnte mit statischer Überprüfung nachgewiesen werden. Es sind keine baulichen Massnahmen nötig.
Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrbahn / Fahrbahnfundation: Teilersatz des Belages <ul style="list-style-type: none"> • Belagsersatz (Walzasphalt) (M-5400) • Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn: punktuelle Instandsetzungsmassnahmen an Sammelleitung und Gewölbedrainageleitung zur Gewährleistung Abflusskapazität <ul style="list-style-type: none"> • Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (M-7310) • Rissverpressung Tunnelgewölbe im Bereich der Lüftungskanäle mit Epoxid-Harzinjektion <ul style="list-style-type: none"> • Rissinjektionen mit Bohrpäckern (M-1420) • Aufbringen Oberflächenschutz <ul style="list-style-type: none"> • Erneuerung Beschichtung (C) (M-1340) • Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen³: <ul style="list-style-type: none"> • Lokale Verstärkung / Sicherung Zwischendecke im Bereich von vorgesehenen Öffnungen für Einstieg in Lüftungskanal
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • durchgeführte UeMa betreffen im Wesentlichen bauliche Massnahmen zur Anpassung der Lüftung • lokale Instandsetzungsmassnahmen am Gewölbe (Rissverpressung) und im Bereich Galerie Gäsi (Beschichtung Wände, Anpassung Belag) garantieren sicheren Tunnelbetrieb bis Gesamterneuerung Tunnel nach Fertigstellung SiSto
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • lokale Instandsetzung Tunnelgewölbe Fahrraum, Aufhellung Tunnelwände mittels Oberflächenschutzsystem • lokale Instandsetzung Gewölbedrainage • Bankettersatz inkl. Ersatz Kabelschutzrohre, Randelemente, Löschwasserleitung • Umbau Mischsystem zu Trennsystem • Teilersatz Fahrbahnbelag

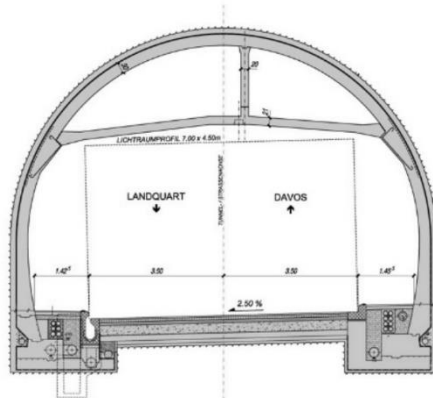
³ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 5 FALLBEISPIEL NR. 4 Gotschnatunnel

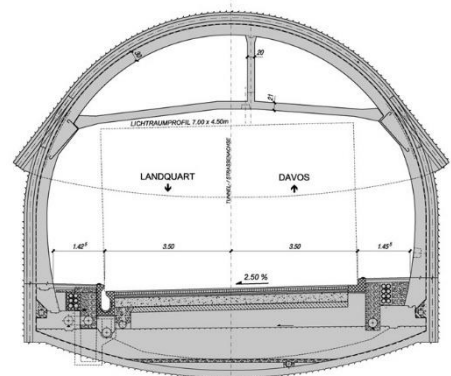
Steckbrief Tunnelobjekt



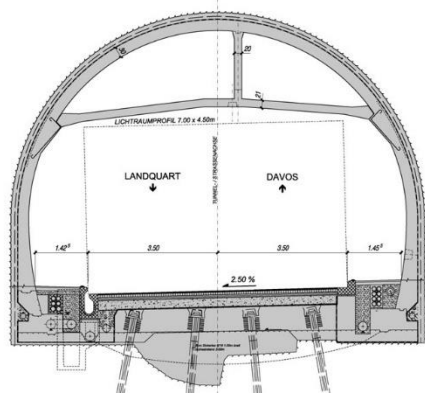
Geologisches Längenprofil



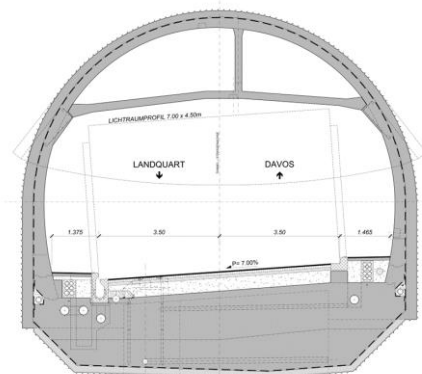
NP bergmännischer Tunnel ohne Sohlgewölbe
(Deformationszone I, II, III)



NP bergmännischer Tunnel mit Sohlgewölbe
(Deformationszone I)



NP bergmännischer Tunnel mit Sohlverankerung
(Deformationszone II)



NP bergmännischer Tunnel mit verstärktem
Sohlgewölbe (Deformationszone III)

Abb. 4 Quelle Planausschnitte: Massnahmenprojekt N28 UH TU Gotschna, INGE GOST, 29.03.2017

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	N28, GR
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> • 1x2-spuriger NS-Tunnel, Gegenverkehr • alpin, klimatisch ausgeprägte Zonen Portalbereich / Tunnelinneres • DTV ca. 15'000 – 20'000, ausgeprägte jahreszeitliche Schwankungen (Tourismus)
Länge	4.2 km
Jahr Inbetriebsetzung; Gesamterneuerung	2005; (2019 - 2020)

Tab. 5 FALLBEISPIEL NR. 4 Gotschnatunnel

Mittlere Höhe	ca. 1'170 m.ü.M.
Überdeckung	max. Überdeckung 400 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> • Geologische Einheiten / Lithologien: <ul style="list-style-type: none"> • Bündnerschiefer (Sandkalke, Phyllite) • Mélange (Dolomit, verschuppte Phyllite, Sandkalke, Dolomitbreccien, Gips, Anhydrit, Kalk, Kalkschiefer, Quarzit, Sandsteine, Kalksandstein, Granit) • Deformationszone I (TM 2020 – TM 2190): <ul style="list-style-type: none"> • Übergangszone von Bündnerschiefer zu Mélange • Dolomit verschuppt mit Phylliten und Sandkalken, Scherzone, Kakirit • Tropfwasser und Wasserzutritte (bis ca. 3 l/s) • stark mit Sulfat übersättigtes Bergwasser • Deformationszone II (TM 2420 – TM 2580): <ul style="list-style-type: none"> • Mélange • Dolomit, wenig verschuppte Phyllite, lokal Gips, Anhydrit • Tropfwasser und Wasserzutritte (bis ca. 1 l/min) • Deformationszone III (TM 3270 – TM 3440): <ul style="list-style-type: none"> • Mélange • Dolomit, bunte Schiefer, Sandstein, Gips, Anhydrit, Kalkschiefer • Vortrieb weitgehend trocken • Hydrogeologie <ul style="list-style-type: none"> • Im Bündnerschiefer traten Tropf- und Quellwasser mit Schüttungen zwischen 2 – 10 l/s lokal relativ häufig auf • Vortrieb in Mélange mit Ausnahme von Portalbereich Selfranga nahezu trocken • nach Fertigstellung des Tunnels über ganze Länge gemessene Wasserschüttmengen in Rigolen und Drainageleitungen korrelieren gut mit bei Bau festgestellten Wasserzutritten.
Tunnelanlage	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Röhre à 2 Spuren
Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> • Gegenverkehr • Paralleler Sicherheitsstollen • Querverbindungen ca. alle 300m
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Querlüftung mit Portalzentralen • Tragsystem Zwischendecke: Zweifeldträger mit seitlichen Auflagern und mittiger Aufhängung (an Trennwand Zu-/Abluftkanal)
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Trennsystem • Bergwasser: Gewölbedrainage / Bergwasserleitung, in Instandsetzungsbereichen zusätzlich Sohlrainage • Strassenabwasser: Schlitzrinne / Planumsentwässerung / Strassenwasserleitung
Bauweise bergm. Tunnel	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbruchverfahren: <ul style="list-style-type: none"> • Sprengvortrieb (SPV) steigender Vortrieb • Deutsche Bauweise fallend (600 m von Portal Selfranga) • Profilform: generell Hufeisenprofil / lokal Maulprofil • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Gewölbe Beton unbewehrt (30 cm) • Fundament (Sohlgewölbe) Beton unbewehrt (50 - 90 cm) • Fundament (Platte Sohlverankerung) Stahlbeton (60 cm) • Fundament (Sohlgewölbe verstärkt) Stahlbeton (180 – 240 cm) • Abdichtungskonzept: Ableitkonzept (drainierend)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> • bergmännische Strecke: max. 4.8%

Tab. 5 FALLBEISPIEL NR. 4 Gotschnatunnel

Eignung als Fallbeispiel	
	<ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Schädigungsmechanismen / Schäden • verschiedene Einwirkungen aus Baugrund (Quellen, sehr aggressives Bergwasser, Ausfällungen) • ausführliche Überwachungs- und Zustandsdaten (durchgehend von Bauphase über quasi ganze Lebensdauer) • div. ausgeführte SOMA, EP (Neubau Sohlgewölbe, Knautschzone, Verstärkung best. Gewölbe, Paramentersatz) • etappierte Instandsetzung inkl. Provisorien in Zwischenphasen während 3 Bauzeitfenstern mit Vollsperrung
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: Gewölbeverformungen, Gewölbekonvergenzen, Sohlhebungen, Längs- / Querrisse, Abplatzungen, Belagsrisse, Spurrinnen, Unebenheiten, vereinzelt klaffende Diagonalarisse Kabelschächten <ul style="list-style-type: none"> • Setzungen, Verschiebungen, Verformungen, Hebungen (BE-1100) • Risse (BE-1300) • Abplatzungen (BE-1400) • Belagsschäden (BE-1500) • Chemische Integrität: Korrosionsflecken <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-2100) • Undichtigkeiten: Feuchte Stellen, Nasse Stellen, Kalkausscheidung, Ausblühungen <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000) • Funktionsstörung: Verformungen Entwässerungsleitungen, Deformationen und Versätze Kabelschutzrohre <ul style="list-style-type: none"> • Querschnittsverluste in Drainage- / Entwässerungssystem (BE-4100)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Schadensprozess Baustahl: verrostete Schachtrahmen / -deckel <ul style="list-style-type: none"> • Metallkorrosion (S-21) • Schadensprozess Baugrund: starke Auflockerung / Verwitterung in kakiritisierten Tunnelabschnitten, Sulfatquellen / Quellprozess in Anhydrit <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Versagen Foundation (GB-12) • Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) • ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) • Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23) • Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Untersuchung: Inspektionen, Hauptinspektion (2009, 2015), Rissaufnahmen, Kanal-TV <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) • Hauptinspektion visuell (U-1-121) • Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) • Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) • visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) • Kanal-TV (U-1-214) • Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221) • Messtechnische Untersuchung am Bauwerk: Rissaufnahmen, Nivellement, Gleitmikrometer, Extensometer, Messung Ankerkräfte, Distometermessungen, Aufnahme Gewölbestärken mit Georadar, Ebenheitsmessungen Fahrbahn <ul style="list-style-type: none"> • Händische Messung (U-2-111)

Tab. 5 FALLBEISPIEL NR. 4 Gotschnatunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Nivellement (U-2-121) • Gleitmikrometer / Gleitdeformeter (U-2-131) • Stangenextensometer (U-2-136) • Zugprüfungen Anker und Zugstangen (U-2-231) • Automatische Belags- und Strassenzustandsprüfung (U-2-265) • Georadar (U-2-451) • Laborprüfung: Betondruckfestigkeit, Chloridgehalt, Quelldruckmessung, Triaxialversuche für vorkommende Petrologien, geol. Dünnschliffanalysen <ul style="list-style-type: none"> • Chloridanalyse (U-3-111) • Druckfestigkeit Beton (U-3-211) • Quelldruckmessung (U-3-213) • Triaxialversuche (U-3-214) • Rohdichte Beton (U-3-311) • Mikroskopische Untersuchung am Dünnschliff (U-4-421) • Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Rückrechnung Ausbauwiderstände, Schlitzpressenmessungen <ul style="list-style-type: none"> • Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110) • Überprüfung / Aktualisierung Statik (U-4-120) • Schlitzpressenmessungen (U-4-341)
Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)	<ul style="list-style-type: none"> • eindeutige Identifizierung des relevanten Schadensprozesses • Rückrechnung der vorherrschenden Ausbauwiderstände • Abschätzung des vorliegenden Quellpotentials sowie der zu erwartenden Hebungsraten in Abhängigkeit des Ausbauwiderstands • Schaffung der Grundlage für örtliche Eingrenzung der Instandsetzungsabschnitte unter Berücksichtigung der vorgängig definierten Instandsetzungsstrategie
Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)	<ul style="list-style-type: none"> • Gewölbe: Paramentersatz, Vorbetonieren, Beschichtung, Rissinjektionen in Paramenten <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Beschichtung (M-1350) • Rissinjektionen mit Klebepackern (M-1410) • Teilersatz Abdichtung (M-1490) • Ersatz Innengewölbe (M-1510) • Fahrbahn / Fahrbahnfundation: Ersatz der Fahrbahn in Zusammenhang mit Neubau Sohlgewölbe <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Foundationsschicht, Belagsersatz (M-5440) • Bankett: Bankettersatz in Zusammenhang mit Neubau Gewölbewiderlager / Sohlgewölbe <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Deckbelag (M-6220) • Ersatz Bankett mit Leitungen bzw. KSR im Bankett (M-6320) • Leitungen / Schächte: Ersatz Löschwasserleitung, Ersatz Gewölbedrainage, Ersatz Berg- / Strassenabwasserleitung, Ersatz Planumsentwässerung, Neubau Sohl drainage, Ersatz Kabelschutzrohre, Ersatz Randsteine / Schlitzrinnen, Ersatz Kontroll- / Siphonschächte in Zusammenhang mit Neubau Gewölbewiderlager / Sohlgewölbe <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Lösch- und Entwässerungsleitung, Kabelschutzrohre im Bankett (M-7130, M-7140) • Ersatz Entwässerungsleitungen, Kabelschutzrohre unter der Fahrbahn (M-7330) • Ersatz Randsteine, Schlitzrinne (M-7430, M-7440) • Totalersatz Siphon- / Kontroll- / Einlauf- und Kabelschächte (M-7520, M-7530, M-7540) • weitere Bauwerksteile: Ersatz SOS- / Hydrantennischen und Gewölbedrainage-Nischen in Zusammenhang mit Gewölbeverstärkung / Sohlgewölbe

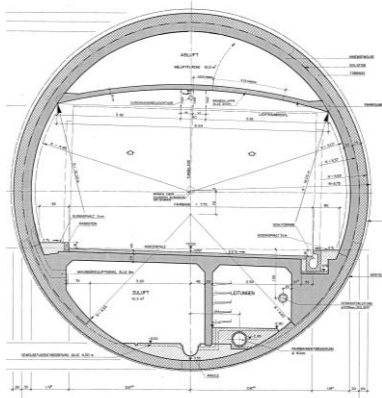
Tab. 5 FALLBEISPIEL NR. 4 Gotschnatunnel

	<ul style="list-style-type: none">• Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen⁴:<ul style="list-style-type: none">• Einbau bewehrtes Sohlgewölbe inkl. Vollabdichtung• Einbau Knautschzone
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none">• Gewährleistung der Tragsicherheit (Erhöhung Ausbauwiderstand) und der Gebrauchstauglichkeit (Ausgleich bisheriger Sohlhebungen, Reduktion Hebungsgeschwindigkeit)• Erhöhung Betriebssicherheit (Gewährleistung normkonformes Quergefälle / Fahrbahnenentwässerung, Ersatz beschädigter Fahrbahnabschnitte)
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none">• keine, Instandsetzung abgeschlossen• Überwachung Instandsetzungsstrecken

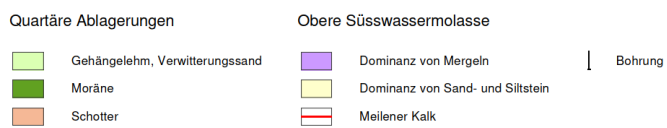
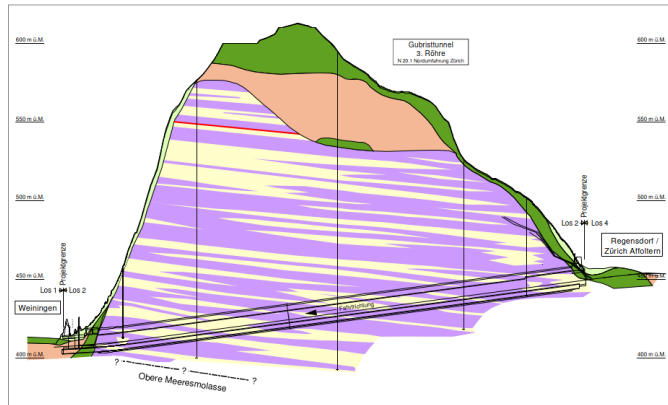
⁴ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 6 FALLBEISPIEL NR. 5 Gubristtunnel

Steckbrief Tunnelobjekt



Normalprofil bergmännischer Tunnel



Geologisches Längenprofil 2. Röhre

Abb. 5 Quelle: Planarchiv ASTRÄ Filiale Winterthur

Abb. 6 Quelle: Wildberger, 1985, aus Bericht Gubristtunnel, Geologie / Hydrologie / Geotechnik, Dr. Heinrich Jäckli AG, 28.02.2013

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A1, ZH
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> Mittelland (Molasse) höchste Beanspruchung durch Verkehr DTV > 110'00
Länge	3.3 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	1985 2009-2012 Erneuerung BSA, Umstellung Lüftungssystem; Gesamterneuerung geplant: 2023 bis 2027
Mittlere Höhe Überdeckung	ca. 435 m.ü.M. max. Überdeckung 180 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> Bergmännischer Tunnel vollständig im Gestein der Oberen Süsswassermolasse (Wechselagerungen von Sand-, Siltsteinen und Mergel) Grundwasser in Form von Hangwasser direkt über Molasseoberfläche und allenfalls im Bereich der stark verwitterten und geklüfteten Molasse Bergwasser nur in Form von Hangwasser direkt über Molasseoberfläche und teilweise im Bereich stark verwitterter und geklüfteter Molasse Bergwasseranfall im Tunnel: max. 0.8 l/s (pro Röhre)
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> 2 Röhren à 2 Spuren Richtungsverkehr Begehbare und befahrbare Querverbindungen Portalzentralen (Tagbaubereich) sowie Unter-/Oberirdische Lüftungszentrale mit Abluftschacht in Tunnelmitte
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> Längslüftung mit punktueller Absaugung im Ereignisfall über Rauchabzugsklappen mit Abzug via mittigem Abluftkamin Tragsystem Zwischendecke: Druckbogen mit seitlichen Auflagern
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> Mischsystem: Fahrbahntwässerung mittels Schlitzrinnen, Schmutzwasserleitung Bergwasser gesammelt in Rigole WELK/e

Tab. 6 FALLBEISPIEL NR. 5 Gubristtunnel

Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbruchverfahren: <ul style="list-style-type: none"> • Maschinelles Vortrieb (TBM) • Profilform: Kreisprofil • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Aussengewölbe: Tübbinge (28 cm) • Innengewölbe: Beton unbewehrt (Im Bereich der QV bewehrt) (30 cm, gemäss Messungen: 28 - 42 cm +/- 5cm) • Abdichtungskonzept: Gewölbe-Abdichtung (Ableitkonzept)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> • bergmännische Strecke: max. 1.29%
Eignung als Fallbeispiel	
	<ul style="list-style-type: none"> • ausführliche Zustandsdaten inkl. Informationen zu ausgeführten Erhaltungsmassnahmen seit 2003 (SOMA, ÜMA, VOMA) • massive Schäden u.a. durch Betrieb (v.a. Chloride) und notwendige Ertüchtigungsmassnahmen; • projektierte Massnahmen Gesamterneuerung auf Basis diverser Zustandsuntersuchungen u.a. im Rahmen Erhaltungsplanung.
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: Risse im Innengewölbe (v.a. im Abluftkanal) und in Fahrbahnplatte (über ganze Tunnellänge von 3 km verteilt) <ul style="list-style-type: none"> • Risse (BE-1300) • Chemische Integrität: Abplatzungen und sichtbare Bewehrung an Tunnelwänden Tagbau, WELK-Auflager und Schlitzrinnen <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-1100) • Undichtigkeiten: Wassereintritte und Versinterungen im WELK (div. Stellen über ganze Tunnellänge von 3 km verteilt), Versinterungen der Rigolen im WELK (Entwässerung Bergwasser) <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Abplatzungen, Bewehrungskorrosion Tunnelwände Tagbau, WELK-Auflager und Schlitzrinnen <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Betonangriff / Gefügezerstörung (S-12) • Schadensprozess Baugrund: Risse im Innengewölbe (v.a. im Abluftkanal) und in Fahrbahnplatte: <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31) • Schadensprozess Strassenoberbau: Abnutzung Belag <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung Strassenoberbau (S-61)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) • ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) • Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23) • Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen, Rissaufnahmen, Kanal-TV <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) • Hauptinspektion visuell (U-1-121) • Zwischeninspektion visuell (U-1-122) • Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) • Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) • visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) • Kanal-TV (U-1-214) • Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221) • Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Rissmessungen Innengewölbe und Fahrbahnplatte, Rissmonitoring Innengewölbe Abluftkanal bei grossen Rissen und Abplatzungen; Abklopfen

Tab. 6 FALLBEISPIEL NR. 5 Gubristunnel

	<p>Wände Tagbau; Bewehrungsüberdeckungsmessungen (lokal); Potenzialfeldmessung Wände Tagbau, Zwischendecke, Sondagefenster zur Bestimmung Korrosionsgrad Wände Tagbau, Fahrbahnplatte, Zwischendecke, Messung Innengewölbstärke, Belagsfenster zur Beurteilung der Abdichtung, Haftzugfestigkeit Beschichtung Wände Tagbau, Aufnahme Geometrie mittels Laserscanning; Inspektion Sicherung ZwD (Schweizerriegel)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Händische Messung (U-2-111) • Laserscanning (ohne KI) (U-2-151) • Invardrahtmessung (U-2-161) • Rissmessungen, Kontrolle Gipssiegel (U-2-162) • Erfassung Rissweitenänderungen mittels Wegsensoren (Wegaufnehmer) (U-2-163) • Abklopfen (U-2-211) • Prüfung mechanischer Sicherungen (U-2-221) • Karbonatisierungsmessung am Bauwerk (U-2-411) • Sondierungs-/Bewehrungsfenster: Bestimmung Korrosionsgrad Bewehrung (U-2-421) • Belagsfenster: Beurteilung Belag und Abdichtung (U-2-422) • Haftzugfestigkeit (U-2-433) • Potenzialfeldmessung (Bewehrung) (U-2-441) • Georadar (U-2-451) • Wirbelstromverfahren (Betonüberdeckungsmessung) (U-2-455) <ul style="list-style-type: none"> • Laborprüfungen: Untersuchung Beton: Wände Tagbau, Innengewölbe, WELK-Auflager, Fahrbahnplatte; Untersuchung Belag auf PAK; Chemische Untersuchungen Einwirkungen und Schadstoffe <ul style="list-style-type: none"> • Chloridanalyse (U-3-111) • Karbonatisierungstiefe am Bohrkern (U-3-121) • Frost-Tausalz widerstand (Frostwechselverhalten) (U-3-342) • Mikroskopische Untersuchung am Dünnschliff (U-3-421) • Chem. Zusammensetzung Wasser (U-3-520) • Russ, kanzerogene Stoffe (U-3-541) • Asbest (U-3-542) • PAK (U-3-543) • Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Nachrechnung Tragsicherheit Zwischendecke <ul style="list-style-type: none"> • Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110)
<p>Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung, dass mit ÜMA und VOMA die Trag- und Betriebssicherheit bis zur Gesamterneuerung (ab 2023) gewährleistet ist. • Detaillierte Untersuchungen (Beton-, Bewehrungsüberprüfung, Rissmessungen) haben gezeigt, dass SOMA nötig waren, aber allg. Tragsicherheit Fahrbahnplatte gegeben ist. • Festlegung Massnahmen zur Sicherung der Zwischendecke • Visuelle Inspektionen und detaillierte Untersuchungen lieferten relevante Inputs für Festlegung Eingriffstiefe und Ausmass der Instandsetzungsmassnahmen, welche im Rahmen der Gesamterneuerung (ab 2023) ausgeführt werden • Aufnahme der Tunnelgeometrie für Optimierung Instandsetzung u.a. bzgl. Normanforderungen an das Lichtraumprofil (z.B. Bankettbreiten) • Messung der Innengewölbstärke lieferten wichtige Hinweise für Detailplanung der neuen Zwischendeckenaufleger, welche im Rahmen der Gesamterneuerung 2023 - 2027 erstellt werden
<p>Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gewölbe: Abklopfen, lokale Betoninstandsetzung, Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz Tunnelwände Tagbau, Erneuerung Beschichtung Tunnelwände Tagbau und einzelne Blöcke Innengewölbe <ul style="list-style-type: none"> • Abklopfen (M-1110) • Lokale Betoninstandsetzung (M-1210) • Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz (M-1220)

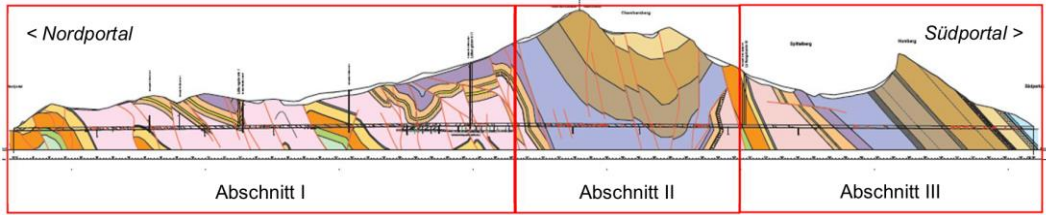
Tab. 6 FALLBEISPIEL NR. 5 Gubristunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Erneuerung Beschichtung (M-1340) • Zwischendecke: Sicherungsmassnahmen <ul style="list-style-type: none"> • Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel) (M-3510) • Randlelemente: Reprofilierung Schlitzrinne <ul style="list-style-type: none"> • Schlitzrinne instandsetzen / reprofilieren (M-7420) • Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen⁵: <ul style="list-style-type: none"> • Instandsetzung Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen inkl. Sanierung Tunnellüftung (2009 – 2012) • Zubetonieren der Kabelzugschächte
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung Tragsicherheit der Zwischendecke durch Einbau Schweizer Riegel • Erhöhung Betriebssicherheit (Reduktion Gefahr Aufschlitzen Pneus durch beschädigte Schlitzrinnen) • Erhöhung Betriebssicherheit durch Erneuerung sämtlicher BSA inkl. Umstellung Lüftung auf Lüftungssystem mit Absaugung im Ereignisfall • Verringerter Chlorid- und Feuchtigkeitseintrag Wände Tagbau durch Betoninstandsetzung und Erneuerung Beschichtung, Verlangsamung Bewehrungskorrosion und Vermeidung von Betonabplatzungen auf Bankett • Verringerter Chlorideintrag an Stirnflächen der Fahrbahnplatte durch Zubetonieren der Kabelzugschächte -> Verlangsamung Bewehrungskorrosion
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamterneuerung u.a. mit Ersatz Zwischendecke und Fahrbahn (eingeschütteter WELK anstelle Fahrbahnplatte) sowie div. Betoninstandsetzungen u.a. am Innengewölbe (2023 – 2027)

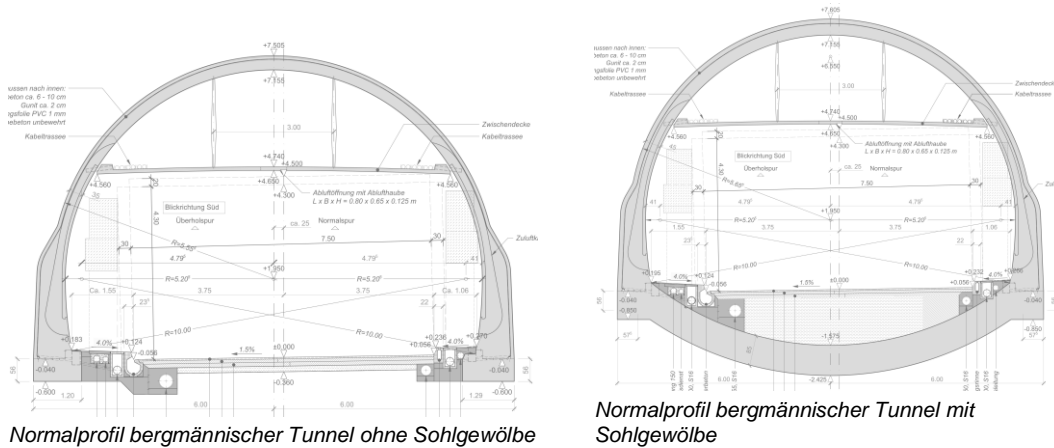
⁵ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 7 FALLBEISPIEL NR. 6 Tunnel Belchen

Steckbrief Tunnelobjekt



Geologisches Längsprofil



Normalprofil bergmännischer Tunnel ohne Sohlgewölbe

Normalprofil bergmännischer Tunnel mit Sohlgewölbe

Abb. 7 Quelle Planausschnitte: Massnahmenprojekt N02 TU Belchen Zweite Instandsetzung, INGE BZI 2.0, 15.02.2016

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A2, SO / BL
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> Nordwestschweiz (Juragebirge) DTV ca. 52'000
Länge	3.2 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	1. und 2. Röhre: 1970 / 3. Röhre: 2022 Gesamterneuerung 1. und 2. Röhre: ab 2023
Mittlere Höhe Überdeckung	ca.610 m.ü.M. max. Überdeckung 330 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> Geologische Einheiten / Lithologien: <ul style="list-style-type: none"> Tunnel liegt vollständig in Faltenjura in der alpinen Tethys zwischen des oberen Jura (Malm, Dogger, Lias) bis in die mittlere Trias (Keuper, Muschelkalk) abgelagerte Sedimente überwiegend Sandsteine, Evaporite, Dolomite und Kalke der Trias sowie Kalke, Mergel und Tonsteine des Juras Abschnitt I (Tm 01.5 – Tm 1'555): <ul style="list-style-type: none"> nördlicher Abschnitt in Muschelkalkschuppenzone Störungszonen mit zahlreichen Klüften und zerscherten Zonen, Verfaltungen und Fliedsstrukturen Abschnitt I grösstenteils im Gipskeuper, durch intensive tektonische Beanspruchung komplex gefaltet Untergeordnet im Portalbereich Nord Unterer Dolomit (Anhydritgruppe) aufgeschlossen Abschnitt II (Tm 1'555 – Tm 2'265): <ul style="list-style-type: none"> Gipskeuper bis Varians-Schichten in grossräumig aufgeschlossener Mulde «Chambersberg» in nördlichen und südlichen Randbereich komplexe Überschiebungen mit Gesteinen von Gipskeuper bis Lias

Tab. 7 FALLBEISPIEL NR. 6 Tunnel Belchen

	<ul style="list-style-type: none"> • Muldenkern auf Höhe des Belchentunnels wird aus Opalinuston und Unterer Dogger gebildet, in Opalinuston aufgrund tektonischer Beanspruchung zahlreiche Störungsflächen und Rutschharnischflächen • Abschnitt III (Tm 2'265 – Tm 3'190): <ul style="list-style-type: none"> • ungestörter Sedimentstapel der Südflanke des Faltenjuras • Unterer Dolomit (Dolomitzone der Anhydritgruppe), Abfolge von Hauptmuschelkalk bis zu Effingerschichten • auf Tunnelhöhe einzelne Störungszonen und Verfaltungen (Gipskeuper, Opalinuston) registriert • Hydrogeologie <ul style="list-style-type: none"> • bei Bau von Belchentunnel in kalkig-dolomitischen Schichten Wasserzutrittsstellen registriert • lokale Wasserzutritte im unteren Dolomit, Liaskalke und Schilfsandsteinen • Gipskeuper, Opalinuston, Unterer Dogger und Mergel wirken als Wasserstauer mit (sehr) geringer Durchlässigkeit • gemessener Wasserandrang (Pumwassermenge) 45 l/min (Totalabfluss 1999) • stark mineralisierte Erdalkali-Sulfat-Hydrogencarbonat-Wässer, untergeordnet Alkali-Sulfatwasser erwartet
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Röhren à 2 Spuren • 3. Röhre: Instandsetzungsröhre • Richtungsverkehr • Begehbare und befahrbare Querverbindungen • 5 Zentralen (2 bei Portalen, 3 untertag in Querverbindungen in Viertelpunkten des Tunnels)
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Längslüftung mit 3 Lüftungsabschnitten • mit punktueller Absaugung im Ereignisfall über Rauchabzugsklappen • seit IBN mehrfach baulich verändert • Zwischendecke: <ul style="list-style-type: none"> • Fertigbetonelemente im Spannbetonverfahren • 4-fach gelagert (2x seitliche Auflager à 3 Auflagerbolzen und 2 Reihen Hängestangen à 3 Hängestangen)
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Gewölbeabdichtung mit Bergwassersammelleitungen im Paramentfuss (nicht abgedichtete Sohle/Sohlgewölbe) • Belchen war einer der ersten Schweizer Tunnel mit Gewölbeabdichtung (1 PVC-Lage als Abdichtungsfolie ohne jegliche Schutzfolien); Einbauqualität und Erhaltungszustand nur punktuell bekannt • Mischsystem
Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Paramentstollen, dann bergmännischer Schildvortrieb • zahlreiche Wechsel in Vortriebs- und Bauhilfsmassnahmen (abschnittsweise Spritzbetonmethode, Stahlbogen mit/ohne Verzugsbretter, Spriesse und Anker, mit/ohne Sohlgewölbe etc.) • Profilform: <ul style="list-style-type: none"> • In nicht quellfähigen Abschnitten: Hufeisenprofil • In quellfähigen Abschnitten: 3 unterschiedliche Maulprofile, wobei bewehrtes Sohlgewölbe infolge Quellphänomenen erst während Bau projektiert und nachträglich eingebaut wurde • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Aussengewölbe: <ul style="list-style-type: none"> • i.d.R. Spritzbeton 6 – 10 cm • Innengewölbe: <ul style="list-style-type: none"> • Gewölbe: Ortbeton unbewehrt, 27 – 33 cm • Sohlgewölbe: Ortbeton bewehrt, 45 – 55 cm bzw. 85 cm • Abdichtungskonzept: Ableitkonzept (drainierend)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> • bergmännische Strecke: 0.5 – 0.96%

Tab. 7 FALLBEISPIEL NR. 6 Tunnel Belchen

Eignung als Fallbeispiel	
	<ul style="list-style-type: none"> • unterschiedliche Schädigungsmechanismen / Schäden • verschiedene Einwirkungen aus Baugrund (u.a. sehr grosses Quellpotential, Bergwasser) • ausführliche Überwachungs- und Zustandsdaten • div. ausgeführte SOMA, ÜMA, EP (u.a. Sicherung Zwischendecke, Teilersatz Sohle / Paramente / Bankette, Verstärkung best. Tragwerk, Belagsersatz, Umbau Lüftung)
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: Gewölbeverformungen, Gewölbekonvergenzen, Sohlhebungen, Längs- / Querrisse, Abscherungen und Versätze, Hohlstellen im Firstbereich, Abplatzungen, Betonauflösung im Abluftkamin <ul style="list-style-type: none"> • Setzungen, Verschiebungen, Verformungen, Hebungen (BE-1100) • Risse (BE-1300) • Abplatzungen (BE-1400) • Belagsschäden (BE-1500) • Chemische Integrität: Korrosionsflecken, korrodierte freiliegende Bewehrung Zwischendecke, Oberflächenkorrosion Hydranten <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-2100) • Undichtigkeiten: wenige Risse sind feucht bzw. wasserführend, vereinzelt Wasserzutritte, Verformungen Entwässerungsleitung, Versinterungen <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion, Betonkorrosion <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Betonangriff / Gefügezerstörung (S-12) • Schadensprozess Baustahl: verrostete Schachtrahmen / -deckel <ul style="list-style-type: none"> • Metallkorrosion (S-21) • Schadensprozess Baugrund: starke Auflockerung / Verwitterung in kakiritisierten Tunnelabschnitten, Sulfatquellen / Quellprozess in Anhydrit <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31) • Schadensprozess Berg- / Grundwasser: verformte Entwässerungsleitungen infolge Sohlhebungen, Versinterungen <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Berg- / Grundwasser (S-41) • Schadensprozess Abdichtung: aufgrund von Alter und von damals verbautem Standard weist Abdichtung heute keine vollständige Funktionstüchtigkeit mehr auf und gilt als undicht <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung / Alterung Kunststoff (S-51)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Versagen Foundation (GB-12) • Versagen Zwischendecke (GB-13) • Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) • ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) • Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23) • Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen, Rissaufnahmen <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) • Hauptinspektion visuell (U-1-121) • Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) • Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) • visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211)

Tab. 7 FALLBEISPIEL NR. 6 Tunnel Belchen

	<ul style="list-style-type: none">• Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Gleitmikrometer, Nivellement, Dehnmessungen über radial im Gewölbe versetzte Bolzen, Kraftmessdosen, Bohrkern, Radarmessungen Firstgewölbe, Reibungseigenschaften Abdichtungsfolie<ul style="list-style-type: none">• Nivellement (U-2-121)• Gleitmikrometer / Gleitdeformeter (U-2-131)• Ankerkraftmessung (U-2-232)• Sondieröffnung/Bewehrungsfenster (U-2-421)• Georadar (U-2-451)• Laborprüfungen: Druckfestigkeiten und E-Modul Betonproben,<ul style="list-style-type: none">• Druckfestigkeit (U-3-211)• E-Modul-Bestimmung von Beton (U-3-223)• Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Nachrechnung Tragsicherheit Gewölbe und Sohlgewölbe, Bohrkernanalysen<ul style="list-style-type: none">• Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110)• Sondierungen am Bauwerk (U-4-210)
Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)	<ul style="list-style-type: none">• Rückrechnung der vorherrschenden Ausbauwiderstände• Abschätzung des vorliegenden Quellpotentials sowie der zu erwartenden Hebungsraten in Abhängigkeit des Ausbauwiderstands• Schaffung der Grundlage für örtliche Eingrenzung der Instandsetzungsabschnitte unter Berücksichtigung der vorgängig definierten Instandsetzungsstrategie
Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)	<ul style="list-style-type: none">• erste Instandsetzung (2001 – 2003): Gesamtersatz von Fahrbahn, Bankett, Schlitzrinne, Werkleitungen und Hydrantenleitung, lokaler Teilersatz Gewölbe, Ersatz einzelner Sohlgewölbe in Hebungszone (halbseitiger Ersatz), Realisierung von Sickerschlitzen zur Unterbindung von Wasserzuflüssen in quellfähige Gebirgsschichten, lokale Betoninstandsetzung beschädigter Paramentbereiche, Tunnelbeschichtung der Paramente im Fahrraum• Gewölbe:<ul style="list-style-type: none">• Lokale Betoninstandsetzung (M-1210)• Ersatz Beschichtung (M-1350)• Entwässerungsschlitz einfach (M-1430)• Ersatz Innengewölbe (M-1510)• Sohlgewölbe:<ul style="list-style-type: none">• Entwässerungsschlitz einfach (M-2530)• Ersatz Sohlgewölbe (M-2610)• Fahrbahn / Fahrbahnfundation:<ul style="list-style-type: none">• Belagsersatz (Walzasphalt) (M-5400)• Bankett:<ul style="list-style-type: none">• Banketersatz mit Leitungen bzw. KSR im Bankett (M-6320)• Leitungen / Schächte:<ul style="list-style-type: none">• Ersatz Lösch- und Entwässerungsleitung (M-7130)• Ersatz Kabelrohre (M-7140)• Ersatz Randsteine (M-7430)• Ersatz Schlitzrinne (M-7440)• Ersatz Siphonschacht (M-7520)• Ersatz Kontroll-/ Einlaufschächte (M-7530)• Ersatz Kabelschächte (M-7540)• Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen: Gewährleistung Tunnelsicherheit Belchen (2009 – 2015)⁶:<ul style="list-style-type: none">• Erweiterung Portalzentralen• Ersatz Abluftventilatoren

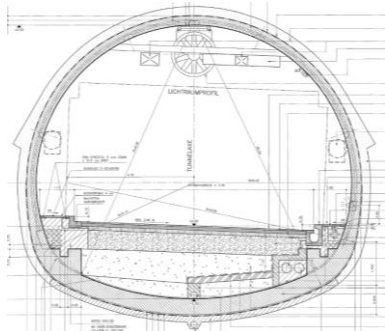
⁶ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 7 FALLBEISPIEL NR. 6 Tunnel Belchen

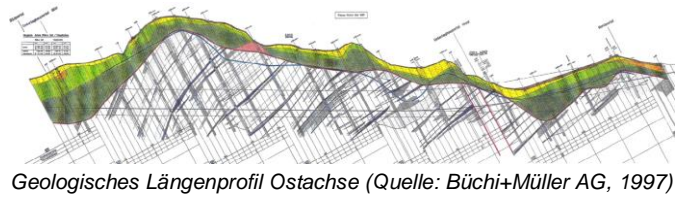
	<ul style="list-style-type: none"> Entfernung Zwischendecke in Portalbereiche und Einbau Strahlventilatoren neue Abluftstollen zwischen beiden Tunnelröhren
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> fortlaufende lokale SoMa aufgrund bereits während Bau festgestellter Hebungen die trotz div. Instandsetzungsmassnahmen nicht abklingenden Schäden an bestehender Tragstruktur infolge der Quellprozesse machen Instandsetzung der bestehenden Röhren Belchen notwendig
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> Ersatz Zwischendecke, Neubau mit Abluftklappen zu Absaugung alle 100 m, Neubau Auflagerkonsolen für Zwischendecke Ersatz Sohlgewölbe inkl. Widerlager im quellfähigen Gebirge inkl. Übergangsbereich Instandsetzung oder Lokalersatz von kleinräumig, lokal beschädigter Firstbereiche des Gewölbes, Hinterfüllung / Kontaktinjektion von Hohlstellen zwischen Verkleidung und Gebirge, Teil- oder Totalersatz Firstbereich des Kalottengewölbes inkl. Abdichtung im Erneuerungsbereich bei Unterschreitung von Mindestgewölbestärke < 30 cm oder grossflächigen Schäden Instandsetzung oder Lokalersatz von räumig beschädigten Bereichen des Paraments Rückbau und Verfüllung asbesthaltiger Zuluftkanäle Fassung allfälliger Wasserzutritte und Ableitung in die neue Bergwassersammelleitung Ersatz Tunnelbeschichtung inkl. Untergrundvorbereitung Abbruch und Neubau aller Werkleitungen im Bankett- und Sohlbereich, Ausbildung von Trennsystem neue Kabelrohranlage unter Fahrbahn Neubau Fahrbahnaufbau inkl. Belag Herstellung neuer kombinierter SOS-/Hydrantennischen inkl. Leitungssystem, Anschluss befahrbare QV an Röhre BAS, Umbau best. Untertagzentralen, Neubau zusätzlicher begehbare QV zwischen Röhre BAS und MIT, Rückbau und Aufweitung best. QV zwischen Röhre BAS und MIT, Umbau Portalzentralen Verfüllen Kaminschacht und Rückbau Kopfgebäude Kamine I und III Instandsetzung Abluftstollen

Tab. 8 FALLBEISPIEL NR. 7 Tunnel Girsberg

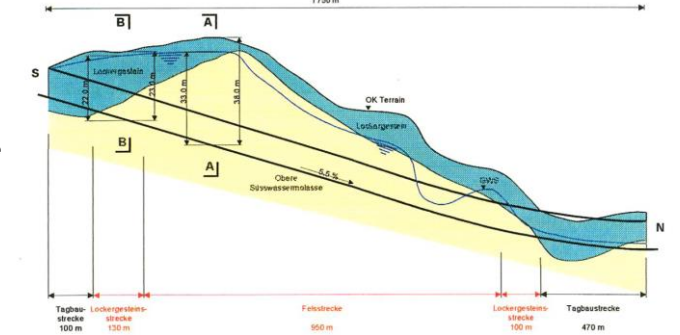
Steckbrief Tunnelobjekt



Normalprofil bergmännischer Tunnel Axe 200 (Oströhre)



Geologisches Längenprofil Ostachse (Quelle: Büchi+Müller AG, 1997)



Schematisches Längenprofil (überhöht)

Abb. 8 Quelle: Planarchiv
ASTRA Filiale Winterthur

Abb. 9 Quelle: Elektrowatt AG, 1997

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A7, TG
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> Mittelland (Molasse) Ländlich, geringes bis mässiges Verkehrsaufkommen
Länge	1.8 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	2002
Mittlere Höhe Überdeckung	ca. 455 m.ü.M. max. Überdeckung 30 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> Bergmännischer Tunnel hauptsächlich in der Oberen Süsswasser molasse (Wechselagerungen von Sandsteinen, Mergelsandsteinen, Mergeln, Mergelkalken und Kalken) Lockergesteinsstrecken Nord und Süd (Moräne) Grundwasserspiegel max. 23 m über OK Tunnel Wasserführende Schichten im Molassefels und Lockergestein
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> 2 Röhren à 2 Spuren Richtungsverkehr Begehbare und befahrbare Querverbindungen Portalzentralen Nord und Süd
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> Keine Zwischendecke Längslüftung mit Strahlventilatoren für Unterhaltsbetrieb und Brandfall
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> Trennsystem
Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> Ausbruchverfahren: Kalottenvortrieb Profilform: Hufeisenprofil mit Sohlgewölbe Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> Aussengewölbe: Spritzbeton (20-30 cm) Sohlgewölbe: Stahlbeton (50 cm) Innengewölbe: Beton unbewehrt (30 cm) Abdichtungskonzept: Vollabdichtung

Tab. 8 FALLBEISPIEL NR. 7 Tunnel Girsberg

Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> bergmännische Strecke: 3.2 – 5.5%
Eignung als Fallbeispiel	
	<ul style="list-style-type: none"> ausführliche Bauwerksdokumentation vorhanden erste ÜMA + SOMA ausgeführt u.a. aufgrund von unkontrollierten Wassereintritten in den Fahrbahnbereich
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> Mechanische Integrität: Risse im Innengewölbe <ul style="list-style-type: none"> Risse (BE-1300) Undichtigkeiten: Wassereintritte und Versinterungen am Innengewölbe durch Risse und Blockfugen <ul style="list-style-type: none"> Undichtigkeit (BE-3000)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> Schadensprozess Baugrund: Risse im Innengewölbe: <ul style="list-style-type: none"> Belastungsänderung Baugrund (S-31) Schadensprozess Abdichtung: <ul style="list-style-type: none"> Beschädigung / Alterung Kunststoff (S-51)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> Versagen Gewölbe (GB-11) Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen: <ul style="list-style-type: none"> Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) Hauptinspektion visuell (U-1-121) Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Rissmessungen Innengewölbe <ul style="list-style-type: none"> Händische Messung (U-2-111) Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Sondieröffnung und Versickerungsversuch Kieskoffer <ul style="list-style-type: none"> Sondierungen am Bauwerk (U-4-210) Absenk-, Anstiegs- und Versickerungsversuche (U-4-222)
Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)	<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung, dass mit Instandsetzungsmassnahmen die Betriebssicherheit gewährleistet ist. Durch Beobachtung Verifizierung Wirksamkeit der Massnahmen und Eruierung ergänzender Massnahmen
Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)	<ul style="list-style-type: none"> Gewölbe: Aufbringen Fugenbänder bei wasserführenden Rissen und Blockfugen, zus. Begleitheizband und Blechabdeckungen der Blockfugen <ul style="list-style-type: none"> Entwässerungsschlitz einfach (M-1430) Blockfugen abdichten erweitert (M-1460) Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen⁷: <ul style="list-style-type: none"> Einleiten der Wasserfassungen in Schlitzrinne bzw. mittels neu erstellter Querleitung in Fahrraumentwässerung

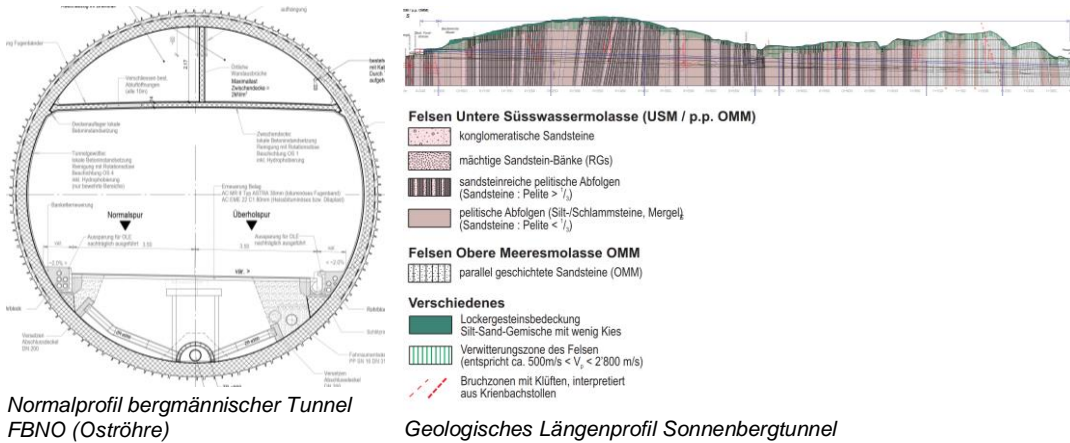
⁷ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 8 FALLBEISPIEL NR. 7 Tunnel Girsberg

Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none">• Sicherstellung Betriebssicherheit durch Vermeidung von Wasser auf der Fahrbahn (Reduktion Risiko für Aquaplaning oder Eisbildung)
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	-

Tab. 9 FALLBEISPIEL NR. 8 Sonnenbergtunnel

Steckbrief Tunnelobjekt



Normalprofil bergmännischer Tunnel
FBNO (Oströhre)

Geologisches Längenprofil Sonnenbergtunnel

Abb. 10 Quelle: DAW Cityring
Luzern, EBP Schweiz AG)

Abb. 11 Quelle: Mengis + Lorenz AG, 2006

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A2, LU
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> • Voralpin, Molasse • Innerstädtisch, DTV > 60'00
Länge	1.6 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	1976; Bau neuer Werkleitungsstollen (inkl. Löschwasserleitung) und Querverbindungen, Umbau Tunnelöffnung inkl. Zentralen: 2007-2009 / Gesamterneuerung: 2009-2013
Mittlere Höhe Überdeckung	ca. 435 m.ü.M. max. Überdeckung 120 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> • Abschnitt Nord (ca. 1.3 km): Unteren Süsswassermolasse (weicher Sandstein, in Wechsellagerung mit Mergel und Kalkmergel; dazwischen Nagelfluhbänke und stellenweise Nester von Glanzkohle) • Abschnitt Süd (ca. 0.3 km): Obere Meeresmolasse (hauptsächlich Luzerner Sandstein mit dünnen Mergelzwischenlagen) • Grundwasserspiegel max. ca. 90 m über OK Tunnel • Bergwasser nur in der Verwitterungszone des Felsens (stark abhängig von Anzahl und Ausmass der Klüfte)
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Röhren à 2 Spuren • Richtungsverkehr • Begehbare und befahrbare Querverbindungen • Tunnelzentralen Nord, Mitte und Süd • Paralleler Werkleitungsstollen mittig über den Tunnelröhren, Verbindung zu den Querverbindungen via Vertikalstollen
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Längslüftung mit punktueller Absaugung im Ereignisfall über Rauchabzugsklappen mit Abzug via mittigem Abluftkamin (nach Gesamterneuerung 2009-2013) • Tragsystem Zwischendecke: Zweifeldträger mit seitlichen Auflagern und mittiger Aufhängung (an Trennwand Zu-/Abluftkanal)
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Trennsystem (nach Gesamterneuerung 2009-2013)
Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbruchverfahren: mit Aufweitungsmaschine • Profilform: Kreisprofil • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Aussengewölbe: Spritzbeton (10 cm)

Tab. 9 FALLBEISPIEL NR. 8 Sonnenbergtunnel

	<ul style="list-style-type: none"> Innengewölbe: Beton unbewehrt (40 cm), kurze Strecke (35 m) ab Tunnelzentrale Nord bewehrt Abdichtungskonzept: Gewölbe-Abdichtung (Ableitkonzept)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> bergmännische Strecke: 1.7% - 4.4% Tiefpunkt innerhalb Tunnel (bei Lüftungszentrale Nord)
Eignung als Fallbeispiel	
	<ul style="list-style-type: none"> Gesamterneuerung mit umfassenden Massnahmen 2009 - 2013 Instandsetzung unter Betrieb
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (bis 2009) (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> Mechanische Integrität: Risse im Innengewölbe und Abplatzungen Randstein, Schlitzrinne und Schachtrahmen, sowie der Fugenkanten Innengewölbe; schlechte Korneinbettung und Kornausbrüche im Belag, Belagsausbrüche bei Kontrollschächten; lose Schachtdeckel <ul style="list-style-type: none"> Risse (BE-1300) Abplatzung (BE-1400) Belagsschäden (BE-1500) Chemische Integrität und Zusammensetzung: Rostflecken und freiliegende, korrodierte Bewehrung an Trennwand Abluftkanal, Korrosion der Aufhängestangen der Trennwand, korrodierte Schachtdeckel und SOS-Stahlblechkasten <ul style="list-style-type: none"> Korrosion (BE-2100) Undichtigkeiten: Wassereintritte und Versinterungen am Innengewölbe durch Risse, Blockfugen sowie Längsfuge der Zwischendecke <ul style="list-style-type: none"> Undichtigkeit (BE-3000)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion Trennwand Abluftkanal und Wände Tagbau, Abplatzungen Randstein, Schlitzrinnen und Schachtrahmen, sowie Fugenkanten: <ul style="list-style-type: none"> Bewehrungskorrosion (S-11) Betonangriff / Gefügezerstörung (S-12) Schadensprozess Baustahl: Korrosion Aufhängestangen der Trennwand und korrodierte Schachtdeckel und SOS-Stahlblechkasten: <ul style="list-style-type: none"> Metallkorrosion (S-21) Schadensprozess Baugrund: Risse im Innengewölbe: <ul style="list-style-type: none"> Belastungsänderung Baugrund (S-31) Schadensprozess Abdichtung: <ul style="list-style-type: none"> Beschädigung / Alterung Kunststoff (S-51)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> Versagen Gewölbe (GB-11) Versagen Zwischendecke (GB-13) Versagen Aufhängungen (GB-15) Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23) Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen, Rissaufnahmen, Kanal-TV <ul style="list-style-type: none"> Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) Hauptinspektion visuell (U-1-121) Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) Kanal-TV (U-1-214) Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221)

Tab. 9 FALLBEISPIEL NR. 8 Sonnenbergtunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Rissmessungen Innengewölbe; Bewehrungsüberdeckungsmessungen und Messung Karbonatisierungstiefe (lokal), Messung Bergwasseranfall <ul style="list-style-type: none"> • Händische Messung (U-2-111) • Messung Wasseranfall / Durchflussmenge händisch (U-2-331) • Karbonatisierungsmessung am Bauwerk (U-2-411) • Wirbelstromverfahren (Betonüberdeckungsmessung) (U-2-455) • Laborprüfungen: Chloridanalysen Zwischendecke und Wände Tagbau, Druckfestigkeitsprüfung Beton Wände Tagbau, Schadstoffanalyse Belag, Sondierbohrungen für Bestimmung Gesteinskörnung des Kieskoffers <ul style="list-style-type: none"> • Chloridanalyse (U-3-111) • Druckfestigkeit (U-3-211) • Siebkurve (U-3-333) • Asbest (U-3-542) • PAK (U-3-543) • Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Nachrechnung Tragsicherheit Zwischendecke (u.a. bzgl. neuem Lüftungssystem mit neuen Abluftklappen); Sondierung best. Entwässerung <ul style="list-style-type: none"> • Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110) • Sondierungen am Bauwerk (U-4-210)
<p>Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Festlegung Massnahmen zur Sicherung der Zwischendecke • Visuelle Inspektionen und detaillierte Untersuchungen lieferten relevante Inputs für Festlegung Eingriffstiefe und Ausmass der Instandsetzungsmassnahmen im Rahmen der Gesamterneuerung (2009-2013)
<p>Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)</p>	<p>Massnahmen der Gesamterneuerung 2009-2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gewölbe: lokale Betoninstandsetzungen, bereichsweise vollflächige Betoninstandsetzung Wände Tagbau, Erneuerung Tunnelbeschichtung, Ableitung Wassereintritte mittels Abdichtung der Blockfugen <ul style="list-style-type: none"> • Reprof. mit Bew.instandsetzung (M-1230) • Reprof. mit Bew.ersatz /- zulage (M-1240) • Ersatz Beschichtung (C) (M-1350) • Blockfugen abdichten erweitert (M-1460) • Zwischendecke: lokale Betoninstandsetzung, Erneuerung Beschichtung OS1 inkl. Hydrophobierung, Austausch bzw. Ergänzung der Hängestangen und Aufhängung der Trennwand Zwischendecke, lokaler Ersatz Zwischendecke (vor den Panzertorbereichen) <ul style="list-style-type: none"> • Reprof. ohne Bew.ersatz (M-3210) • Erneuerung Imprägnierung (I) (M-3420) • Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel) (M-3510) • Ersatz der Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel) (M-3520) • Ersatz Zwischendecke (M-3610) • Fahrbahn / Fahrbahnfundation: Teilersatz des Belages (Deckschicht und oberste HMT) <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Deckbelag (M-5310) • Ersatz Binderschicht (M-5320) • Bankett: Ersatz Bankett inkl. Randsteine und Schlitzrinnen <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Bankett mit Leitungen resp. KSR im Bankett (M-6320) • Leitungen / Schächte: Ausbau Kontrollschächte Abwasserleitung aus Fahrbahnmitte, Erstellung neue Siphonschächte, neue Kontrollschächte Bergwasserleitung im Bankett und Kabelschächte <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Siphonschacht (M-7520) • Ersatz Kontroll-/ Einlaufschächte (M-7530) • Ersatz Kabelschächte (M-7540)

Tab. 9 FALLBEISPIEL NR. 8 Sonnenbergtunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen⁸: <ul style="list-style-type: none"> • Erstellung SOS-Nischen • Erstellung neue Abwasserleitung für das Betriebswasser • Rückbau verschiedener Anlageteile der bisherigen Grossschutzraum-anlage
Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none"> • Gewährleistung der Tragsicherheit (Sicherung Aufhängung Zwischendecke, Betoninstandsetzung inkl. wo nötig Bewehrungsersatz) und der Gebrauchstauglichkeit (Ableitung eindringendes Bergwasser, Ersatz Bankette und Schachtabdeckungen) • Erhöhung Betriebssicherheit (Ersatz Deckbelag, neue Beschichtung der Tunnelwände, Aufhebung Schächte auf Fahrbahn)
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	-

⁸ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 10 FALLBEISPIEL NR. 9 Reussporttunnel

Steckbrief Tunnelobjekt

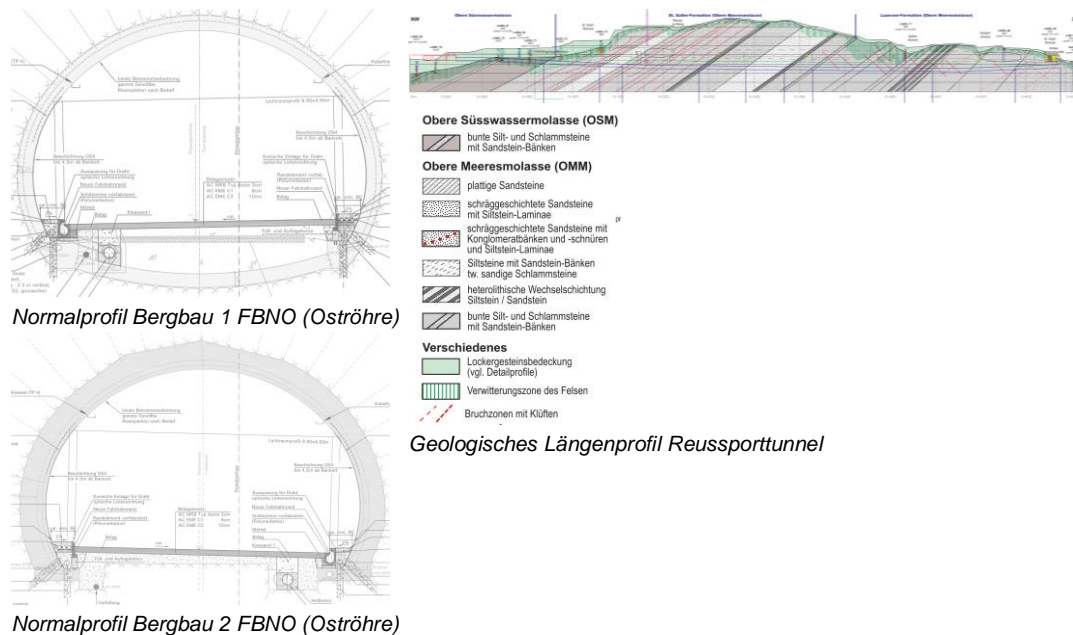


Abb. 12 Quelle: DAW Cityring Luzern, Locher AG **Abb. 13** Quelle: Mengis + Lorenz AG, 2006

Tunneltyp	Bergmännischer Strassentunnel
Nationalstrasse / Kanton	A2, LU
Charakteristik	<ul style="list-style-type: none"> • Voralpin, Molasse • Innerstädtisch, DTV > 90'00
Länge	0.8 km
Jahr Inbetriebsetzung; Erneuerungen/ Gesamterneuerung	1974; Bau neuer Werkleitungsstollen (inkl. Löschwasserleitung) und Erweiterung und Umgestaltung TZR Süd, Umbau Tunnellüftung: 2007-2009 / Gesamterneuerung: 2009-2013
Mittlere Höhe Überdeckung	ca. 435 m.ü.M. max. Überdeckung 35 m
Geologie	<ul style="list-style-type: none"> • Bergmännischer Tunnel: Obere Meeresmolasse <ul style="list-style-type: none"> • Südbereich (ca. 200 m): harter Luzerner Sandstein (max. Überdeckung: 10 m) • Nordbereich (ca. 400 m): Wechsellagerung von Mergel und Sandstein (subalpine Masse) (max. Überdeckung 35 m) • Zwischen Süd- und Nordbereich liegt Tagbaubereich Spitalstrasse • Grundwasserspiegel max. ca. 28 m über OK Tunnel • Bergwasser nur in der Verwitterungszone des Felsens (stark abhängig von Anzahl und Ausmass der Klüfte)
Tunnelanlage Typ, Verkehrsregime	<ul style="list-style-type: none"> • 2 Röhren à 3 Spuren • Richtungsverkehr • Begehbare Querverbindungen • Tunnelzentralen Nord und Süd • Paralleler Werkleitungsstollen mittig unter den Tunnelröhren, Verbindung zu den Querverbindungen via Vertikalstollen
Zwischendecke / Lüftung	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Zwischendecke • Längslüftung mit Strahlventilatoren für Unterhaltsbetrieb und Brandfall
Entwässerung	<ul style="list-style-type: none"> • Trennsystem (nach Gesamterneuerung 2009-2013)

Tab. 10 FALLBEISPIEL NR. 9 Reussporttunnel

Bauweise bergm. Tunnel:	<ul style="list-style-type: none"> • Ausbruchverfahren: Stollenvortrieb mit TBM (je Röhre 3x d=3.5m), anschliessend Aufweitung mittels Sprengvortrieb • Profilform: <ul style="list-style-type: none"> • Bergbau 1: Maulprofil • Bergbau 2: Hufeisenprofil, ohne Sohlgewölbe • Bauart Verkleidung: <ul style="list-style-type: none"> • Aussengewölbe: bewehrter Spritzbeton (gemäss Aufnahmen: 37-48 cm), teilweise mit Stahleinbaubögen • Innengewölbe: Beton unbewehrt (35 cm) • Abdichtungskonzept: Gewölbe-Abdichtung (Ableitkonzept)
Längsneigung	<ul style="list-style-type: none"> • bergmännische Strecke: ca. 1.2%
Eignung als Fallbeispiel	
	<ul style="list-style-type: none"> • Gesamterneuerung mit umfassenden Massnahmen 2009 - 2013 • Instandsetzung unter Betrieb
Objektspezifische Erhaltungsplanung	
Visuelle Befunde (bis 2009) (EP1; ID visuelle Befunde)	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanische Integrität: Risse im Innengewölbe und Abplatzungen Randstein, Schlitzrinne und Schachtrahmen, sowie der Fugenkanten Innengewölbe; schlechte Korneinbettung und Kornausbrüche im Belag <ul style="list-style-type: none"> • Risse (BE-1300) • Abplatzung (BE-1400) • Belagsschäden (BE-1500) • Chemische Integrität und Zusammensetzung: Rostflecken und freiliegende, korrodierte Bewehrung Wände Tagbau, korrodierte Schachtdeckel und SOS-Stahlblechkasten <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion (BE-2100) • Undichtigkeiten: Wassereintritte und Versinterungen am Innengewölbe durch Risse und Blockfugen <ul style="list-style-type: none"> • Undichtigkeit (BE-3000)
Erkannte Schadensprozesse (EP1; ID Schadensprozesse)	<ul style="list-style-type: none"> • Schadensprozess Stahlbeton: Bewehrungskorrosion Wände Tagbau, Abplatzungen Randstein, Schlitzrinnen und Schachtrahmen, sowie Fugenkanten: <ul style="list-style-type: none"> • Bewehrungskorrosion (S-11) • Betonangriff / Gefügezerstörung (S-12) • Schadensprozess Baustahl: korrodierte Schachtdeckel und SOS-Stahlblechkasten: <ul style="list-style-type: none"> • Metallkorrosion (S-21) • Schadensprozess Baugrund: Risse im Innengewölbe: <ul style="list-style-type: none"> • Belastungsänderung Baugrund (S-31) • Schadensprozess Abdichtung: <ul style="list-style-type: none"> • Beschädigung / Alterung Kunststoff (S-51)
Mögliche Gefährdungsbilder (EP1; ID Gefährdungsbilder)	<ul style="list-style-type: none"> • Tragwerksversagen <ul style="list-style-type: none"> • Versagen Gewölbe (GB-11) • Betriebssicherheit <ul style="list-style-type: none"> • unzulässige Verformungen Tragwerk (GB-21) • ungenügender Fahrkomfort / Ablenkung (GB-22) • Betonabplatzung auf Fahrbahn (GB-23) • Feuchtigkeit / Eisbildung (GB-24)
Durchgeführte Untersuchungen (EP2; ID Untersuchungsmethoden)	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Untersuchungen: Inspektionen, Hauptinspektion, Detaillierte visuelle Untersuchungen, Rissaufnahmen, Kanal-TV <ul style="list-style-type: none"> • Sichtkontrolle (Betrieb / Unterhalt) (U-1-110) • Hauptinspektion visuell (U-1-121) • Visuelle Inspektion Fach-Spezialist (U-1-123) • Sichtkontrolle detailliert, lokal (U-1-131) • visuelle Aufnahmen, Einzelbilder (U-1-211) • Kanal-TV (U-1-214) • Einsehen Kontrollöffnungen und Schächte (U-1-221)

Tab. 10 FALLBEISPIEL NR. 9 Reussporttunnel

	<ul style="list-style-type: none"> • Messtechnische Untersuchungen am Bauwerk: Dickenbestimmung Tunnelschale, Rissmessungen Innengewölbe, Bewehrungsüberdeckungs-messungen und Messung Karbonatisierungstiefe (lokal) <ul style="list-style-type: none"> • Händische Messung (U-2-111) • Karbonatisierungsmessung am Bauwerk (U-2-411) • Georadar (U-2-451) • Wirbelstromverfahren (Betonüberdeckungsmessung) (U-2-455) • Laborprüfungen: Chloridanalysen Wände Tagbau, Schadstoffanalyse Belag, Untersuchung Bergwasser <ul style="list-style-type: none"> • Chloridanalyse (U-3-111) • Chem. Zusammensetzung Wasser (U-3-520) • Asbest (U-3-542) • PAK (U-3-543) • Statische, Geodätische und konstruktive Untersuchungen: Statische Überprüfung Tragsicherheit bergmännischer Tunnel <ul style="list-style-type: none"> • Nachrechnungen Bauwerk / Bauwerksteil (U-4-110)
<p>Wirksamkeit der Untersuchungen (EP2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Inspektionen und detaillierte Untersuchungen lieferten relevante Inputs für Festlegung Eingriffstiefe und Ausmass der Instandsetzungsmassnahmen im Rahmen der Gesamterneuerung (2009-2013)
<p>Durchgeführte Massnahmen (EP3, ID Massnahmen)</p>	<p>Massnahmen der Gesamterneuerung 2009-2013:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gewölbe: lokale Betoninstandsetzungen, bereichsweise vollflächige Betoninstandsetzung Wände Tagbau, Erneuerung Tunnelbeschichtung, Ableitung Wassereintritte mittels Abdichtung der Blockfugen <ul style="list-style-type: none"> • Reprof. mit Bew.instandsetzung (M-1230) • Reprof. mit Bew.ersatz /- zulage (M-1240) • Ersatz Beschichtung (C) (M-1350) • Blockfugen abdichten erweitert (M-1460) • Fahrbahn / Fahrbahnfundation: Ersatz Belag <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Deckbelag (M-5310) • Ersatz Binderschicht (M-5320) • Ersatz Tragschicht (M-5330) • Bankett: Ersatz Bankett inkl. Randsteine und Schlitzrinnen <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Bankett mit Leitungen resp. KSR im Bankett (M-6320) • Leitungen / Schächte: Ersatz Abwasserleitung für das Betriebswasser, Ausbau Kontrollschächte Abwasserleitung aus Fahrbahn, Erstellung neue Siphonschächte, neue Kontrollschächte Bergwasserleitung im Bankett und Kabelschächte <ul style="list-style-type: none"> • Ersatz Entwässerungsleitung (M-7330) • Ersatz Siphonschacht (M-7520) • Ersatz Kontroll-/ Einlaufschächte (M-7530) • Ersatz Kabelschächte (M-7540) • Umgestaltungsmassnahmen und Massnahmen aufgrund von Erweiterungen, Ergänzungen, Grundnutzungs- oder Normänderungen⁹: <ul style="list-style-type: none"> • Erstellung neues Gewölbedrainagesystem mittels Entlastungsbohrungen und Auffüllung mit Sickerkies • Erstellung SOS-Nischen • Verfüllung Stollen Geschützte Operationsstelle (Rückbau Zivilschutz-anlage)

⁹ Gemäss Abgrenzung Instandsetzungsmassnahmen im Schlussbericht EP3, Kapitel 1.6.2 [EP3]

Tab. 10 FALLBEISPIEL NR. 9 Reussporttunnel

Wirksamkeit der bisherigen Massnahmen (EP3)	<ul style="list-style-type: none">• Gewährleistung der Tragsicherheit (Betoninstandsetzung inkl. wo nötig Bewehrungsersatz und Entlastung Gewölbe durch neue Gewölbedrainage) und der Gebrauchstauglichkeit (Ableitung eindringendes Bergwasser, Ersatz Bankette und Schachtabdeckungen)• Erhöhung Betriebssicherheit (Belagsersatz, neue Beschichtung der Tunnelwände, Aufhebung Schächte auf Fahrbahn)
Weitere geplante Instandsetzungsmassnahmen (EP3)	-

II Testmassnahmen für die Kalibrierung der Attribute der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Tab. 1 Bauwerksteil-Ebene: Gewölbe, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf Ifm / Stk.	M.-Kosten je Ifm / Stk. K2 [CHF / Ifm]
1231	Reprof. mit Bew.instandsetzung	3.1 / 5 m ²	2	0.333	1.67	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	110	9.0	990	1040
1232	Reprof. mit Bew.instandsetzung	3.2 / 25 m ²	2	0.333	8.33	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	110	9.0	990	1040
1233	Reprof. mit Bew.instandsetzung	3.3 / 50 m ²	2	0.333	16.67	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	110	9.0	990	1040
1342	Erneuerung Beschichtung (C)	3.2 / 25 m ²	4	0.067	1.67	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	44	9.0	396	416
1343	Erneuerung Beschichtung (C)	3.3 / 50 m ²	4	0.067	3.33	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	44	9.0	396	416
1354	Ersatz Beschichtung (C)	3.4 / 75 m ²	4	0.093	7.00	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	82	9.0	554	582
1355	Ersatz Beschichtung (C)	3.5 / 100 m ²	4	0.093	9.33	100	1.5	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	62	9.0	554	582

¹ Angabe welcher Umfang der Massnahme und den Attributen hinterlegt ist

² Grundeinheit der Massnahme in m¹, m², m³, Stk.

³ Umfasst Materialkosten: klein "geringer Materialaufwand", mittel "mittlerer Materialaufwand, gross "grosser Materialaufwand"

⁴ Umfasst Massnahmenspezifische Gerätekosten: klein "geringer Geräteaufwand", mittel "mittlerer Geräteaufwand", gross "grosser Geräteaufwand"

⁵ Umfasst allenfalls erschwerte Zugänglichkeit und/oder logistische Massnahmen innerhalb des Tunnels (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK, logistische Erschwernisse inf. Tunnellänge etc.)

⁶ Umfasst Hauptinstallationen (NPK Pos. 113) klein "geringer Installationsgrad", mittel "mittlerer Installationsgrad", gross "grosser Installationsgrad"

⁷ Es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

Tab. 1 Bauwerksteil-Ebene: Gewölbe, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
1421	Rissinjektionen mit Bohrpäckern	3.1 / 5 m	2	0.667	3.33	100	1.1	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	161	1.5	242	254
1422	Rissinjektionen mit Bohrpäckern	3.2 / 10 m	2	0.667	6.67	100	1.1	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	161	1.5	242	254
1423	Rissinjektionen mit Bohrpäckern	3.3 / 20 m	2	0.667	13.33	100	1.1	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	161	1.5	242	254
1452	Blockfugen abdichten einfach	3.2 / 6 m	2	0.500	3.00	100	1.1	1.1	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	121	1.0	121	127

Tab. 2 Bauwerksteil-Ebene: Sohlgewölbe, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
2562	Blockfugen abdichten erweitert	3.2 / 5 m	4	1.133	5.67	100	1.1	1.1	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	549	1.0	549	576

Tab. 3 Bauwerksteil-Ebene: Zwischendecke, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
3412	Hydrophobierende Imprägnierung (H)	3.2 / 10 m ²	4	0.040	0.40	100	1.1	1.1	1.2	1.05	Röhren-Sperrung	19	9.0	174	220
3413	Hydrophobierende Imprägnierung (H)	3.3 / 20 m ²	4	0.040	0.80	100	1.1	1.1	1.2	1.05	Röhren-Sperrung	19	9.0	174	220
3513	Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker resp. Schweizer Riegel)	3.3 / 50 Stk.	2	3.200	160.0	100	2.0	1.1	1.2	1.05	Röhren-Sperrung	1408	1.0	1408	1774
3615	Ersatz Zwischendecke	3.5 / 100 m ²	6	0.400	40.00	100	1.5	1.1	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	396	9.0	3564	3742

Tab. 4 Bauwerksteil-Ebene: Werkleitungskanal, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
4221	Reprof. mit Bew.instandsetzung	3.1 / 5 m ²	2	0.333	1.67	100	1.5	1.1	1.2	1.05	Unter Betrieb	110	7.0	770	970
4222	Reprof. mit Bew.instandsetzung	3.2 / 10 m ²	2	0.333	3.33	100	1.5	1.1	1.2	1.05	Unter Betrieb	110	7.0	770	970
4223	Reprof. mit Bew.instandsetzung	3.3 / 20 m ²	2	0.333	6.67	100	1.5	1.1	1.2	1.05	Unter Betrieb	110	7.0	770	970

Tab. 5 Bauwerksteil-Ebene: Fahrbahn / Fahrbahnfundation, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
5113	Wiederherstellung Griffigkeit	3.3 / 75 m ²	1	0.007	0.50	100	1.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	1	7.5	6	6
5224	Ersatz Randfugen	3.4 / 10 m	2	0.100	1.00	100	1.1	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	24	2.0	48	51
5313	Ersatz Deckbelag (Gussasphalt)	3.3 / 20 m ²	6	0.025	0.50	100	2.0	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	45	7.5	338	354
5314	Ersatz Deckbelag (Gussasphalt)	3.4 / 50 m ²	6	0.025	1.25	100	2.0	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	45	7.5	338	354
5413	Ersatz Deckbelag Walzasphalt	3.3 / 20 m ²	6	0.025	0.50	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	34	7.5	253	266
5414	Ersatz Deckbelag Walzasphalt	3.4 / 50 m ²	6	0.025	1.25	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	34	7.5	253	266
5423	Ersatz Binderschicht (Walzasphalt)	3.3 / 20 m ²	6	0.033	0.67	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	45	7.5	338	354
5424	Ersatz Binderschicht (Walzasphalt)	3.4 / 50 m ²	6	0.033	1.67	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	45	7.5	338	354
5433	Ersatz Tragschicht (Walzasphalt)	3.3 / 20 m ²	6	0.042	0.83	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	56	7.5	422	443
5434	Ersatz Tragschicht (Walzasphalt)	3.4 / 50 m ²	6	0.042	2.08	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	56	7.5	422	443
5444	Ersatz Fundamentschicht (Walzasphalt)	3.4 / 50 m ²	2	0.100	5.00	100	1.5	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	45	7.5	338	354

Tab. 6 Bauwerksteil-Ebene: Bankett, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
6214	Ersatz Randfugen	3.4 / 10 m	2	0.100	1.00	100	1.1	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	24	2.0	48	51
6224	Ersatz Deckbelag	3.4 / 10 m ²	6	0.025	0.25	100	2.0	1.5	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	45	2.0	90	95
6314	Bankettsatz ohne Leitungen resp. KSR im Bankett	3.4 / 2.5 m ³	2	3.200	8.00	100	1.5	1.1	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	1056	1.0	1056	1109

Tab. 7 Bauwerksteil-Ebene: Leitungen / Schächte, Testmassnahmen mit Attributen für die Kalibrierung der restlichen Erhaltungsmassnahmen für die Kostenermittlung

Massnahmen-Nr.	Massnahmen-Beschreibung	Massnahmen-Typ und Umfang ¹	Anzahl Personen	Stunden pro GrE ²	Dauer [h]	Preis [CHF / h x MA]	Material ³	Maschinen und Geräte ⁴	Baulogistik / Zugang ⁵	Installationsgrad ⁶	Temporäre Verkehrsführung / Betrieb ⁷	Theor. Aufwandskosten bezogen auf GrE K1	Bezugsgrösse für Umrechnung auf Tunnel	Theor. Aufwandskosten bezogen auf lfm / Stk.	M.-Kosten je lfm / Stk. K2 [CHF / lfm]
7134	Ersatz Löschwasser-/Entwässerungsleitung	3.4 / 10 m	2	1.00	10.00	100	2.0	1.1	1.0	1.15	Röhren-Sperrung	440	1.0	440	506
7144	Ersatz Kabelrohre	3.4 / 10 m	2	1.200	12.00	100	1.5	1.1	1.0	1.05	Röhren-Sperrung	396	1.0	396	416
7434	Ersatz Randsteine	3.4 / 3 m	2	1.500	4.50	100	2.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	660	1.0	660	693
7435	Ersatz Randsteine	3.5 / 9 m	2	1.500	13.50	100	2.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	660	1.0	660	693
7444	Ersatz Schlitzrinne	3.4 / 3 m	2	1.667	5.00	100	2.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	733	1.0	733	770
7445	Ersatz Schlitzrinne	3.5 / 9 m	2	1.667	15.00	100	2.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	733	1.0	733	770
7514	Ersatz Siphonschacht Abdeckung	3.4 / 1 Stk.	2	1.250	1.25	100	2.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	550	1.0	550	576
7524	Totalersatz Siphonschacht	3.4 / 1 Stk.	2	6.500	6.50	100	2.0	1.1	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	2860	1.0	2860	3003
7612	Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen (Gebirgsdrainage)	3.2 / 50 m	1	0.240	12.00	100	1.0	1.5	1.0	1.05	1-Spur-Sperrung	36	1.0	36	38

III Katalogblätter Erhaltungsmassnahmen

Der Katalog der Erhaltungsmassnahmen liegt auch als datenbankkompatibel strukturierte xlsx-Tabelle (Excel-Datei), welche alle Attribute und die Strukturierung der Katalogblätter berücksichtigt, vor.

Tab. 1 Katalogblatt 1: *Erhaltungsmassnahme: Abklopfen*

ID-M-Code:	M-1110
	M-2110
	M-3110
	M-4110



Abb. 1 Quelle: *Gubristunnel, WELK (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code: M-1000
	Sohlgewölbe	M-2000
	Zwischendecke	M-3000
	Werkleitungskanal	M-4000
Massnahmen-Art:	Reinigung (Gewölbe)	M-1100
	Reinigung (Sohlgewölbe)	M-2100
	Reinigung (Zwischendecke)	M-3100
	Reinigung (Werkleitungskanal)	M-4100
Massnahmen-Typ¹:	lokale / punktuelle Instandsetzung	M-xxx1
	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teiler-satz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

- Keine

Beschreibung Erhaltungsmassnahme: **Anwendung bei Bauwerksteilen aus:**

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Abklopfen, mechanisches Lösen der losen Teile | <ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt |
|---|--|

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 1 Katalogblatt 1: *Erhaltungsmassnahme: Abklopfen*

ID-M-Code:				M-1110
				M-2110
				M-3110
				M-4110
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Lokalisierung von Hohlstellen und Kiesnestern • Erkennen Zustand Bewehrung 		<ul style="list-style-type: none"> • Hohlstellen und Kiesnester werden nicht erkannt, da ein zu grosses Raster beim Abklopfen gewählt wird, • Hohlstellen und Kiesnester in grösserer Tiefe werden ggf. nicht erkannt 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Verhindern von Abplatzungen mit Verkehrsgefährdung 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende re-präsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1110	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion
• M-2110		x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
• M-3110	x	x		• S-19 Ermüdung Stahlbeton
• M-4110		x	x	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
• lokale/punktueller Instandsetzung:		keine Zustandsverbesserung		
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		keine Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		keine Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
• lokale/punktueller Instandsetzung:		0 Jahre, keine Langzeitwirkung		
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		0 Jahre, keine Langzeitwirkung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		0 Jahre, keine Langzeitwirkung		

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 1 Katalogblatt 1: Erhaltungsmassnahme: Abklopfen

ID-M-Code:						M-1110
						M-2110
						M-3110
						M-4110
Attribute für Kostenermittlung:						
• Personal (MA):	1					
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.044					
• Grundeinheit (GrE):	m ²					
	ID-M-Code:	M-1110	M-2110	M-3110	M-4110	
• lokale / punktuelle Instandsetzung:	5 m ² ▶ 0.22 h	2 m ² ▶ 0.09 h	5 m ² ▶ 0.22 h	10 m ² ▶ 0.44 h		
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	25 m ² ▶ 1.11 h	5 m ² ▶ 0.22 h	10 m ² ▶ 0.44 h			
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ▶ 2.22 h	20 m ² ▶ 0.89 h	20 m ² ▶ 0.89 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:						
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Bauleist. / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb	
M-1110	1.00	1.00	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung	
M-2110	1.00	1.00	1.20	1.05	unter Betrieb	
M-3110	1.00	1.00	1.00	1.05	Röhren-Sperrung	
M-4110	1.00	1.00	1.20	1.05	unter Betrieb	
Fallbeispiele⁸:						
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1.Röhre						
• Nr. 5 Gubristtunnel						

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Bauleist. / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 2 Katalogblatt 2: *Erhaltungsmassnahme: lokale Betoninstandsetzung*

ID-M-Code:	M-1210 M-2210
-------------------	--------------------------------



Abb. 2 Quelle: *Gubristtunnel, Lokale Betoninstandsetzung, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe) Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe)	M-1200 M-2200
Massnahmen-Typ¹:	lokale / punktuelle Instandsetzung	M-xxx1
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> Lokale Betoninstandsetzung (Abplatzungen / kleine Schadstellen beheben, Kiesnester, Hohlstellen, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Reprofilierung des Gewölbes Erhöhung Schutz der Bewehrung durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung 	<ul style="list-style-type: none"> tief reichende Schäden werden nicht behoben («Oberflächenkosmetik» täuscht Instandsetzung vor) Betonauftrag eines Über- oder Unterprofils 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Schutz Bewehrung leichte Erhöhung resp. Wiederherstellung Querschnitt ursprüngliche Druckfestigkeit 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 2 Katalogblatt 2: *Erhaltungsmassnahme: lokale Betoninstandsetzung*

ID-M-Code:				M-1210	M-2210
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-1110	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion	
• M-2110		x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung	
				• S-19 Ermüdung Stahlbeton	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandklasse):					
• lokale/punktueller Instandsetzung:			ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• lokale/punktueller Instandsetzung:			0 Jahre, keine Langzeitwirkung		
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):		1			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		0.167			
• Grundeinheit (GrE):		m ²			
ID-M-Code: M-1210 M-2210					
• lokale / punktueller Instandsetzung: 1 m ² ► 0.17 h					
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1210	1.10	1.00	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-2210	1.10	1.00	1.20	1.05	unter Betrieb
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1.Röhre					
• Nr. 5 Gubristtunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 3 Katalogblatt 3: Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz

ID-M-Code:	M-1220
	M-2220
	M-2310
	M-3210
	M-3310
	M-4210

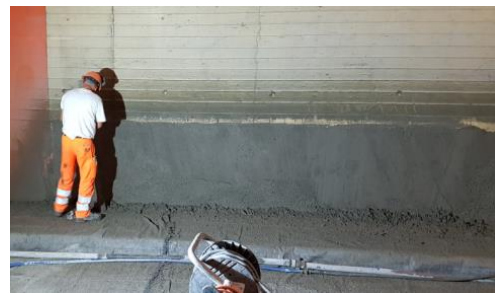


Abb. 3 Quelle: Gubristtunnel, Repr. ohne Bewehrungsersatz, Abtrag mit HDW-Roboter, Gewölbe (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code: M-1000
	Sohlgewölbe	M-2000
	Zwischendecke	M-3000
	Werkleitungskanal	M-4000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe)	M-1200
	Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe)	M-2200
	Betoninstandsetzung (unzugängliches Sohlgewölbe)	M-2300
	Betoninstandsetzung (Zwischendecke)	M-3200
	Betoninstandsetzung (Zwischendecke, Trennwand)	M-3300
	Betoninstandsetzung (Werkleitungskanal)	M-4200
Massnahmen-Typ¹:	lokale / punktuelle Instandsetzung	M-xxx1
	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2310 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 3 Katalogblatt 3: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz*

ID-M-Code:				M-1220
				M-2220
				M-2310
				M-3210
				M-3310
				M-4210
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:			Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> Betonabtrag (z.B. mit HDW) Betonersatz (z.B. Mörtelauftrag, Spritzmörtel/ -betonauftrag) 			<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
M-2310 beinhaltet noch zusätzlich:				
<ul style="list-style-type: none"> Rückbau der Sohlauffüllung Sohlauffüllung (nach Reprofilierung der Fläche) 				
Chancen:			Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz des schadhaften Betons Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Repassivierung des Stahls durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung 			<ul style="list-style-type: none"> Schäden in der Tiefe werden nicht behoben; ungenügende Abtragtiefe 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Abtrag des chlorid- resp. sulfatkontaminierten oder spröden Betons Reprofilierung der Oberfläche und Wiederherstellung des passiven Korrosionsschutzes in der Umgebung der Bewehrung (Repassivierung bzw. Realkalisierung) Erhöhung resp. Wiederherstellung Querschnitt ursprüngliche Druckfestigkeit 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1220	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion
• M-2220		x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
• M-2310	x			• S-19 Ermüdung Stahlbeton
• M-3210	x	x		
• M-3310	x	x		
• M-4210		x	x	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
• lokale/punktuelle Instandsetzung:			ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung	
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung	
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
• lokale/punktuelle Instandsetzung:			+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung	
• Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch:			+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode	

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 3 Katalogblatt 3: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung ohne Bewehrungsersatz*

ID-M-Code:	M-1220
	M-2220
	M-2310
	M-3210
	M-3310
	M-4210

Attribute für Kostenermittlung:

• Personal (MA):	2 (4 für M-2310)		
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.283 (0.567 für M-2310)		
• Grundeinheit (GrE):	m ²		
	ID-M-Code: M-1220	M-2220 M-2310	M-3210 M-3310 M-4210
• lokale / punktuelle Instandsetzung:	5 m ² ▶ 1.42 h	2 m ² ▶ 0.57 h (1.13 h für M-2310)	5 m ² ▶ 1.42 h
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	25 m ² ▶ 7.08 h	5 m ² ▶ 1.42 h (2.83 h für M-2310)	10 m ² ▶ 2.83 h
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ▶ 14.17 h	20 m ² ▶ 5.67 h (11.33 h für M-2310)	20 m ² ▶ 5.67 h

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1220	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-2220	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2310	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-3210	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
M-3310	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
M-4210	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre
- Nr. 5 Gubristtunnel

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 4 Katalogblatt 4: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung*

ID-M-Code:	M-1230
	M-2230
	M-2320
	M-3220
	M-3320
	M-4220

(keine Abbildung)

		ID-M-Code:
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	M-1000
	Sohlgewölbe	M-2000
	Zwischendecke	M-3000
	Werkleitungskanal	M-4000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe)	M-1200
	Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe)	M-2200
	Betoninstandsetzung (unzugängliches Sohlgewölbe)	M-2300
	Betoninstandsetzung (Zwischendecke)	M-3200
	Betoninstandsetzung (Zwischendecke, Trennwand)	M-3300
	Betoninstandsetzung (Werkleitungskanal)	M-4200
Massnahmen-Typ¹:	lokale / punktuelle Instandsetzung	M-xxx1
	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2320 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Betonabtrag (z.B. mit HDW)
- Vorbehandlung Bewehrung (Entrosten, Verunreinigungen entfernen)
- Auftragen Korrosionsschutz
- Betonersatz (z.B. Mörtelauftrag, Spritzmörtel/ -betonauftrag)

M-2320 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Reprofilierung der Fläche)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

Chancen:

- Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Erneuerung des Korrosionsschutzes und Repassivierung des Stahls durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung

Gefahren / Unsicherheiten³:

- Schäden in der Tiefe werden nicht behoben; ungenügende Abtragtiefe

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 4 Katalogblatt 4: Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung

ID-M-Code:	M-1230
	M-2230
	M-2320
	M-3220
	M-3320
	M-4220

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Abtrag des chlorid- resp. sulfatkontaminierten oder spröden Betons
- Erneuerung Korrosionsschutz der Bewehrung
- Reprofilierung der Oberfläche und Wiederherstellung des passiven Korrosionsschutzes in der Umgebung der Bewehrung (Repassivierung bzw. Realkalisierung)
- Erhöhung resp. Wiederherstellung Querschnitt ursprüngliche Druckfestigkeit

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
• M-1230	x	x	x
• M-2230		x	
• M-2320	x		
• M-3220	x	x	
• M-3320	x	x	
• M-4220		x	x

Geeignet für folgende Schadensprozesse:

- ID-S-Code:
- S-11 Bewehrungskorrosion
 - S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
 - S-19 Ermüdung Stahlbeton

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- lokale/punktuelle Instandsetzung: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung
- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- lokale/punktuelle Instandsetzung: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung
- Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 4 Katalogblatt 4: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Bewehrungsinstandsetzung*

ID-M-Code:		M-1230	M-2230	M-2320	M-3220	M-3320	M-4220
Attribute für Kostenermittlung:							
• Personal (MA):	2 (6 für M-2320)						
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.333 (0.600 für M-2320)						
• Grundeinheit (GrE):	m ²						
	ID-M-Code: M-1230	M-2230	M-2320	M-3220	M-3320	M-4220	
• lokale / punktuelle Instandsetzung:	5 m ² ▶ 1.67 h	2 m ² ▶ 0.67 h (1.20 h für M-2320)	5 m ² ▶ 1.67 h (3.00 h für M-2320)	10 m ² ▶ 3.33 h	5 m ² ▶ 1.67 h	20 m ² ▶ 6.67 h (12.00 h für M-2320)	
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	25 m ² ▶ 8.33 h						
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ▶ 16.67 h						
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:							
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb		
M-1230	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung		
M-2230	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb		
M-2320	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung		
M-3220	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung		
M-3320	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung		
M-4220	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb		
Fallbeispiele⁸:							
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel							
• Nr. 9 Reussporttunnel							

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 5 Katalogblatt 5: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage*

ID-M-Code:	M-1240
	M-2240
	M-2330
	M-3330
	M-4230

(keine Abbildung)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code: M-1000
	Sohlgewölbe	M-2000
	Zwischendecke	M-3000
	Werkleitungskanal	M-4000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe)	M-1200
	Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe)	M-2200
	Betoninstandsetzung (unzugängliches Sohlgewölbe)	M-2300
	Betoninstandsetzung (Zwischendecke, Trennwand)	M-3300
	Betoninstandsetzung (Werkleitungskanal)	M-4200
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2330 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Betonabtrag (z.B. mit HDW)
- ev. Entfernung Bewehrung mit hohem Querschnittsverlust
- Bewehrungsersatz/ -zulage
- Betonersatz (z.B. Mörtelauftrag, Spritzmörtel/ -betonauftrag)

M-2330 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Reprofilierung der Fläche)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

Chancen:

- Wiederherstellung des Bewehrungsgehalts
- Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Repassivierung des Stahls durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung

Gefahren / Unsicherheiten³:

- Schäden in der Tiefe werden nicht behoben; ungenügende Abtragstiefe

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 5 Katalogblatt 5: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage*

ID-M-Code:	M-1240
	M-2240
	M-2330
	M-3330
	M-4230

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Abtrag des chlorid- resp. sulfatkontaminierten oder spröden Betons
- Wiederherstellung des ursprünglichen Bewehrungsgehalts
- Reprofilierung der Oberfläche und Wiederherstellung des passiven Korrosionsschutzes in der Umgebung der Bewehrung (Repassivierung bzw. Realkalisierung)
- Erhöhung resp. Wiederherstellung Querschnitt ursprüngliche Druckfestigkeit

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
• M-1240	x	x	x
• M-2240		x	
• M-2330	x		
• M-3330	x	x	
• M-4230		x	x

Geeignet für folgende Schadensprozesse:

- ID-S-Code:
- S-11 Bewehrungskorrosion
 - S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
 - S-19 Ermüdung Stahlbeton

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 2 (6 für M-2330)
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.400 (0.650 für M-2330)
- Grundeinheit (GrE): m²

	ID-M-Code: M-1240	M-2240 M-2330	M-3330 M-4230
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	25 m ² ▶ 10.00 h	5 m ² ▶ 2.00 h (3.25 h für M-2330)	10 m ² ▶ 4.00 h
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ▶ 20.00 h	20 m ² ▶ 8.00 h (13.00 h für M-2330)	20 m ² ▶ 8.00 h

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 5 Katalogblatt 5: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Bewehrungsersatz /-zulage*

ID-M-Code:	M-1240
	M-2240
	M-2330
	M-3330
	M-4230

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1240	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-2240	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2330	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-3330	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
M-4230	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 8 Sonnenbergtunnel
- Nr. 9 Reussporttunnel

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 6 Katalogblatt 6: Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz

ID-M-Code:	M-1250 M-2250 M-2340
-------------------	---

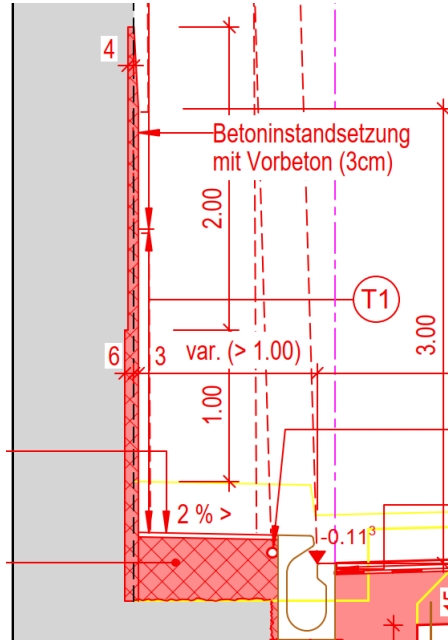


Abb. 4 Quelle: Gubristunnel, Planausschnitt (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe) Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe) Betoninstandsetzung (unzugängliches Sohlgewölbe)	M-1200 M-2200 M-2300
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2340 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Betonabtrag (z.B. mit HDW)
- Betonersatz (z.B. Mörtelauftrag, Spritzmörtel/ -betonauftrag)
- Querschnittsergänzung durch Spritzbetonauftrag resp. Betonauftrag

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

M-2340 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Reprofilierung der Fläche)

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 6 Katalogblatt 6: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungersatz*

ID-M-Code:				M-1250
				M-2250
				M-2340
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Repassivierung des Stahls durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung 		<ul style="list-style-type: none"> Schäden in der Tiefe werden nicht behoben; ungenügende Abtragstiefe 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Abtrag des chlorid- resp. sulfatkontaminierten oder spröden Betons Reprofilierung der Oberfläche und Wiederherstellung des passiven Korrosionsschutzes in der Umgebung der Bewehrung (Repassivierung bzw. Realkalisierung) Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1250	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion
• M-2250		x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
• M-2340	x			• S-19 Ermüdung Stahlbeton
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				
Attribute für Kostenermittlung:				
Personal (MA):	2 (4 für M-2340)			
Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.350 (0.633 für M-2340)			
Grundeinheit (GrE):	m ²			
	ID-M-Code: M-1250	M-2250	M-2340	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ▶ 17.50 h	20 m ² ▶ 7.00 h	(12.67 h für M-2340)	

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 6 Katalogblatt 6: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung ohne Bewehrungsersatz*

ID-M-Code:	M-1250 M-2250 M-2340
-------------------	---

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1250	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-2250	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2340	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 5 Gubristtunnel

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 7 Katalogblatt 7: Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung

ID-M-Code:	M-1260
	M-2260
	M-2350

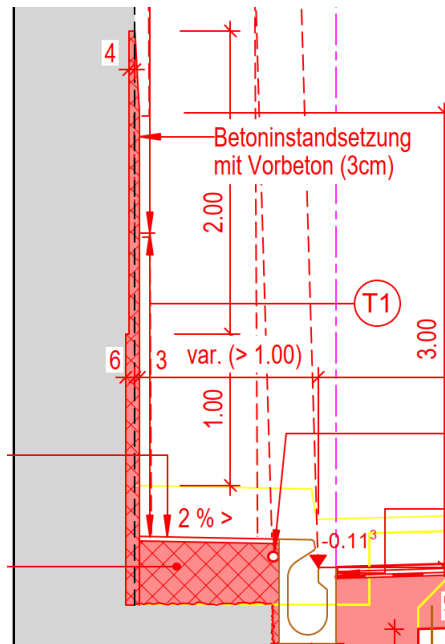


Abb. 5 Quelle: Gubristtunnel, Planausschnitt (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code:
	Sohlgewölbe	M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe)	M-1200
	Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe)	M-2200
	Betoninstandsetzung (unzugängliches Sohlgewölbe)	M-2300
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2350 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 7 Katalogblatt 7: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung*

ID-M-Code:				M-1260 M-2260 M-2350
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Betonabtrag (z.B. mit HDW) Vorbehandlung Bewehrung (Entrosten, Verunreinigungen entfernen) Auftragen Korrosionsschutz Betonersatz (z.B. Mörtelauftrag, Spritzmörtel/ -betonauftrag) Querschnittsergänzung durch Spritzbetonauftrag resp. Betonauftrag) <p>M-2350 beinhaltet noch zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> Rückbau der Sohlauffüllung Sohlauffüllung (nach Reprofilierung der Fläche) 		<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Erneuerung des Korrosionsschutzes und Repassivierung des Stahls durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung 		<ul style="list-style-type: none"> Schäden in der Tiefe werden nicht behoben; ungenügende Abtragtiefe 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Abtrag des chlorid- resp. sulfatkontaminierten oder spröden Betons Erneuerung Korrosionsschutz der Bewehrung Reprofilierung der Oberfläche und Wiederherstellung des passiven Korrosionsschutzes in der Umgebung der Bewehrung (Repassivierung bzw. Realkalisierung) Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1260	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion
• M-2260		x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
• M-2350	x			• S-19 Ermüdung Stahlbeton
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 7 Katalogblatt 7: Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsinstandsetzung

ID-M-Code:	M-1260
	M-2260
	M-2350

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 2 (6 für M-2350)
 - Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.400 (0.650 für M-2350)
 - Grundeinheit (GrE): m²
- | | |
|-------------------|--------|
| ID-M-Code: M-1260 | M-2260 |
| | M-2350 |
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: 50 m² ▶ 20.00 h 20 m² ▶ 8.00 h
(13.00 h für M-2350)

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1260	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-2260	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2350	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- keine

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 8 Katalogblatt 8: Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage

ID-M-Code:

M-1270
M-2270
M-2360

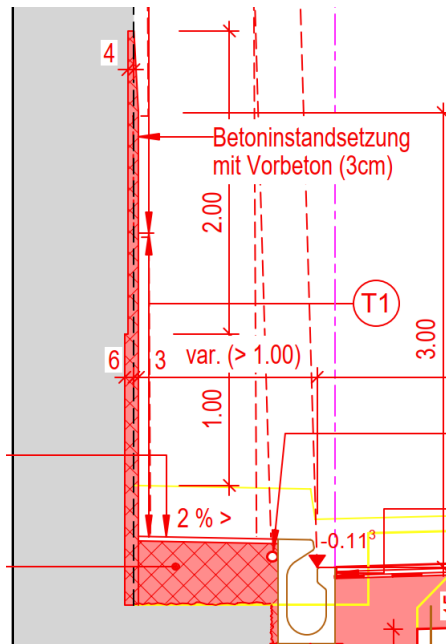


Abb. 6 Quelle: Gubristunnel, Planausschnitt (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code: M-1000
	Sohlgewölbe	M-2000
Massnahmen-Art:	Betoninstandsetzung (Gewölbe)	M-1200
	Betoninstandsetzung (zugängliches Sohlgewölbe)	M-2200
	Betoninstandsetzung (unzugängliches Sohlgewölbe)	M-2300
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2360 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 8 Katalogblatt 8: *Erhaltungsmassnahme: Reprofilierung mit Querschnittsergänzung mit Bewehrungsersatz /-zulage*

ID-M-Code:				M-1270
				M-2270
				M-2360
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • Betonabtrag (z.B. mit HDW) • ev. Entfernung Bewehrung mit hohem Querschnittsverlust • Bewehrungsersatz/ -zulage • Betonersatz (z.B. Mörtelauftrag, Spritzmörtel/ -betonauftrag) • Querschnittsergänzung durch Spritzbetonauftrag resp. Betonauftrag <p>M-2360 beinhaltet noch zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rückbau der Sohlauffüllung • Sohlauffüllung (nach Reprofilierung der Fläche) 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung des Bewehrungsgehalts • Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Repassivierung des Stahls durch erneuerte / ggf. grössere Betonüberdeckung • Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung 		<ul style="list-style-type: none"> • Schäden in der Tiefe werden nicht behoben; ungenügende Abtragstiefe 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Abtrag des chlorid- resp. sulfatkontaminierten oder spröden Betons • Wiederherstellung des ursprünglichen Bewehrungsgehalts • Reprofilierung der Oberfläche und Wiederherstellung des passiven Korrosionsschutzes in der Umgebung der Bewehrung (Repassivierung bzw. Realkalisierung) • Erhöhung der Bewehrungsüberdeckung 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1270	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion
• M-2270		x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
• M-2360	x			• S-19 Ermüdung Stahlbeton
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> • systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> • systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 9 Katalogblatt 9: *Erhaltungsmassnahme: Hydrophobierende Imprägnierung (H)*

ID-M-Code:	M-1310 M-3410
-------------------	--------------------------------

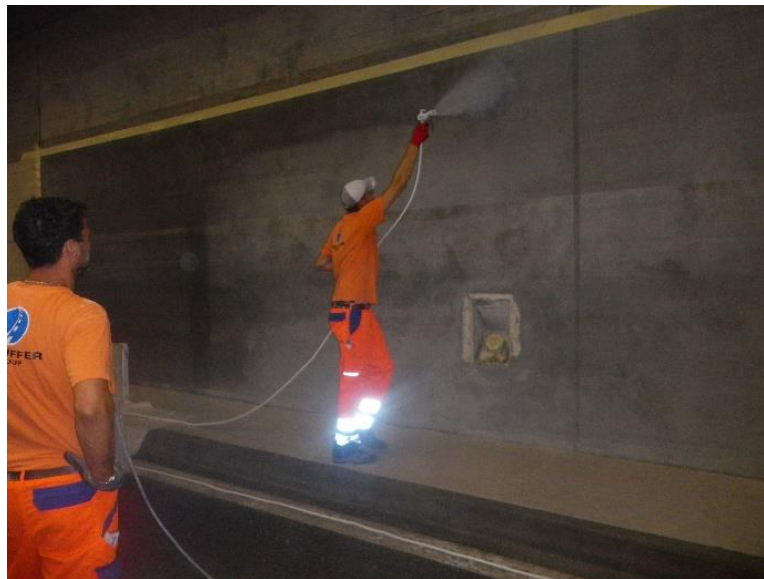


Abb. 7 Quelle: Gubristunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Zwischendecke	ID-M-Code: M-1000 M-3000
Massnahmen-Art:	Oberflächenschutzsysteme für Beton (Gewölbe) Oberflächenschutzsysteme für Beton (Zwischendecke)	M-1300 M-3400
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx2 M-xxx3
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> Reinigung der Oberfläche Hydrophobierung 	<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 	<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 9 Katalogblatt 9: *Erhaltungsmassnahme: Hydrophobierende Imprägnierung (H)*

ID-M-Code:				M-1310	M-3410
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-1310	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion	
• M-3410	x	x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			keine Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			keine Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):			4		
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :			0.040		
• Grundeinheit (GrE):			m ²		
				ID-M-Code: M-1310	M-3410
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			25 m ² ▶ 1.00 h	10 m ² ▶ 0.40 h	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			50 m ² ▶ 2.00 h	20 m ² ▶ 0.80 h	
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1310	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-3410	1.10	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 10 Katalogblatt 10: *Erhaltungsmassnahme: Erneuerung Imprägnierung (I)*

ID-M-Code:	M-1320 M-3420
-------------------	--------------------------------

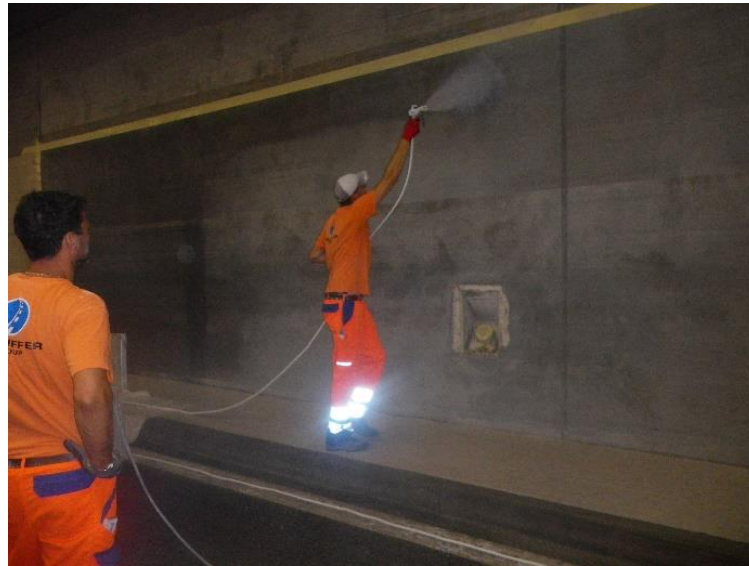


Abb. 8 Quelle: *Gubristtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Zwischendecke	ID-M-Code: M-1000 M-3000
Massnahmen-Art:	Oberflächenschutzsysteme für Beton (Gewölbe) Oberflächenschutzsysteme für Beton (Zwischendecke)	M-1300 M-3400
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx2 M-xxx3
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> intensiv Reinigung der Oberfläche Versiegelung resp. Imprägnierung 	<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 	<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhaltung / Verringerung des weiteren Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 10 Katalogblatt 10: Erhaltungsmassnahme: Erneuerung Imprägnierung (I)

ID-M-Code:				M-1320	
				M-3420	
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-1320	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion	
• M-3420	x	x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			keine Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			keine Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung		
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):			4		
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :			0.047		
• Grundeinheit (GrE):			m ²		
			ID-M-Code: M-1320	M-3420	
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			25 m ² ▶ 1.17 h	10 m ² ▶ 0.47 h	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			50 m ² ▶ 2.33 h	20 m ² ▶ 0.93 h	
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1320	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-3420	1.10	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 11 Katalogblatt 11: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Imprägnierung (I)*

ID-M-Code:	M-1330 M-3430
-------------------	--------------------------------

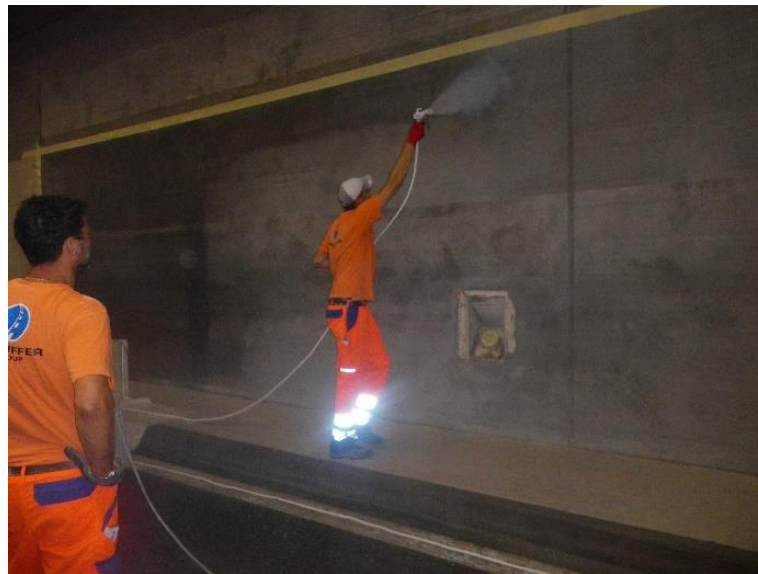


Abb. 9 Quelle: Gubristtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Zwischendecke	ID-M-Code: M-1000 M-3000
Massnahmen-Art:	Oberflächenschutzsysteme für Beton (Gewölbe) Oberflächenschutzsysteme für Beton (Zwischendecke)	M-1300 M-3400
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ² Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx4 M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> intensiv Reinigung der Oberfläche Versiegelung resp. Imprägnierung 	<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitszufuhr 	<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhaltung / Verringerung des weiteren Chlorid- und Feuchtigkeitszufuhr 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 11 Katalogblatt 11: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Imprägnierung (I)

ID-M-Code:				M-1330	M-3430
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-1330	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion	
• M-3430	x	x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), viele m ² :			keine Zustandsverbesserung		
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:			keine Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), viele m ² :			+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung		
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:			+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung		
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):			4		
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :			0.053		
• Grundeinheit (GrE):			m ²		
			ID-M-Code: M-1330	M-3430	
• Ersatz (1:1), viele m ² :			75 m ² ▶ 4.00 h	50 m ² ▶ 2.67 h	
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:			100 m ² ▶ 5.33 h	100 m ² ▶ 5.33 h	
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1330	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-3430	1.10	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 12 Katalogblatt 12: *Erhaltungsmassnahme: Erneuerung Beschichtung (C)*

ID-M-Code:	M-1340 M-3440
-------------------	--------------------------------



Abb. 10 Quelle: *Gubristunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Zwischendecke	ID-M-Code: M-1000 M-3000
Massnahmen-Art:	Oberflächenschutzsysteme für Beton (Gewölbe) Oberflächenschutzsysteme für Beton (Zwischendecke)	M-1300 M-3400
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx2 M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

- keine

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Intensive Reinigung der Oberfläche
- Auftragen Beschichtung (C) mit folgenden möglichen Eigenschaften:
 - mit erhöhter Dichtheit
 - mit geringer Rissüberbrückung
 - mit erhöhter Rissüberbrückung
 - mit mechanischer bzw. chemischer Widerstandsfähigkeit

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

Chancen:

- Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr

Gefahren / Unsicherheiten³:

- keine

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Vereinheitlichung Optik und Vervollständigung Oberflächenschutz
- Abhalten des flüssigen, evtl. schadstoffhaltigen Wassers
- Erhöhung des CO₂-Diffusionswiderstandes
- Erhöhung des Widerstandes gegen Chlorideintrag

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 12 Katalogblatt 12: Erhaltungsmassnahme: Erneuerung Beschichtung (C)

ID-M-Code:				M-1340	
				M-3440	
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-1340	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion	
• M-3440	x	x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			keine Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			keine Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:			+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode		
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	4				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.067				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
			ID-M-Code: M-1340	M-3440	
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	25 m ² ▶ 1.67 h		10 m ² ▶ 0.67 h		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ▶ 3.33 h		20 m ² ▶ 1.33 h		
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1340	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-3440	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

Tab. 12 Katalogblatt 12: *Erhaltungsmassnahme: Erneuerung Beschichtung (C)*

ID-M-Code:	M-1340 M-3440
-------------------	--------------------------------

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1.Röhre
 - Nr. 5 Gubristtunnel
-

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 13 Katalogblatt 13: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Beschichtung (C)*

ID-M-Code:	M-1350 M-3450
-------------------	--------------------------------



Abb. 11 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Zwischendecke	ID-M-Code: M-1000 M-3000
Massnahmen-Art:	Oberflächenschutzsysteme für Beton (Gewölbe) Oberflächenschutzsysteme für Beton (Zwischendecke)	M-1300 M-3400
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ² Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx4 M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> Abtrag bestehende Beschichtung Auftragen Beschichtung (C) mit folgenden möglichen Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> mit erhöhter Dichtheit mit geringer Rissüberbrückung mit erhöhter Rissüberbrückung mit mechanischer bzw. chemischer Widerstandsfähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 	<ul style="list-style-type: none"> keine 	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 13 Katalogblatt 13: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Beschichtung (C)

ID-M-Code:	M-1350 M-3450
-------------------	--------------------------------

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Vereinheitlichung Optik und Vervollständigung Oberflächenschutz
- Abhalten des flüssigen, evtl. schadstoffhaltigen Wassers
- Erhöhung des CO₂-Diffusionswiderstandes
- Erhöhung des Widerstandes gegen Chlorideintrag

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

Geeignet für folgende Schadensprozesse:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1350	x	x	x	• S-11 Bewehrungskorrosion
• M-3450	x	x		• S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- Ersatz (1:1), viele m²: keine Zustandsverbesserung
- Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: keine Zustandsverbesserung

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- Ersatz (1:1), viele m²: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode
- Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 4
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.093
- Grundeinheit (GrE): m²

	ID-M-Code: M-1350	M-3450
• Ersatz (1:1), viele m ² :	75 m ² ► 7.00 h	50 m ² ► 4.67 h
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	100 m ² ► 9.33 h	100 m ² ► 9.33 h

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1350	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-3450	1.50	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

Tab. 13 Katalogblatt 13: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Beschichtung (C)*

ID-M-Code:	M-1350 M-3450
-------------------	--------------------------------

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 4 Gotschnatunnel
 - Nr. 6 Tunnel Belchen
 - Nr. 8 Sonnenbergtunnel
 - Nr. 9 Reussporttunnel
-

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 14 Katalogblatt 14: *Erhaltungsmassnahme: Rissinjektion mit Klebepackern*

ID-M-Code:	M-1410
	M-2410
	M-2510

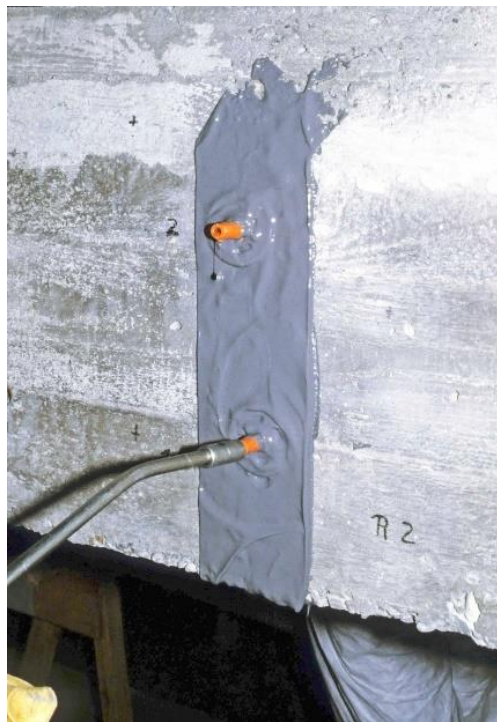


Abb. 12 Quelle: *Bauhandwerk.de*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code:
	Sohlgewölbe	M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400
		M-2400
		M-2500
Massnahmen-Typ¹:	lokale / punktuelle Instandsetzung	M-xxx1
	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2510 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> • Packer setzen (kleben) • Injizieren, Injektionsharze auf Epoxide / Polyurethane / Feinzement-Basis • Packer entfernen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt
M-2510 beinhaltet noch zusätzlich:	
<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau der Sohlauffüllung • Sohlauffüllung (nach Rissinjektion) 	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 14 Katalogblatt 14: *Erhaltungsmassnahme: Rissinjektion mit Klebepackern*

ID-M-Code:	M-1410 M-2410 M-2510
-------------------	---

Chancen: **Gefahren / Unsicherheiten³:**

- Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr
- keine

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- kraftschlüssiges Verfüllen von Rissen führt zu einer leichten Zustandsverbesserung (Optik, Kraftübertragung)
- Abhalten des flüssigen, evtl. schadstoffhaltigen Wassers (Rissbereich)
- Erhöhung des CO₂-Diffusionswiderstandes (Rissbereich)
- Erhöhung des Widerstandes gegen Chlorideintrag (Rissbereich)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
• M-1410	x	x	x
• M-2410		x	
• M-2510	x		

Geeignet für folgende Schadensprozesse:

- ID-S-Code:
- S-31 Belastungsänderung Baugrund
 - S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- lokale/punktueller Instandsetzung: keine Zustandsverbesserung
- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: keine Zustandsverbesserung

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- lokale/punktueller Instandsetzung: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung
- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 14 Katalogblatt 14: Erhaltungsmassnahme: Rissinjektion mit Klebepackern

ID-M-Code:	M-1410
	M-2410
	M-2510

Attribute für Kostenermittlung:

• Personal (MA):	2 (4 für M-2510)	
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.417 (0.700 für M-2510)	
• Grundeinheit (GrE):	m	
	ID-M-Code: M-1410	M-2410 M-2510
• lokale / punktuelle Instandsetzung:	5 m ► 2.08 h	2 m ► 0.83 h (1.40 h für M-2510)
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m ► 4.17 h	5 m ► 2.08 h (3.50 h für M-2510)
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	20 m ► 8.33 h	10 m ► 4.17 h (7.00 h für M-2510)

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1410	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-2410	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2510	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 4 Gotschnatunnel

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 15 Katalogblatt 15: *Erhaltungsmassnahme: Rissinjektion mit Bohrpackern*

ID-M-Code:	M-1420 M-2420 M-2520
-------------------	---



Abb. 13 links: *Kerenzerbergtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*, rechts: *Quelle: Sika.com*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	lokale / punktuelle Instandsetzung Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx1 M-xxx2 M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2520 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- je nach Risslänge, wechselseitiges Bohren der Löcher für die Packer
- Bohrlöcher ausblasen
- Stahlpacker einsetzen
- Injizieren, Injektionsharze auf Epoxide / Polyurethane / Feinzeiment-Basis
- Packer entfernen
- Löcher verschliessen

M-2520 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Rissinjektion)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 15 Katalogblatt 15: Erhaltungsmassnahme: Rissinjektion mit Bohrpäckern

ID-M-Code:				M-1420
				M-2420
				M-2520
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verringerung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> kraftschlüssiges Verfüllen von Rissen führt zu einer leichten Zustandsverbesserung (Optik, Kraftübertragung) Abhalten des flüssigen, evtl. schadstoffhaltigen Wassers (Rissbereich) Erhöhung des CO₂-Diffusionswiderstandes (Rissbereich) Erhöhung des Widerstandes gegen Chlorideintrag (Rissbereich) 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1420	x	x	x	• S-31 Belastungsänderung Baugrund
• M-2420		x		• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser
• M-2520	x			
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
lokale/punktueller Instandsetzung:		keine Zustandsverbesserung		
Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		keine Zustandsverbesserung		
systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		keine Zustandsverbesserung		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
lokale/punktueller Instandsetzung:		+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
Attribute für Kostenermittlung:				
Personal (MA):	2 (4 für M-2520)			
Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.667 (0.933 für M-2520)			
Grundeinheit (GrE):	m			
	ID-M-Code: M-1420	M-2420	M-2520	
lokale / punktueller Instandsetzung:	5 m ▶ 3.33 h	2 m ▶ 1.33 h	(1.87 h für M-2520)	
Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m ▶ 6.67 h	5 m ▶ 3.38 h	(4.67 h für M-2520)	
systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	20 m ▶ 13.33 h	10 m ▶ 6.67 h	(9.33 h für M-2520)	

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 15 Katalogblatt 15: *Erhaltungsmassnahme: Rissinjektion mit Bohrpäckern*

ID-M-Code:						M-1420
						M-2420
						M-2520
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:						
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb	
M-1420	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung	
M-2420	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb	
M-2520	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung	
Fallbeispiele⁸:						
<ul style="list-style-type: none"> Nr. 3 Kerenzertunnel 						

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 16 Katalogblatt 16: *Erhaltungsmassnahme: Entwässerungsschlitz einfach*

ID-M-Code:	M-1430
	M-2430
	M-2530

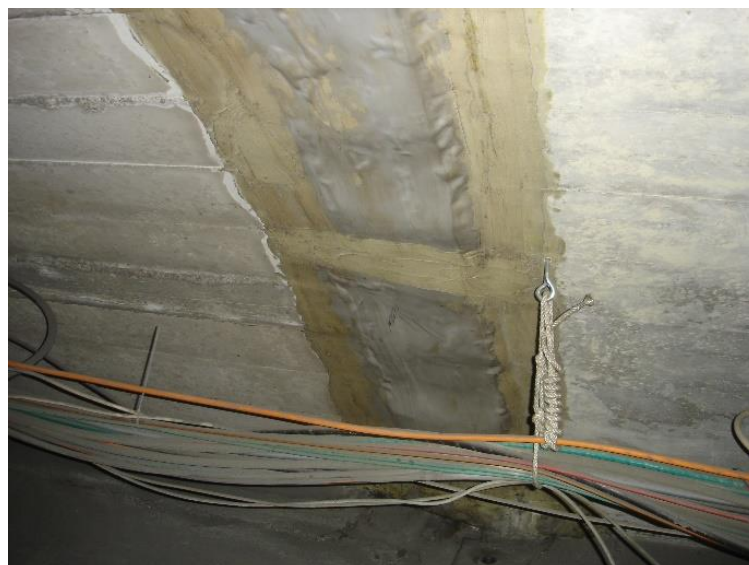


Abb. 14 Quelle: Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2530 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Schlitz Fräsen
- Abdeckung mit Combiflex

M-2530 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Fertigstellung des Entwässerungsschlitzes)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 16 Katalogblatt 16: *Erhaltungsmassnahme: Entwässerungsschlitz einfach*

ID-M-Code:				M-1430
				M-2430
				M-2530
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung • Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen 		<ul style="list-style-type: none"> • Nicht Abdeckung aller Wassereintrittsstellen • Unterschätzung der Wassereintrittsmenge (Unterdimensionierung der Schlitztiefe) 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Fassen und Ableiten von eindringendem Wasser • Verhindern von stehendem Wasser, Wassereintritten, Eis etc. 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1430	x	x	x	• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser
• M-2430		x		
• M-2530	x			
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Zustandsverbesserung				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
• Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung				
Attribute für Kostenermittlung:				
• Personal (MA):	2 (4 für M-2530)			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.417 (0.700 für M-2530)			
• Grundeinheit (GrE):	m			
	ID-M-Code: M-1430		M-2430 M-2530	
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m	▶	4.17 h	5 m ▶ 2.08 h (3.50 h für M-2530)

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 16 Katalogblatt 16: *Erhaltungsmassnahme: Entwässerungsschlitz einfach*

ID-M-Code:	M-1430 M-2430 M-2530
-------------------	---

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1430	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2430	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2530	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 6 Tunnel Belchen
- Nr. 7 Tunnel Girsberg

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 17 Katalogblatt 17: *Erhaltungsmassnahme: Entwässerungsschlitz erweitert*

ID-M-Code:	M-1440 M-2440 M-2540
-------------------	---



Abb. 15 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2540 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Schlitz fräsen
- Halbschale einlegen
- Abdeckung mit Combiflex
- Abdeckblech

M-2540 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Fertigstellung des Entwässerungsschlitzes)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 17 Katalogblatt 17: Erhaltungsmassnahme: Entwässerungsschlitz erweitert

ID-M-Code:	M-1440
	M-2440
	M-2540

Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung • Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht Abdeckung aller Wassereintrittsstellen • Unterschätzung der Wassereintrittsmenge (Unterdimensionierung der Schlitztiefe)

Massnahmenziel und Wirkungsweise:
<ul style="list-style-type: none"> • Fassen und Ableiten von eindringendem Wasser • Verhindern von stehendem Wasser, Wassereintritten, Eis etc.

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:	Geeignet für folgende Schadensprozesse:																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID-M-Code:</th> <th>Typ 1</th> <th>Typ 2a</th> <th>Typ 2b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• M-1440</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>• M-2440</td> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>• M-2540</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	• M-1440	x	x	x	• M-2440		x		• M-2540	x			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID-S-Code:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser</td> </tr> </tbody> </table>	ID-S-Code:	• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b																
• M-1440	x	x	x																
• M-2440		x																	
• M-2540	x																		
ID-S-Code:																			
• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser																			

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):
<ul style="list-style-type: none"> • Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Zustandsverbesserung
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):
<ul style="list-style-type: none"> • Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung

Attribute für Kostenermittlung:								
<ul style="list-style-type: none"> • Personal (MA): 2 (4 für M-2540) • Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.750 (1.033 für M-2540) • Grundeinheit (GrE): m 								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID-M-Code:</th> <th>M-1440</th> <th>M-2440</th> <th>M-2540</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:</td> <td>10 m ▶ 7.50 h</td> <td>5 m ▶ 3.75 h</td> <td>(5.17 h für M-2540)</td> </tr> </tbody> </table>	ID-M-Code:	M-1440	M-2440	M-2540	• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m ▶ 7.50 h	5 m ▶ 3.75 h	(5.17 h für M-2540)
ID-M-Code:	M-1440	M-2440	M-2540					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m ▶ 7.50 h	5 m ▶ 3.75 h	(5.17 h für M-2540)					

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 17 Katalogblatt 17: *Erhaltungsmassnahme: Entwässerungsschlitz erweitert*

ID-M-Code:	M-1440
	M-2440
	M-2540

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1440	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2440	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2540	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 2 Seelisbergtunnel
- Nr. 8 Sonnenbergtunnel

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 18 Katalogblatt 18: *Erhaltungsmassnahme: Blockfugen abdichten einfach*

ID-M-Code:	M-1450
	M-2450
	M-2550



Abb. 16 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2550 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Fugenschnitt entlang der Blockfuge
- Reinigung der Fuge
- Einbau Quelfugenband
- Einbau Stopfprofil Epoxy

M-2550 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nachdem Blockfuge abgedichtet wurde)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 18 Katalogblatt 18: Erhaltungsmassnahme: Blockfugen abdichten einfach

ID-M-Code:	M-1450
	M-2450
	M-2550

Chancen:

- Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung
- Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen

Gefahren / Unsicherheiten³:

- Nicht Abdeckung aller Wassereintrittsstellen
- Unterschätzung der Wassereintrittsmenge (Unterdimensionierung der Schlitztiefe)

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Fassen und Ableiten von eindringendem Wasser
- Verhindern von stehendem Wasser, Wassereintritten, Eis etc.

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
• M-1450	x	x	x
• M-2450		x	
• M-2550	x		

Geeignet für folgende Schadensprozesse:

ID-S-Code:
• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Zustandsverbesserung

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 2 (4 für M-2550)
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.500 (0.800 für M-2550)
- Grundeinheit (GrE): m

ID-M-Code: M-1450

M-2450
M-2550

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: 10 m ► 5.00 h

5 m ► 2.50 h
(4.00 h für M-2550)

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 18 Katalogblatt 18: *Erhaltungsmassnahme: Blockfugen abdichten einfach*

ID-M-Code:	M-1450 M-2450 M-2550
-------------------	---

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1450	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2450	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2550	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre
- Nr. 8 Sonnenbergtunnel

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 19 Katalogblatt 19: *Erhaltungsmassnahme: Blockfugen abdichten erweitert*

ID-M-Code:	M-1460 M-2460 M-2560
-------------------	---



Abb. 17 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel, Gewölbe (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2560 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Blockfuge durch Frässchlitz aufweiten
- Halbschale einlegen
- Abdeckung mit Combiflex
- Abdeckblech

M-2560 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nachdem Blockfuge abgedichtet wurde)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 19 Katalogblatt 19: *Erhaltungsmassnahme: Blockfugen abdichten erweitert*

ID-M-Code:	M-1460
	M-2460
	M-2560

Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung • Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht Abdeckung aller Wassereintrittsstellen • Unterschätzung der Wassereintrittsmenge (Unterdimensionierung der Schlitztiefe)

Massnahmenziel und Wirkungsweise:
<ul style="list-style-type: none"> • Fassen und Ableiten von eindringendem Wasser • Verhindern von stehendem Wasser, Wassereintritten, Eis etc.

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:	Geeignet für folgende Schadensprozesse:																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID-M-Code:</th> <th>Typ 1</th> <th>Typ 2a</th> <th>Typ 2b</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• M-1460</td> <td>x</td> <td>x</td> <td>x</td> </tr> <tr> <td>• M-2460</td> <td></td> <td>x</td> <td></td> </tr> <tr> <td>• M-2560</td> <td>x</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	• M-1460	x	x	x	• M-2460		x		• M-2560	x			<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID-S-Code:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser</td> </tr> </tbody> </table>	ID-S-Code:	• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b																
• M-1460	x	x	x																
• M-2460		x																	
• M-2560	x																		
ID-S-Code:																			
• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser																			

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):
<ul style="list-style-type: none"> • Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Zustandsverbesserung
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):
<ul style="list-style-type: none"> • Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung

Attribute für Kostenermittlung:								
<ul style="list-style-type: none"> • Personal (MA): 2 (4 für M-2560) • Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.833 (1.133 für M-2560) • Grundeinheit (GrE): m 								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID-M-Code:</th> <th>M-1460</th> <th>M-2460</th> <th>M-2560</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:</td> <td>10 m ► 8.33 h</td> <td>5 m ► 4.17 h</td> <td>(5.67 h für M-2560)</td> </tr> </tbody> </table>	ID-M-Code:	M-1460	M-2460	M-2560	• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m ► 8.33 h	5 m ► 4.17 h	(5.67 h für M-2560)
ID-M-Code:	M-1460	M-2460	M-2560					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m ► 8.33 h	5 m ► 4.17 h	(5.67 h für M-2560)					

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 19 Katalogblatt 19: *Erhaltungsmassnahme: Blockfugen abdichten erweitert*

ID-M-Code:	M-1460 M-2460 M-2560
-------------------	---

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1460	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2460	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2560	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 7 Tunnel Girsberg
- Nr. 8 Sonnenbergtunnel
- Nr. 9 Reussporttunnel

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 20 Katalogblatt 20: *Erhaltungsmassnahme: Abdichtungsinjektion*

ID-M-Code:	M-1470 M-2470 M-2570
-------------------	---

(keine Abbildung)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx2 M-xxx3

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2570 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Abdichtende Injektion hinter Innengewölbe
- M-2570 beinhaltet noch zusätzlich:
- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Injektion)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

Chancen:

- Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung
- Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen

Gefahren / Unsicherheiten³:

- Lokalisierung der Wasserzutrittsstelle hinter dem Innengewölbe
- Ausmass der abdichtenden Injektion

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Verhindern von Wassereintritten resp. Tropfstellen

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1470	x	x	x	• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser • S-51 Alterung / Beschädigung Abdichtung
• M-2470		x		
• M-2570	x			

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 20 Katalogblatt 20: Erhaltungsmassnahme: Abdichtungsinjektion

ID-M-Code:	M-1470
	M-2470
	M-2570

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 2 (4 für M-2570)
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.417 (0.700 für M-2570)
- Grundeinheit (GrE): m²

	ID-M-Code: M-1470	M-2470 M-2570
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	25 m ² ► 10.42 h	5 m ² ► 2.08 h (3.50 h für M-2570)
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	50 m ² ► 20.83 h	20 m ² ► 8.33 h (14.0 h für M-2570)

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1470	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2470	1.10	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2570	1.10	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 2 Seelisbergtunnel

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein >1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 21 Katalogblatt 21: *Erhaltungsmassnahme: Instandsetzung Abdichtung*

ID-M-Code:	M-1480 M-2480 M-2580
-------------------	---

(keine Abbildung)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

M-2580 bedingt eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:

- M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
- M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
- M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- Innengewölbe abbrechen
- Schadhafte Abdichtung flicken
- Innengewölbe erstellen

M-2580 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauffüllung
- Sohlauffüllung (nach Wiederherstellung Innengewölbe)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

Chancen:

- Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung
- Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen

Gefahren / Unsicherheiten³:

- Ungenügende Abdichtungsfläche wird geflickt

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Verhindern von Wassereintritten resp. Tropfstellen

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:

ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-1480	x	x	x	• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser • S-51 Alterung / Beschädigung Abdichtung
• M-2480		x		
• M-2580	x			

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 21 Katalogblatt 21: *Erhaltungsmassnahme: Instandsetzung Abdichtung*

ID-M-Code:	M-1480
	M-2480
	M-2580

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- Instandsetzung in Teilflächen /örtlich systematisch: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 6
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.467 (0.750 für M-2580)
- Grundeinheit (GrE): m²

	ID-M-Code: M-1480	M-2480
		M-2580

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: 25 m² ► 11.67 h

	M-2480	5 m ² ► 2.33 h
	M-2580	(3.75 h für M-2580)

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1480	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2480	1.50	1.10	1.20	1.05	unter Betrieb
M-2580	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- keine

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 22 Katalogblatt 22: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Teilabdichtung*

ID-M-Code:	M-1490 M-2490 M-2590
-------------------	---

(keine Abbildung)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung) Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-1000 M-2000
Massnahmen-Art:	Abdichtung	M-1400 M-2400 M-2500
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

- M-1490 bedingt zwingend M-1510 (Ersatz Innengewölbe)
- M-2490 bedingt zwingend M-2620 (Ersatz Sohlgewölbe, Tunnel mit WELK)
- M-2590 bedingt zwingend M-2610 (Ersatz Sohlgewölbe, Tunnel ohne WELK) und eine der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:
 - M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt)
 - M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt)
 - M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- bestehende Abdichtungselemente entfernen
- neue Abdichtungselemente aufbringen (Vlies, Noppenfolie, Dichtungsbahn; oder Systemaufbau mit gespritzter Kunststoffabdichtung)

M-2590 beinhaltet noch zusätzlich:

- Rückbau der Sohlauauffüllung
- Sohlauauffüllung (nach Wiedererstellung Innengewölbe)

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- Beton unbewehrt
- Beton bewehrt

Chancen:

- Erhöhung der Betriebssicherheit durch Verhinderung von Eiszapfenbildung
- Sicherstellung des Gewölbeprofils durch Verhinderung von Ausblühungen und Versinterungen

Gefahren / Unsicherheiten³:

- keine

Massnahmenziel und Wirkungsweise:

- Verhindern von Wassereintritten resp. Tropfstellen

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 22 Katalogblatt 22: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Teilabdichtung

ID-M-Code:				M-1490	
				M-2490	
				M-2590	
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-1490	x	x	x	• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser	
• M-2490		x		• S-51 Alterung / Beschädigung Abdichtung	
• M-2590	x				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)					
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode					
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	4 (6 für M-2590)				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.267 (0.550 für M-2590)				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
	ID-M-Code: M-1490		M-2490 M-2590		
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	200 m ² ► 53.33 h		100 m ² ► 26.67 h (55.00 h für M-2590)		
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1490	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2490	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-2590	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 23 Katalogblatt 23: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Innengewölbe*

ID-M-Code:		M-1510		
(kein Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		Gewölbe (inkl. Abdichtung und Felssicherung)	ID-M-Code: M-1000	
Massnahmen-Art:		Ersatzmassnahmen	M-1500	
Massnahmen-Typ¹:		Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> M-1510 bedingt zwingend M-1490 (Ersatz Teilabdichtung) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Innengewölbe abbrechen Innengewölbe erstellen 		<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Vergleichbar mit Neubau 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-1510 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-21 Stahlkorrosion S-29 Ermüdung Baustahl S-31 Belastungsänderung Baugrund S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 23 Katalogblatt 23: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Innengewölbe*

ID-M-Code:		M-1510			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.400				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-1510					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	200 m ²	▶ 80.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-1510	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 24 Katalogblatt 24: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)

ID-M-Code:

M-2610

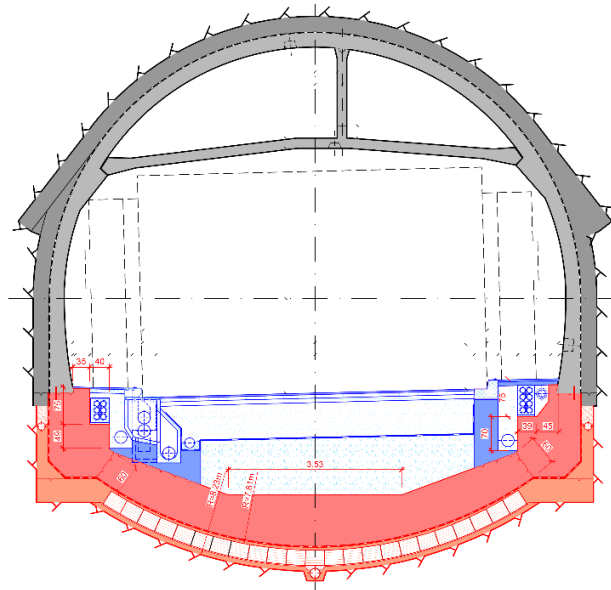


Abb. 18 Quelle: Gotschnatunnel, Planausschnitt (IG GOST, Lombardi AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Sohlgewölbe	ID-M-Code: M-2000
Massnahmen-Art:	Ersatzmassnahmen	M-2600
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
M-2610 bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-2590 Ersatz Teilabdichtung • M-6310 Banketersatz ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett • M-7130 Ersatz Löschwasserleitung • M-7140 Ersatz Kabelrohre • M-7330 Ersatz Entwässerungsleitung • M-7430 Ersatz Randsteine • M-7440 Ersatz Schlitzrinne • M-7520 Totalersatz Siphonschacht • M-7540 Totalersatz Kabelschacht 		
M-2610 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> • Sohlgewölbe abbrechen • Sohlgewölbe erstellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 24 Katalogblatt 24: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)*

ID-M-Code:				M-2610
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Vergleichbar mit Neubau 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-2610 	x			<ul style="list-style-type: none"> S-21 Stahlkorrosion S-29 Ermüdung Baustahl S-31 Belastungsänderung Baugrund S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				
Attribute für Kostenermittlung:				
<ul style="list-style-type: none"> Personal (MA): Dauer (Stunden pro GrE)⁶: Grundeinheit (GrE): 	6	0.400	m ²	
	ID-M-Code: M-2610			
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: 			100 m ²	▶ 40.00 h

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 24 Katalogblatt 24: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel ohne WELK)*

ID-M-Code:		M-2610			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-2610	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
<ul style="list-style-type: none">• Nr. 4 Gotschnatunnel• Nr. 6 Tunnel Belchen					

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 25 Katalogblatt 25: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)*

ID-M-Code:		M-2620
(keine Abbildung)		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		Sohlgewölbe ID-M-Code: M-2000
Massnahmen-Art:	Ersatzmassnahmen	M-2600
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
M-2620 bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-2490 Ersatz Teilabdichtung • M-4410 Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände oder M-4510 Ersatz WELK (Elementbau) • M-7520 Totalersatz Siphonschacht • M-7540 Totalersatz Kabelschacht 		
M-2620 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> • Sohlgewölbe abbrechen inkl. Rückbau bzw. Neuerstellung WELK, Foundationsschicht und Leitungen • Sohlgewölbe erstellen 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichbar mit Neubau 		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1 Typ 2a Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> • M-2620 	<p style="text-align: center;">x x</p>	<ul style="list-style-type: none"> • S-21 Stahlkorrosion • S-29 Ermüdung Baustahl • S-31 Belastungsänderung Baugrund • S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 25 Katalogblatt 25: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Sohlgewölbe (Tunnel mit WELK)*

ID-M-Code:	M-2620				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)					
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode					
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.400				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-2620					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	100 m ² ► 40.00 h				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-2620	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 26 Katalogblatt 26: *Erhaltungsmassnahme: Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker bzw. Schweizer Riegel)*

ID-M-Code:

M-3510



Abb. 19 Quelle: *Gubristunnel, Zwischendecke (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Zwischendecke	ID-M-Code: M-3000
Massnahmen-Art:	Sicherungsmassnahmen	M-3500
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> Bohren der Löcher für Aufhängung Einbau der Aufhängung 	<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Betriebssicherheit durch Sicherstellung der Tragsicherheit der Zwischendecke 	<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung resp. Erhöhung der Tragsicherheit der Zwischendecke 		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:	Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1 Typ 2a Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-3510 	<ul style="list-style-type: none"> x x 	<ul style="list-style-type: none"> S-31 Belastungsänderung Baugrund S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 26 Katalogblatt 26: *Erhaltungsmassnahme: Sicherung durch Aufhängungen (Zuganker bzw. Schweizer Riegel)*

ID-M-Code:		M-3510			
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		keine Zustandsverbesserung			
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):		2			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		3.200			
• Grundeinheit (GrE):		Stk.			
ID-M-Code: M-3510					
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		50 Stk ► 160.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-3510	2.00	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre					
• Nr. 2 Seelisbergtunnel					
• Nr. 5 Gubristtunnel					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 27 Katalogblatt 27: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz der Aufhängungen (Zuganker bzw. Schweizer Riegel)*

ID-M-Code:		M-3520		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-3000	
Massnahmen-Art:			Sicherungsmassnahmen M-3500	
Massnahmen-Typ¹:			Ersatz (1:1), viele m ² M-xxx4	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Ausbau bestehende, alte Aufhängung Einbau der Aufhängung 		<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Betriebssicherheit durch Sicherstellung der Tragsicherheit der Zwischendecke 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Sicherstellung resp. Erhöhung der Tragsicherheit der Zwischendecke 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-3520 	x	x		<ul style="list-style-type: none"> S-31 Belastungsänderung Baugrund S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele m²: keine Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele m²: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 27 Katalogblatt 27: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz der Aufhängungen (Zuganker bzw. Schweizer Riegel)*

ID-M-Code:		M-3520			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	4.000				
• Grundeinheit (GrE):	Stk.				
ID-M-Code: M-3520					
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: 50 Stk ► 200.00 h					
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-3520	2.00	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre					
• Nr. 2 Seelisbergtunnel					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 28 Katalogblatt 28: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Zwischendecke*

ID-M-Code:

M-3610



Abb. 20 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Zwischendecke	ID-M-Code: M-3000
Massnahmen-Art:	Ersatzmassnahmen	M-3600
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> bestehende Zwischendecke abbrechen neue Zwischendecke schalen, bewehren, betonieren 		<ul style="list-style-type: none"> Beton unbewehrt Beton bewehrt
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Vergleichbar mit Neubau 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 28 Katalogblatt 28: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Zwischendecke*

ID-M-Code:				M-3610	
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-3610	x	x		• S-31 Belastungsänderung Baugrund	
				• S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)					
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode					
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):		6			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		0.400			
• Grundeinheit (GrE):		m ²			
			ID-M-Code: M-3610		
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:			100 m ²	▶	40.00 h
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-3610	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 29 Katalogblatt 29: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz PBD-Abdichtung*

ID-M-Code:			M-4310	
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-4000	
Werkleitungskanal				
Massnahmen-Art:	Abdichtung auf Fahrbahnplatte oder WELK (Elementbau)		M-4300	
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock		M-xxx5	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
M-4310 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • bestehendes PBD-Abdichtungssystem abbrechen • Oberfläche stocken, schleifen, reinigen • Versiegelung resp. Grundanstrich auftragen • PBD-Bahnen verlegen 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verhinderung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Verhinderung von Wassereintritt 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-4310		x	x	• S-51 Alterung / Beschädigung Abdichtung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: keine Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 29 Katalogblatt 29: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz PBD-Abdichtung*

ID-M-Code:		M-4310			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.060				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-4310					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	100 m ²	▶ 6.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-4310	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 30 Katalogblatt 30: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz FLK-Abdichtung*

ID-M-Code:		M-4320		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-4000	
Werkleitungskanal				
Massnahmen-Art:	Abdichtung auf Fahrbahnplatte oder WELK (Elementbau)		M-4300	
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock		M-xxx5	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
M-4320 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • bestehendes FLK-Abdichtungssystem abbrechen • Oberfläche stocken, schleifen, reinigen • Grundierung auftragen • FLK-Abdichtung auftragen • Verbindungsschicht auftragen 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verhinderung Chlorid- und Feuchtigkeitzufuhr 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Verhinderung von Wassereintritt 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-4320		x	x	• S-51 Alterung / Beschädigung Abdichtung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: keine Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 30 Katalogblatt 30: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz FLK-Abdichtung*

ID-M-Code:		M-4320			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.053				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-4320					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	100 m ²	▶ 5.33 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-4320	2.00	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 31 Katalogblatt 31: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Gussasphalt-Abdichtung*

ID-M-Code:		M-4330		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-4000	
Werkleitungskanal				
Massnahmen-Art:	Abdichtung auf Fahrbahnplatte oder WELK (Elementbau)		M-4300	
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock		M-xxx5	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
M-4330 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • bestehendes Gussasphalt-Abdichtungssystem abbrennen • Oberfläche stocken, schleifen, reinigen • Glasvlies, Ölpapier auftragen 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung Schutz der Bewehrung durch Verhinderung Chlorid- und Feuchtigkeitseinzug 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Verhinderung von Wassereintritt 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-4330		x	x	• S-51 Alterung / Beschädigung Abdichtung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: keine Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 31 Katalogblatt 31: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Gussasphalt-Abdichtung*

ID-M-Code:		M-4330			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.027				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-4330					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	100 m ²	▶ 2.67 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-4330	2.00	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 32 Katalogblatt 32: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände*

ID-M-Code:				M-4410	
(keine Abbildung)					
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:				Werkleitungskanal	ID-M-Code: M-4000
Massnahmen-Art:				Ersatzmassnahmen	M-4400
Massnahmen-Typ¹:				Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:					
M-4410 bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:					
<ul style="list-style-type: none"> • M-4300ff Abdichtung auf Fahrbahnplatte • M-5220 Ersatz Randfugen • M-6310 Banketersatz ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett • M-7140 Ersatz Kabelrohre • M-7230 Ersatz Löschwassersleitung • M-7330 Ersatz Entwässerungsleitung • M-7430 Ersatz Randsteine • M-7440 Ersatz Schlitzrinne • M-7520 Totalersatz Siphonschacht • M-7540 Totalersatz Kabelschacht 					
M-4410 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:					
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 					
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:			Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau Fahrbahnplatte • Neuerstellung Fahrbahnplatte 			<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 		
Chancen:			Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 			<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:					
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichbar mit Neubau 					
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-4410		x		<ul style="list-style-type: none"> • S-11 Bewehrungskorrosion • S-31 Belastungsänderung Baugrund • S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser 	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 32 Katalogblatt 32: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Fahrbahnplatte inkl. Wände

ID-M-Code:	M-4410				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)					
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode					
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.440				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-4410					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	100 m ² ► 44.00 h				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-4410	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 2 Seelisbergtunnel					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 33 Katalogblatt 33: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz WELK (Elementbau)*

ID-M-Code:		M-4420
(keine Abbildung)		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		Werkleitungskanal ID-M-Code: M-4000
Massnahmen-Art:	Ersatzmassnahmen	M-4400
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
M-4420 bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-4300ff Abdichtung auf Fahrbahnplatte • M-5220 Ersatz Randfugen • M-6310 Banketersatz ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett • M-7140 Ersatz Kabelrohre • M-7230 Ersatz Löschwassersleitung • M-7330 Ersatz Entwässerungsleitung • M-7430 Ersatz Randsteine • M-7440 Ersatz Schlitzrinne • M-7520 Totalersatz Siphonschacht • M-7540 Totalersatz Kabelschacht 		
M-4420 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> • Rückbau WELK-Elemente inkl. Aushub bzw. Wiedereinbringen Hinterfüllung • Neuerstellung WELK 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichbar mit Neubau 		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1 Typ 2a Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> • M-4420 	x	<ul style="list-style-type: none"> • S-11 Bewehrungskorrosion • S-31 Belastungsänderung Baugrund • S-41 Belastungsänderung Berg- / Grundwasser

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 33 Katalogblatt 33: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz WELK (Elementbau)*

ID-M-Code:	M-4420				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)					
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode					
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):		6			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		0.360			
• Grundeinheit (GrE):		m ²			
		ID-M-Code: M-4420			
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:			100 m ²	▶	36.00 h
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-4420	2.00	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 34 Katalogblatt 34: *Erhaltungsmassnahme: Wiederherstellung Griffigkeit*

ID-M-Code:		M-5110		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-5000	
Fahrbahn / Fahrbahnfundation				
Massnahmen-Art:	Reinigung	M-5100		
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz		M-xxx3	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Reinigung/Aufräumen der Belagsoberfläche 		<ul style="list-style-type: none"> Betonfahrbahnplatte (Guss-/Walz-)Asphalt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Betriebssicherheit durch verbesserte Griffigkeit der Fahrbahn 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Griffigkeit Belag verbessert 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-5110 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-61 Belagsschäden
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			keine Zustandsverbesserung	
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:			keine Langzeitwirkung	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 34 Katalogblatt 34: *Erhaltungsmassnahme: Wiederherstellung Griffigkeit*

ID-M-Code:		M-5110			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):		1			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		0.007			
• Grundeinheit (GrE):		m ²			
ID-M-Code: M-5110					
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: 75 m ² ► 0.50 h					
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5110	1.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 35 Katalogblatt 35: *Erhaltungsmassnahme: Belagsrisse vergiessen*

ID-M-Code:		M-5210		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-5000	
Fahrbahn / Fahrbahnfundation				
Massnahmen-Art:	Instandsetzung		M-5200	
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz		M-xxx2 M-xxx3	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Belagsrisse mit Polymerbitumen vergiessen 		<ul style="list-style-type: none"> Betonfahrbahnplatte (Guss-/Walz-)Asphalt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der Betriebssicherheit Verhinderung Wasserzufuhr 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Belagsrisse flicken / vergiessen 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-5210 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-61 Belagsschäden
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Langzeitwirkung systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: keine Langzeitwirkung 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 35 Katalogblatt 35: *Erhaltungsmassnahme: Belagsrisse vergiessen*

ID-M-Code:		M-5210			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.050				
• Grundeinheit (GrE):	m				
ID-M-Code: M-5210					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:	10 m	▶ 0.50 h			
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	100 m	▶ 5.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5210	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 36 Katalogblatt 36: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Randfugen*

ID-M-Code:				M-5220 M-6210
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Fahrbahn / Fahrbahnfundation Bankett			ID-M-Code: M-5000 M-6000
Massnahmen-Art:	Instandsetzung Instandsetzung			M-5200 M-6200
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ²			M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Fuge herauskratzen mit Polymerbitumen mit Korngerüst vergiessen 		<ul style="list-style-type: none"> Betonfahrbahnplatte (Guss-/Walz-)Asphalt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Verhinderung Wasserzufuhr 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertige Randfugen 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-5220 M-6210 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-61 Belagsschäden
	x	x	x	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele m²: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele m²: +15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 36 Katalogblatt 36: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Randfugen*

ID-M-Code:		M-5220			
		M-6210			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.100				
• Grundeinheit (GrE):	m				
	ID-M-Code: M-5220				
	M-6210				
• Ersatz (1:1), viele m ² :	10 m	▶ 1.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5220	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-6210	1.10	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 37 Katalogblatt 37: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Deckbelag*

ID-M-Code:	M-5310 M-5410 M-6220
------------	----------------------------

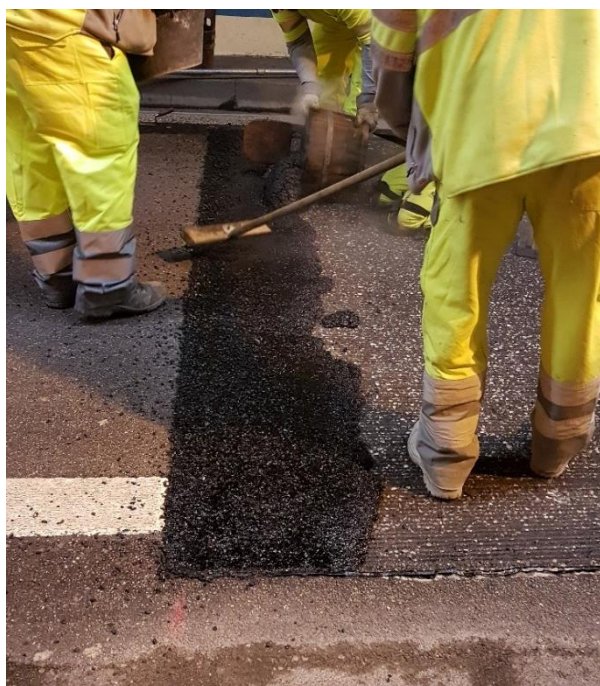


Abb. 21 Quelle: *Gubristunnel (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Fahrbahn / Fahrbahnfundation Bankett	ID-M-Code: M-5000 M-6000
Massnahmen-Art:	Belagersatz (Gussasphalt) Belagersatz (Walzasphalt) Instandsetzung	M-5300 M-5400 M-6200
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz Ersatz (1:1), viele m ²	M-xxx3 M-xxx4

Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:

- M-5310 und M-5410 bedingen zwingend M-5220 (Ersatz Randfugen)
- M-6220 bedingt zwingend M-6210 (Ersatz Randfugen)

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:

- bestehenden Deckbelag fräsen
- Oberfläche reinigen
- Bindemittel auftragen
- neuen Deckbelag auftragen:
 - bei Gussasphalt: und mit geeignetem Abstreumaterial gleichmässig Abstreuen
 - bei Walzasphalt: und verdichten

Anwendung bei Bauwerksteilen aus:

- (Guss-/Walz-)Asphalt

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 37 Katalogblatt 37: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Deckbelag*

ID-M-Code:				M-5310
				M-5410
				M-6220
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertiger Deckbelag Fahrbahn oder Bankett 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-5310	x	x	x	• S-61 Belagsschäden
• M-5410	x	x	x	
• M-6220	x	x	x	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 		<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 		<ul style="list-style-type: none"> +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 		
Attribute für Kostenermittlung:				
• Personal (MA):	6			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.025			
• Grundeinheit (GrE):	m ²			
	ID-M-Code:	M-5310	M-6220	
		M-5410		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:	20 m ²	► 0.50 h	-	
• Ersatz (1:1), viele m ² :	50 m ²	► 1.25 h	10 m ²	► 0.25 h

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 37 Katalogblatt 37: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Deckbelag*

ID-M-Code:	M-5310
	M-5410
	M-6220

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5310	2.00	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-5410	1.50	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-6220	2.00	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 4 Gotschnatunnel
- Nr. 8 Sonnenbergtunnel
- Nr. 9 Reussporttunnel

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 38 Katalogblatt 38: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Binderschicht*

ID-M-Code:				M-5320
				M-5420
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:				ID-M-Code:
Fahrbahn / Fahrbahnfundation				M-5000
Massnahmen-Art:	Belagsersatz (Gussasphalt)			M-5300
	Belagsersatz (Walzasphalt)			M-5400
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz			M-xxx3
	Ersatz (1:1), viele m ²			M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5320 bedingt zwingend M-5310 (Ersatz Deckbelag Gussasphalt) • M-5420 bedingt zwingend M-5410 (Ersatz Deckbelag Walzasphalt) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • bestehende Binderschicht fräsen • Oberfläche reinigen • Bindemittel auftragen • neue Binderschicht auftragen (bei Walzasphalt noch zusätzlich verdichten) 		<ul style="list-style-type: none"> • (Guss-/Walz-)Asphalt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Neuwertige Binderschicht Fahrbahn 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-5320	x	x	x	• S-61 Belagsschäden
• M-5420	x	x	x	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 38 Katalogblatt 38: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Binderschicht*

ID-M-Code:	M-5320 M-5420				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 	<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 	<ul style="list-style-type: none"> +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				
Attribute für Kostenermittlung:					
<ul style="list-style-type: none"> Personal (MA): Dauer (Stunden pro GrE)⁶: Grundeinheit (GrE): 	<ul style="list-style-type: none"> 6 0.033 m² 				
	ID-M-Code: M-5320 M-5420				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 	<ul style="list-style-type: none"> 20 m² ▶ 0.67 h 50 m² ▶ 1.67 h 				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5320	2.00	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-5420	1.50	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
<ul style="list-style-type: none"> Nr. 8 Sonnenbergtunnel Nr. 9 Reussporttunnel 					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 39 Katalogblatt 39: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Tragschicht*

ID-M-Code:				M-5330
				M-5430
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:				ID-M-Code:
Fahrbahn / Fahrbahnfundation				M-5000
Massnahmen-Art:	Belagsersatz (Gussasphalt)			M-5300
	Belagsersatz (Walzasphalt)			M-5400
Massnahmen-Typ¹:	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz			M-xxx3
	Ersatz (1:1), viele m ²			M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5330 bedingt zwingend M-5320 (Ersatz Binderschicht Gussasphalt) • M-5430 bedingt zwingend M-5420 (Ersatz Binderschicht Walzasphalt) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • bestehende Tragschicht fräsen • Oberfläche reinigen • Bindemittel auftragen • neue Tragschicht auftragen (bei Walzasphalt noch zusätzlich verdichten) 		<ul style="list-style-type: none"> • (Guss-/Walz-)Asphalt 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Neuwertige Tragschicht Fahrbahn 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-5330	x	x	x	• S-61 Belagsschäden
• M-5430	x	x	x	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 39 Katalogblatt 39: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Tragschicht

ID-M-Code:	M-5330 M-5430				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 	<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 	<ul style="list-style-type: none"> +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				
Attribute für Kostenermittlung:					
<ul style="list-style-type: none"> Personal (MA): Dauer (Stunden pro GrE)⁶: Grundeinheit (GrE): 	<ul style="list-style-type: none"> 6 0.042 m² 				
	ID-M-Code: M-5330 M-5430				
<ul style="list-style-type: none"> systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: Ersatz (1:1), viele m²: 	<ul style="list-style-type: none"> 20 m² ► 0.83 h 50 m² ► 2.08 h 				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5330	2.00	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-5430	1.50	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
<ul style="list-style-type: none"> Nr. 9 Reussporttunnel 					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 40 Katalogblatt 40: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Foundationsschicht*

ID-M-Code:		M-5440	
(keine Abbildung)			
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		ID-M-Code: M-5000	
Fahrbahn / Fahrbahnfundation			
Massnahmen-Art:	Belagsersatz (Walzasphalt)	M-5400	
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ²	M-xxx4	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:			
<ul style="list-style-type: none"> M-5440 bedingt zwingend M-5430 (Ersatz Tragschicht Walzasphalt) 			
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> bestehende Foundationsschicht fräsen Oberfläche reinigen neue Foundationsschicht auftragen 		<ul style="list-style-type: none"> Walzasphalt 	
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:			
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertige Foundationsschicht Fahrbahn 			
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
ID-S-Code:			
<ul style="list-style-type: none"> M-5440 	x	x	x
			<ul style="list-style-type: none"> S-61 Belagsschäden
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:			
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):			
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele m²: 		Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)	
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):			
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele m²: 		+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 40 Katalogblatt 40: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Fundationsschicht*

ID-M-Code:		M-5440			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.100				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-5440					
• Ersatz (1:1), viele m ² :	50 m ²	▶ 5.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5440	1.50	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 2 Seelisbergtunnel					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 41 Katalogblatt 41: Erhaltungsmassnahme: Oberflächenerneuerung mit Deckschicht Walzasphalt

ID-M-Code:		M-5510		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		ID-M-Code: M-5000		
Fahrbahn / Fahrbahnfundation				
Massnahmen-Art:	Instandsetzung Betonfahrbahnplatte	M-5500		
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ²	M-xxx4		
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5510 bedingt zwingend M-5220 (Ersatz Randfugen) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • abtragen Oberfläche (ca. 5cm) der Betonfahrbahnplatte • auftragen und verdichten Deckschicht aus Walzasphalt 		<ul style="list-style-type: none"> • Betonfahrbahnplatte 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Neuwertige Deckschicht Fahrbahn 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-5510	x	x	x	• S-61 Belagsschäden
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), viele m²: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), viele m²: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 41 Katalogblatt 41: *Erhaltungsmassnahme: Oberflächenerneuerung mit Deckschicht Walzasphalt*

ID-M-Code:		M-5510			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.033				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-5510					
• Ersatz (1:1), viele m ² :	50 m ²	▶ 1.67 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5510	1.50	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 42 Katalogblatt 42: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Betonfahrbahnplatte*

ID-M-Code:		M-5520	
(keine Abbildung)			
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		ID-M-Code: M-5000	
Fahrbahn / Fahrbahnfundation			
Massnahmen-Art:	Instandsetzung Betonfahrbahnplatte	M-5500	
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx5	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:			
<ul style="list-style-type: none"> M-5520 bedingt zwingend M-5220 (Ersatz Randfugen) 			
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> abbrechen der bestehenden Betonfahrbahnplatte (Schneiden der Platten in transportable Stücke und Herausheben der Betonteile) vorbereiten der Ausbruchsstellen, bei Bedarf Erneuern des Unterbaus Einbau von Schnellbeton, Verdichten, Abziehen sowie Nachbehandlung 		<ul style="list-style-type: none"> Betonfahrbahnplatten 	
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:			
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertige Fahrbahn 			
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
ID-S-Code:			
<ul style="list-style-type: none"> M-5520 	x	x	x
			<ul style="list-style-type: none"> S-61 Belagsschäden
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:			
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):			
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 			
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):			
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 			

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 42 Katalogblatt 42: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Betonfahrbahnplatte*

ID-M-Code:		M-5520			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	6				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.200				
• Grundeinheit (GrE):	m ²				
ID-M-Code: M-5520					
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	75 m ²	▶ 15.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-5520	1.50	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• keine					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 43 Katalogblatt 43: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Bankett (mit oder ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett)*

ID-M-Code:	M-6310 M-6320
-------------------	--------------------------------



Abb. 22 Quelle: Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Bankett	ID-M-Code: M-6000
Massnahmen-Art:	Ersatzmassnahmen	M-6300
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ²	M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
M-6310 (ohne Leitungen/KSR im Bankett) bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-6220 Ersatz Deckbelag • M-7430 Ersatz Randsteine • M-7440 Ersatz Schlitzrinne 		
M-6320 (mit Leitungen/KSR im Bankett) bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-6220 Ersatz Deckbelag • M-7130 Ersatz Löschwasserleitung • M-7140 Ersatz Kabelrohre • M-7430 Ersatz Randsteine • M-7440 Ersatz Schlitzrinne 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> • abbrechen bestehendes Bankett • einbauen neues Bankett 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton unbewehrt • Beton bewehrt 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 	<ul style="list-style-type: none"> • keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> • Neuwertiges Bankett 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 43 Katalogblatt 43: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Bankett (mit oder ohne Leitungen bzw. KSR im Bankett)*

ID-M-Code:				M-6310 M-6320	
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:	
• M-6310		x	x	• S-31 Belastungsänderung Baugrund	
• M-6320	x			• S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), viele m ² :		Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)			
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), viele m ² :		+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	3.200				
• Grundeinheit (GrE):	m ³				
	ID-M-Code: M-6310 M-6320				
• Ersatz (1:1), viele m ³ :	2.5 m ³ ► 8.00 h				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-6310	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-6320	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 44 Katalogblatt 44: *Erhaltungsmassnahme: Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen*

ID-M-Code:	M-7110
	M-7210
	M-7310
	M-7610



Abb. 23 Quelle: Tunnel Belchen, Ablagerungsbildung (Einflüsse des Bergwassers, M.C. Wegmüller)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Leitungen / Schächte	ID-M-Code: M-7000
Massnahmen-Art:	Leitungen resp. Kabelschutzrohre im Bankett Leitungen im WELK Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn Gebirgsdrainage	M-7100 M-7200 M-7300 M-7600
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx2 M-xxx3
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> spülen der Leitung mit Wasserhochdruck inkl. entfernen von Ablagerungen 	<ul style="list-style-type: none"> Leitungen aus Guss, Edelstahl, Kunststoff (Polyethylen) 	
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit der Leitung 	<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Verringert Gefahr von Verstopfungen sofort, kaum Einfluss auf Langzeitverhalten 		

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

Tab. 44 Katalogblatt 44: *Erhaltungsmassnahme: Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen*

ID-M-Code:				M-7110
				M-7210
				M-7310
				M-7610
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-7110	x	x	x	• S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser
• M-7210		x	x	
• M-7310	x			
• M-7610	x	x	x	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung				
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: keine Langzeitwirkung				
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: keine Langzeitwirkung				
Attribute für Kostenermittlung:				
• Personal (MA):		1		
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		0.240		
• Grundeinheit (GrE):		m		
			ID-M-Code: M-7110	M-7610
			M-7210	
			M-7310	
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		5 m ▶ 1.20 h	-	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		10 m ▶ 2.40 h	50 m ▶ 12.00 h	

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 44 Katalogblatt 44: *Erhaltungsmassnahme: Leitungen spülen und Ablagerungen entfernen*

ID-M-Code:	M-7110
	M-7210
	M-7310
	M-7610

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7110	1.00	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-7210	1.00	1.50	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
M-7310	1.00	1.50	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-7610	1.00	1.50	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre
- Nr. 3 Kerenzerbergtunnel
- Nr. 6 Tunnel Belchen

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 45 Katalogblatt 45: *Erhaltungsmassnahme: Inlining*

ID-M-Code:	M-7120
	M-7220
	M-7320
	M-7620

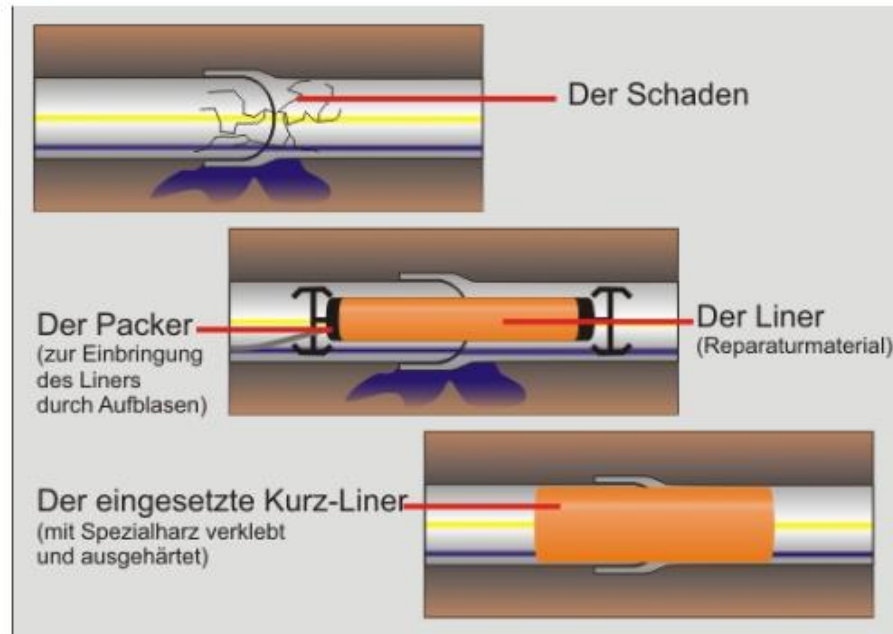


Abb. 24 Quelle: *rohrreinigung-stuttgart.info*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Leitungen / Schächte	ID-M-Code: M-7000
Massnahmen-Art:	Leitungen resp. Kabelschutzrohre im Bankett Leitungen im WELK Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn Gebirgsdrainage	M-7100 M-7200 M-7300 M-7600
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx2 M-xxx3
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		

Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> einbringen (durch Luft- oder Wasserdruck) des Inliners (in Harz getränkter Schlauch) in defekten Leitungsabschnitt Inliner passt sich durch den Druck exakt der Grösse der bestehenden Leitung an 	<ul style="list-style-type: none"> Leitungen aus Guss, Edelstahl, Kunststoff (Polyethylen)

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

Tab. 45 Katalogblatt 45: *Erhaltungsmassnahme: Inlining*

ID-M-Code:				M-7120
				M-7220
				M-7320
				M-7620
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit der Leitung in den meisten Fällen übertrifft ein Inliner die statischen und hydraulischen Eigenschaften der bestehenden Leitung grabenlose Sanierung, ohne Abbrucharbeiten 		<ul style="list-style-type: none"> geringfügige Verringerung des Leitungsdurchmessers 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Praktisch neuwertige Leitung 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
• M-7120	x	x	x	• S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser
• M-7220		x	x	
• M-7320	x			
• M-7620	x	x	x	
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)		
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		+5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung		
Attribute für Kostenermittlung:				
• Personal (MA):	3			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	0.233			
• Grundeinheit (GrE):	m			
				ID-M-Code: M-7120
				M-7220
				M-7320
				M-7620
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		5 m ► 1.17 h		
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		10 m ► 2.33 h		

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

Tab. 45 Katalogblatt 45: *Erhaltungsmassnahme: Inlining*

ID-M-Code:	M-7120
	M-7220
	M-7320
	M-7620

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7120	2.00	1.50	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-7220	2.00	1.50	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
M-7320	2.00	1.50	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
M-7620	2.00	1.50	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- keine

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, EP1/EP2/EP3

Tab. 46 Katalogblatt 46: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Leitungen*

ID-M-Code:	M-7130 M-7230 M-7330
-------------------	---

(keine Abbildung)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Leitungen / Schächte	ID-M-Code: M-7000
Massnahmen-Art:	Leitungen resp. Kabelschutzrohre im Bankett Leitungen im WELK Entwässerungsleitungen unter der Fahrbahn	M-7100 M-7200 M-7300
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ²	M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> • M-7130 bedingt <u>zwingend</u> M-6320 (Ersatz Bankett mit Leitungen bzw. KSR im Bankett) • M-7230: keine • M-7330 bedingt <u>eine</u> der folgenden weiteren Erhaltungsmassnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • M-5300ff Belagsersatz (Gussasphalt) • M-5400ff Belagsersatz (Walzasphalt) • M-5520 Gesamtersatz Betonfahrbahnplatte 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> • Leitung ausbauen / einbauen <p>M-7330 beinhaltet noch zusätzlich:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aushub des Unterbaus • Grabenfüllung inkl. Verdichten nach Verlegung der Leitungen • Erstellen Planum 		<ul style="list-style-type: none"> • Leitungen aus Guss, Edelstahl, Kunststoff (Polyethylen)
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> • Neuwertige Leitungen 		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1 Typ 2a Typ 2b	ID-S-Code:
• M-7130	x x x	• S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser
• M-7230	x x	
• M-7330	x	

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 46 Katalogblatt 46: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Leitungen*

ID-M-Code:	M-7130				
	M-7230				
	M-7330				
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), viele m':	Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), viele m':	+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode				
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	1.000 (1.400 für M-7330)				
• Grundeinheit (GrE):	m'				
	ID-M-Code:	M-7130	M-7230	M-7330	
• Ersatz (1:1), viele m':		10 m ▶ 10.00 h		10 m ▶ 14.00 h	
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7130	2.00	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
M-7230	2.00	1.10	1.20	1.05	Röhren-Sperrung
M-7330	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 47 Katalogblatt 47: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Kabelrohre

ID-M-Code:

M-7140



Abb. 25 Quelle: Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-7000	
Massnahmen-Art:	Leitungen resp. Kabelschutzrohre im Bankett		M-7100	
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m ²		M-xxx4	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> M-7140 bedingt <u>zwingend</u> M-6320 (Ersatz Bankett mit Leitungen bzw. KSR im Bankett) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> Kabelrohre neu einbauen, ca. 6 Rohre 		<ul style="list-style-type: none"> Rohre aus Kunststoff (Polyethylen) 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertige Rohre 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7140 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-31 Belastungsänderung Baugrund S-41 Belastungsänderung Berg-/ Grundwasser

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 47 Katalogblatt 47: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Kabelrohre

ID-M-Code:		M-7140			
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), viele m':	Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), viele m':	+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode				
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	1.200				
• Grundeinheit (GrE):	m'				
ID-M-Code: M-7140					
• Ersatz (1:1), viele m':	10 m ► 12.00 h				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7140	1.50	1.10	1.00	1.05	Röhren-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 48 Katalogblatt 48: *Erhaltungsmassnahme: Randsteine instandsetzen*

ID-M-Code:		M-7410	
(keine Abbildung)			
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		ID-M-Code: M-7000	
Massnahmen-Art:	Randelemente	M-7400	
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2	
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:			
<ul style="list-style-type: none"> keine 			
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:	
<ul style="list-style-type: none"> entfernen von losen Teilen und Reinigung Reprofilierung (Mörtelauftrag) 		<ul style="list-style-type: none"> Beton bewehrt Polymerbeton 	
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:	
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit 		<ul style="list-style-type: none"> keine 	
Massnahmenziel und Wirkungsweise:			
<ul style="list-style-type: none"> Flickstelle Gefahrenpotenzial reduzieren 			
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b
			ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7410 	x	x	x
			<ul style="list-style-type: none"> S-11 Bewehrungskorrosion S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:			
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):			
<ul style="list-style-type: none"> Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung 			
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):			
<ul style="list-style-type: none"> Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung 			

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 48 Katalogblatt 48: *Erhaltungsmassnahme: Randsteine instandsetzen*

ID-M-Code:	M-7410
-------------------	---------------

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 2
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 0.750
- Grundeinheit (GrE): m'

ID-M-Code: M-7410

- Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: 3 m ► 2.25 h
- systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: 9 m ► 6.75 h

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7410	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 49 Katalogblatt 49: *Erhaltungsmassnahme: Schlitzrinne instandsetzen*

ID-M-Code:		M-7420		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		ID-M-Code: M-7000		
Massnahmen-Art:	Randelemente	M-7400		
Massnahmen-Typ¹:	Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch	M-xxx2		
	systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz	M-xxx3		
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> entfernen von losen Teilen und Reinigung Reprofilierung (Mörtelauftrag) 		<ul style="list-style-type: none"> Beton bewehrt Polymerbeton 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung der Funktionstüchtigkeit 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Flickstelle Gefahrenpotenzial reduzieren 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:		
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7420 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-11 Bewehrungskorrosion S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: ZK --> -1, leichte Zustandsverbesserung 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz: +5 Jahre, leichte Zustandsverbesserung 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 49 Katalogblatt 49: *Erhaltungsmassnahme: Schlitzrinne instandsetzen*

ID-M-Code:		M-7420			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):		2			
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :		0.833			
• Grundeinheit (GrE):		m'			
ID-M-Code: M-7420					
• Instandsetzung in Teilflächen / örtlich systematisch:		3 m	▶	2.50 h	
• systematische / grossflächige Instandsetzung / Teilersatz:		9 m	▶	7.50 h	
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulegistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7420	1.50	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 2 Seelisbergtunnel					
• Nr. 5 Gubristtunnel					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulegistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 50 Katalogblatt 50: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Randsteine*

ID-M-Code:				M-7430
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:				ID-M-Code: M-7000
Massnahmen-Art:	Randelemente			M-7400
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m'			M-xxx4
	Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock			M-xxx5
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
M-7430 bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5220 Ersatz Randfugen (Fahrbahn) • M-6210 Ersatz Randfugen (Bankett) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> • Randsteine ausbauen / freispitzen • Randsteine einbauen, inkl. Untergiessen 		<ul style="list-style-type: none"> • Beton bewehrt • Polymerbeton 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> • keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Teilersatz mit Neuwert 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:				Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> • M-7430 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • S-11 Bewehrungskorrosion • S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), viele m': Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz (1:1), viele m': +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode • Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 50 Katalogblatt 50: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Randsteine*

ID-M-Code:		M-7430			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	1.500				
• Grundeinheit (GrE):	m'				
ID-M-Code: M-7430					
• Ersatz (1:1), viele m':	3 m	▶ 4.50 h			
• Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock:	9 m	▶ 13.50 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7430	2.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 51 Katalogblatt 51: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Schlitzrinne*

ID-M-Code:

M-7440

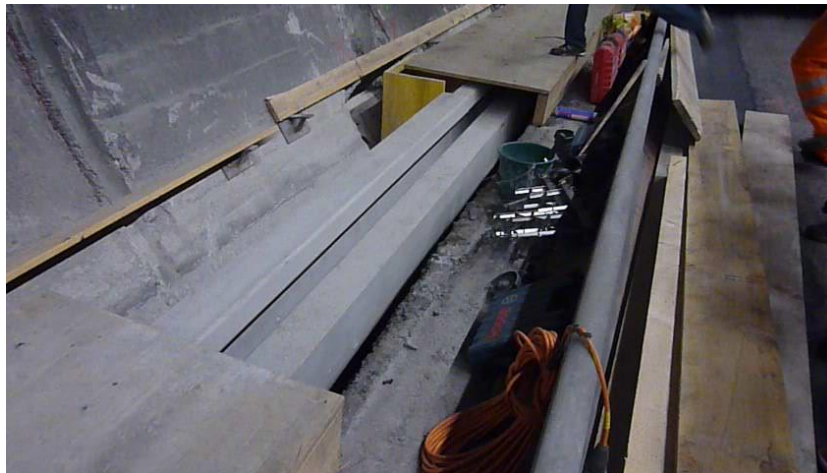


Abb. 26 Quelle: Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel (EBP Schweiz AG)

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Leitungen / Schächte	ID-M-Code: M-7000		
Massnahmen-Art:	Randelemente	M-7400		
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele m' Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock	M-xxx4 M-xxx5		
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
M-7440 bedingt <u>zwingend</u> folgende weitere Erhaltungsmassnahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> • M-5220 Ersatz Randfugen (Fahrbahn) • M-6210 Ersatz Randfugen (Bankett) 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:	Anwendung bei Bauwerksteilen aus:			
<ul style="list-style-type: none"> • Schlitzrinne ausbauen / freispitzen • Schlitzrinne einbauen, inkl. Untergiessen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beton bewehrt • Polymerbeton 			
Chancen:	Gefahren / Unsicherheiten³:			
<ul style="list-style-type: none"> • Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 	<ul style="list-style-type: none"> • keine 			
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> • Teilersatz mit Neuwert 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:	Geeignet für folgende Schadensprozesse:			
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> • M-7440 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> • S-11 Bewehrungskorrosion • S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 51 Katalogblatt 51: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Schlitzrinne*

ID-M-Code: M-7440

Effektivität und Langzeitverhalten⁵:

Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):

- Ersatz (1:1), viele m': Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)
- Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)

Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):

- Ersatz (1:1), viele m': +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode
- Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode

Attribute für Kostenermittlung:

- Personal (MA): 2
- Dauer (Stunden pro GrE)⁶: 1.667
- Grundeinheit (GrE): m'

ID-M-Code: M-7440

- Ersatz (1:1), viele m': 3 m ► 5.00 h
- Ersatz (1:1), ganzer Tunnelblock: 9 m ► 15.00 h

Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:

ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7440	2.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung

Fallbeispiele⁸:

- Nr. 4 Gotschnatunnel
- Nr. 6 Tunnel Belchen
- Nr. 8 Sonnenbergtunnel
- Nr. 9 Reussporttunnel

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 52 Katalogblatt 52: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Siphonschacht Abdeckung*

ID-M-Code:

M-7510



Abb. 27 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Leitungen / Schächte	ID-M-Code: M-7000
Massnahmen-Art:	Schächte	M-7500
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele Stk	M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> bestehende Abdeckung entfernen und entsorgen neue Abdeckung liefern und versetzen 		<ul style="list-style-type: none"> Abdeckung aus Guss, Polymerbeton, Edelstahl
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Teilersatz, Verbesserung der Dichtigkeit 		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1 Typ 2a Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7510 	<ul style="list-style-type: none"> x x x 	<ul style="list-style-type: none"> S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 52 Katalogblatt 52: Erhaltungsmassnahme: Ersatz Siphonschacht Abdeckung

ID-M-Code:		M-7510			
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	ZK --> -2, deutliche Zustandsverbesserung				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	+15 Jahre, deutliche Zustandsverbesserung				
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	1.250				
• Grundeinheit (GrE):	Stk				
ID-M-Code: M-7510					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	1 Stk ► 1.25 h				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7510	2.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 53 Katalogblatt 53: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Siphonschacht*

ID-M-Code:		M-7520		
<i>(keine Abbildung)</i>				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:			ID-M-Code: M-7000	
Massnahmen-Art:			Schächte M-7500	
Massnahmen-Typ¹:			Ersatz (1:1), viele Stk M-xxx4	
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> bestehenden Schacht abbrechen und entsorgen neuen Schacht als Ortsbeton oder Fertigelement erstellen resp. versetzen 		<ul style="list-style-type: none"> Abdeckung aus Guss, Polymerbeton, Edelstahl Schacht aus Beton, Polymerbeton 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertiger Siphonschacht 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7520 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele Stk: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele Stk: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 53 Katalogblatt 53: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Siphonschacht*

ID-M-Code:		M-7520			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	6.50				
• Grundeinheit (GrE):	Stk				
ID-M-Code: M-7520					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	1 Stk	▶ 6.50 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7520	2.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 54 Katalogblatt 54: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Kontroll-/ Einlaufschacht*

ID-M-Code: M-7530



Abb. 28 Quelle: *Cityring Luzern, Sonnenbergtunnel (EBP Schweiz AG)*

Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:	Leitungen / Schächte	ID-M-Code: M-7000
Massnahmen-Art:	Schächte	M-7500
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele Stk	M-xxx4
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:		
<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:
<ul style="list-style-type: none"> bestehenden Schacht abbrechen und entsorgen neuen Schacht als Ortsbeton oder Fertigelement erstellen resp. versetzen 		<ul style="list-style-type: none"> Abdeckung aus Guss, Polymerbeton, Edelstahl Schacht aus Beton, Polymerbeton
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine
Massnahmenziel und Wirkungsweise:		
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertiger Kontroll-/ Einlaufschacht 		
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:		Geeignet für folgende Schadensprozesse:
ID-M-Code:	Typ 1 Typ 2a Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7530 	<ul style="list-style-type: none"> x x x 	<ul style="list-style-type: none"> S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

Tab. 54 Katalogblatt 54: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Kontroll-/ Einlaufschacht*

ID-M-Code:		M-7530			
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:					
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand)				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	+25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode				
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	6.000				
• Grundeinheit (GrE):	Stk				
ID-M-Code: M-7530					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	1 Stk ► 6.00 h				
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7530	2.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätkosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Tab. 55 Katalogblatt 55: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Kabelschacht*

ID-M-Code:		M-7540		
(keine Abbildung)				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende Bauwerksteile:		ID-M-Code: M-7000		
Leitungen / Schächte				
Massnahmen-Art:	Schächte	M-7500		
Massnahmen-Typ¹:	Ersatz (1:1), viele Stk	M-xxx4		
Bauliche Abhängigkeit zu anderen Erhaltungsmassnahmen²:				
<ul style="list-style-type: none"> keine 				
Beschreibung Erhaltungsmassnahme:		Anwendung bei Bauwerksteilen aus:		
<ul style="list-style-type: none"> bestehenden Schacht abbrechen und entsorgen neuen Schacht als Ortsbeton oder Fertigelement erstellen resp. versetzen 		<ul style="list-style-type: none"> Abdeckung aus Guss, Polymerbeton, Edelstahl Schacht aus Beton, Polymerbeton 		
Chancen:		Gefahren / Unsicherheiten³:		
<ul style="list-style-type: none"> Wiederherstellung Neubauqualität (1:1 Ersatz) 		<ul style="list-style-type: none"> keine 		
Massnahmenziel und Wirkungsweise:				
<ul style="list-style-type: none"> Neuwertiger Kabelschacht 				
Erhaltungsmassnahme geeignet für folgende repräsentative Strassentunneltypen⁴:			Geeignet für folgende Schadensprozesse:	
ID-M-Code:	Typ 1	Typ 2a	Typ 2b	ID-S-Code:
<ul style="list-style-type: none"> M-7540 	x	x	x	<ul style="list-style-type: none"> S-12 Betonangriff / Gefügezerstörung
Effektivität und Langzeitverhalten⁵:				
Sofortwirkung (Veränderung der Zustandsklasse):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele Stk: Wiederherstellung der Zustandsklasse 1 (neuwertiger Zustand) 				
Langzeitwirkung (Verlängerung der (Rest)Nutzungsdauer):				
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz (1:1), viele Stk: +25 Jahre, Verlängerung um mind. eine Instandsetzungsperiode 				

¹ Massnahmenausdehnung und -umfang

² Die bauliche Ausführung der betroffenen Erhaltungsmassnahme bedingt die vorgängige Ausführung einer anderen Erhaltungsmassnahme z.B. bedingt die Erhaltungsmassnahme «Binderschicht ersetzen» per se die Erhaltungsmassnahme «Deckbelag ersetzen»

³ Nicht berücksichtigt werden Gefahren / Unsicherheiten in Folge von: nicht sachgemässer Anwendung und/oder Verarbeitung des Materials gemäss Produktdatenblatt, falscher Lagerung des Materials, nicht Beachtung der Aussentemperatur bei der Auftragung des Materials, fehlende oder unzureichende Behandlung der Kontaktfläche, fehlende oder unzureichende Vor- und Nachbehandlung des aufgetragenen Materials

⁴ **Typ 1:** Hufeisenprofil, **Typ 2a:** Kreisprofil (WELK ohne Hinterfüllung), **Typ 2b:** Kreisprofil (WELK mit Hinterfüllung)

⁵ Bezogen auf Bauwerksteil

Tab. 55 Katalogblatt 55: *Erhaltungsmassnahme: Ersatz Kabelschacht*

ID-M-Code:		M-7540			
Attribute für Kostenermittlung:					
• Personal (MA):	2				
• Dauer (Stunden pro GrE) ⁶ :	7.00				
• Grundeinheit (GrE):	Stk				
ID-M-Code: M-7540					
• Ersatz (1:1), viele Stk:	1 Stk	▶ 7.00 h			
Qualitative Angaben zum theoretischen Ausführungsaufwand⁷:					
ID-M-Code:	Material	Maschinen und Geräte	Baulogistik / Zugang	Installationsgrad	temp. Verkehrsführung und Betrieb
M-7540	2.00	1.10	1.00	1.05	1-Spur-Sperrung
Fallbeispiele⁸:					
• Nr. 1 Gotthard-Strassentunnel, 1. Röhre					
• Nr. 4 Gotschnatunnel					
• Nr. 6 Tunnel Belchen					
• Nr. 8 Sonnenbergtunnel					
• Nr. 9 Reussporttunnel					

⁶ Beinhaltet nur die effektiven Arbeitsstunden vor Ort, ohne Versetzungszuschlag zum Arbeitsort, bei mehreren Arbeitsschritten wurde der Durchschnittswert verwendet

⁷ **Anteile als Kostenzuschlag:**

Materialkosten und -aufwand: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Massnahmenspezifische Gerätekosten: kein (0%) > 1.0, klein (+10%) > 1.1, mittel (+50%) > 1.5, gross (+100%) > 2.0

Baulogistik / Zugang: normal > 1.0, erschwerte Zugänglichkeit > 1.2 (z.B. Arbeiten auf Zwischendecke oder im WELK etc.)

Installationsgrad: klein > 1.05, mittel > 1.15, gross > 1.25

TESI / Betrieb: es ist festzulegen, ob die Arbeiten unter Betrieb (ausserhalb der Fahrbahn), bei einer 1-Spur-Sperrung oder nur unter Röhren-Sperrung ausgeführt werden können. Darauf basierend wird der Kostenanteil TESI und Betrieb errechnet. Die minimale Randbedingung ist angegeben.

⁸ Gemäss Anhang I, Schlussberichte EP1/EP2/EP3

Glossar

Begriff	Bedeutung
Akzeptiertes Risiko	In seiner Grösse bekanntes, durch den Konsens der Beteiligten bewusst hingenommenes Risiko
Attribut	Beschreibt die Eigenschaft u.a. eines Datenfeldes in einer Tabelle
Bauart	Bauart (BA), beschreibt die Materialisierung z.B. eines Bauwerkteils
BA	Bauart, Materialisierung gemäss Grundlagenkatalog EP1
Bauwerkserhaltung	Gesamtheit der Tätigkeiten und Massnahmen zur Sicherstellung des Bestandes sowie der materiellen und kulturellen Werte eines Bauwerks. Die Bauwerkserhaltung ist der bauspezifische Teil der der Bauwerksbewirtschaftung. Sie beginnt nach erfolgter Inbetriebnahme eines Bauwerks und erstreckt sich über dessen gesamte Nutzungsdauer. Nicht zur Bauwerkserhaltung gehören die Verwaltung und der eigentliche Betrieb des Bauwerks.
Bauwerksteil	Element der Bauwerksgliederung (BWT), tiefste Ebene als Bewertungseinheit bei Zustandserfassung
BE	Befund (visuell) gemäss Grundlagenkatalog EP1
Befund	Befunde (BE) beschreiben Abweichungen vom Sollzustand. Als solche beschreiben sie die vor Ort festgestellten Fakten. Befunde können, müssen aber nicht, Schäden entsprechen (z.B. auch Baumängel, Schwachstellen Tragwerk, u.a. [Ergänzung GPL]). Sie können aus Ereignissen (z.B. Anprall) oder Schadensprozessen (z.B. Korrosion im Stahlbeton) resultieren.
Beobachtung	Die Beobachtung besteht aus einfachen Kontrollen zur Überprüfung der Gebrauchstauglichkeit. Sie umfasst auch die Überprüfung der Nutzung der Bauwerke und der Funktionstauglichkeit der technischen Anlagen. Dabei geht es insbesondere darum, zu überprüfen, ob sie den Nutzungs- und Betriebsanweisungen entsprechen. Die Beobachtung erfolgt in der Regel im Rahmen des Betriebs. Überprüfen der Gebrauchstauglichkeit durch einfache und regelmässige, in der Regel visuelle Kontrollen.
BIM	Building Information Modeling: Methode zur digitalen Planung und dem Betreiben von Bauwerken
BSA EES	Betriebs- und Sicherheitsausrüstungen (BSA) <i>Französisch: équipements d'exploitation et de sécurité (EES)</i>
BWT	Bauwerksteil gemäss Grundlagenkatalog EP1
BWT x BA	Bauteilart gemäss Grundlagenkatalog EP1; ist Kombination von Bauwerksteil und Bauart
Diagnostik	Gesamtheit aller Massnahmen, die zur Erkennung von Schadensbildern aufgrund von unterschiedlichen Schadensprozessen auftreten.
Untersuchungsmethode	Methoden, Prüfverfahren zur Untersuchung am Bauwerk, d.h. für die Überwachung und Überprüfung des Bauwerkszustands (EP2: USM, im Teilprozess Überwachung)
EP	Einzelprojekt = Teilprojekt des Forschungsauftrag / auch: Fachbereich Erhaltungsplanung des ASTRA
Ereignis	Veränderung des Zustands eines Systems, der Konsequenzen zugeordnet werden können. Ein Ereignis kann plötzlich auftreten oder sich langsam und allmählich einstellen.
Erhaltungsmassnahme	Eine Erhaltungsmassnahme ist jene Massnahme, welche die Substanz eines bestehenden Teils der Strasseninfrastruktur wesentlich verändert.
Erhaltungsplanung	Ausarbeiten eines Erhaltungskonzeptes für einen festgelegten Zeitabschnitt (mittels Optimierung von Erhaltungsvarianten). Beim ASTRA Bezeichnung des gleichnamigen Fachbereichs
FaS	Fachspezialistin / Fachspezialist ASTRA, u.a. für die Erhaltungsplanung
Gefahr	Als Gefahr wird die Möglichkeit bezeichnet, durch ein Ereignis einen Schaden zu erleiden. Der Zeitpunkt des Eintrittes, die Art und das Ausmass des Schadens sind nicht bekannt.
Gefährdung	Gefahr, die sich auf ein bestimmtes System bezieht
Gefährdungsbild	Szenario, das als Grundlage zur Darstellung von Gefährdungen dient

Inspektion	Feststellen des Zustandes durch gezielte, in der Regel visuelle und einfache Untersuchungen mit Bewertung desselben; u.a. als Haupt- Zwischen oder Sonderinspektion.
Instandhaltung	Die Instandhaltung beinhaltet die geplanten Tätigkeiten gemäss dem Unterhaltsplan und die Behebung kleiner Schädigungen. Diese Tätigkeiten haben vorwiegend präventiven Charakter.
Kleiner baulicher Unterhalt	umfasst jene Massnahmen, welche die Substanz der Strasseninfrastruktur nicht oder nicht wesentlich verändern (z.B. Wartung, Reinigung oder Instandhaltung).
Konsequenz	Durch ein Ereignis beziehungsweise eine Einwirkung verursachter Nutzen (positive Konsequenz) oder Schaden (negative Konsequenz)
KI AI	Künstliche Intelligenz <i>englisch:</i> artificial intelligence
Kontrollmessung	Messtechnisches Überwachen ausgewählter Kenngrössen: Das Ziel von Kontrollmessungen ist das rechtzeitige Erkennen eines abnormalen Verhaltens oder das Erreichen eines vorgegebenen Grenzwertes im Betrieb.
Kostenmodell	Systematische Ermittlung von Kosten (vgl. EP5)
KUBA	Datenbank des ASTRA fürs Erhaltungsmanagement für Kunstbauten und Tunnel
Massnahme	Technische (betriebliche, bauliche), organisatorische oder personelle Vorkehrungen, um ein System zu verändern und die Sicherheit zu beeinflussen.
Massnahmentyp	Umfasst die Massnahmenausdehnung /-umfang
M.-Katalog	Grundlagenkatalog Erhaltungsmassnahmen (ESM)
Planungseinheit	Örtlich zusammenhängende Teilmenge eines Objekts (hier bergmännischer Tunnel) bestehend aus Bauwerksteil und geometrische Ausdehnung, auf welche eine oder mehrere identische Erhaltungsmassnahmen angewendet werden.
PoF	Probability of Failure (Ausfallwahrscheinlichkeit, hier: Eintretenswahrscheinlichkeit eines Gefährdungsszenarios)
Projektgenerierung	Prozessschritt innerhalb der Erhaltungsplanung in der Verantwortung des Erhaltungsmanagement des ASTRA, bei welchem das Objekt dem Projektmanagement übergeben wird, um Erhaltungsmassnahmen zu planen und zu realisieren
Risiko	Das Risiko ist ein Mass für die Grösse einer Gefahr. Es erfasst die zu erwartenden Schäden und Verluste zahlenmässig. Im Risikobegriff enthalten sind die Häufigkeit und das Schadenausmass im Ereignisfall.
Risiko	Produkt aus der auf eine bestimmte Zeiteinheit bezogenen Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses und der quantifizierten, potenziellen Schadenfolge für Personen, Sachgüter und Umwelt.
Risikoanalyse / Risikoermittlung	Identifikation von möglichen relevanten Gefahren. Einschätzung daraus abgeleiteter Szenarien hinsichtlich Häufigkeit und der Konsequenzen
Schaden	Negative Konsequenz
S	Schadensprozess (Alterungs- und Zerfallsprozess)
Schadensprozess	Alterungs- und Zerfallsprozess, welche zu Schädigungen am Bauwerken führen (S)
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein; u.a., für Normierungen
SISTo	Sicherheits- und Infrastrukturstellen
SN	Schweizer Norm (SN)
Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	Umfasst die Vereinheitlichung von Erhaltungsmassnahmen, um auf diese Art und Weise Standards zu schaffen.
Überprüfung	Die Überprüfung hat die Beurteilung der Sicherheit und der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes hinsichtlich seiner derzeitigen und zukünftigen Nutzung zum Ziel. Sie wird veranlasst, wenn: <ul style="list-style-type: none"> • auf Grund der Überwachung Zweifel über die Bewertung des Zustandes bestehen. • die Sicherheit oder die Gebrauchstauglichkeit durch neue Erkenntnisse in Frage gestellt sind. • Unterhalts- oder Umgestaltungsmassnahmen für das Bauwerk vorgesehen sind. • Nutzungsänderungen für das Bauwerk vorgesehen sind
Überwachung	Die Überwachung hat zum Ziel, die Prognose über das Tragwerkverhalten zu verifizieren und ein unvorhergesehenes Tragverhalten, Schädigungsmechanismen und Gefährdun-

	gen möglichst frühzeitig zu erkennen. Zur Überwachung zählen Beobachtungen, Inspektionen und Kontrollmessungen. Die Überwachung ist auch eine Phase des gleichnamigen Teilprozesses "Überwachung gemäss Grundnorm.
Unterhalt	Bewahren oder Wiederherstellen eines Bauwerks ohne wesentliche Änderung der Anforderungen
U.-Katalog	Grundlagenkatalog Untersuchungsmethoden (USM / Diagnostik)
Verhältnismässigkeit von Massnahmen	Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen von Erhaltungsmaßnahmen mit dem Ziel eines effizienten Mitteleinsatzes.
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)
WELK	Werkleitungskanal
Wirksamkeit	Mass für die Wirkung einer Massnahme. Die Wirksamkeit einer Massnahme entspricht der erzielbaren Risikominderung.
Zustandsbeurteilung	Resultat Überwachung vor allem Überprüfung von Bauwerken; Zusammenfassende Analyse und Bewertung der Informationen über den aktuellen Zustand und die bisherige Zustandsentwicklung, verbunden mit einer Voraussage der weiteren Zustandsentwicklung und deren Konsequenzen im Laufe einer festgelegten Restnutzungsdauer.
Zustandsbewertung	Resultat der Inspektion; Qualitative und quantitative Bewertung des Zustandes des Bauwerkes und der Bauwerksteile.
Zustandserfassung	Beschaffung von Informationen über den aktuellen Zustand und die bisherige Zustandsentwicklung mit dem Ziel, wesentliche Mängel, Schäden und Schädigungsmechanismen zu erkennen
Zustandsklasse	Systematische Bewertung deren Dokumentation des Zustandes in Klassen; CH: von ZK1 gut bis ZK5 alarmierend
Zustandsverlauf	Zeitliche Entwicklung des Zustandes, u.a. eines Bauwerks oder Bauwerkteil

Literaturverzeichnis

Weisungen und Richtlinien des ASTRA

- [1] Bundesamt für Strassen ASTRA (2002), „**Berücksichtigung des Unterhalts bei der Projektierung und beim Bau der Nationalstrassen Planung und Durchführung des Unterhalts (ASTRA RiLi 11002)**“, Bundesamt für Strassen ASTRA, Abteilung Strassennetze, Standards, Forschung, Sicherheit, 3003 Bern.
- [2] Bundesamt für Strassen ASTRA (2005), „**Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen (ASTRA RiLi 12002)**“, Bundesamt für Strassen ASTRA, Abteilung Strassennetze, Standards, Forschung, Sicherheit, 3003 Bern.
- [3] Bundesamt für Strassen ASTRA (2012), „**KUBA 5.0 Fachapplikation Kunstbauten und Tunnel: Datenerfassungshandbuch (ASTRA RiLi 62014)**“, Bundesamt für Strassen ASTRA, Abteilung Strassennetze, Standards, Forschung, Sicherheit, 3003 Bern.

Normen

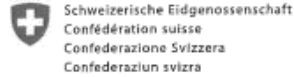
- [4] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (1997), „**Erhaltung von Bauwerken (SN 588469:1997)**“, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 8039 Zürich.
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2011), „**Erhaltung von Tragwerken - Betonbau (SN 505269/2:2011)**“, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 8027 Zürich.
- [6] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (2011), „**Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken (SN 505269:2011)**“, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 8027 Zürich.
- [7] Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute VSS / SNV Schweizerische Normen-Vereinigung (2010), „**Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen**“.
- [8] Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute VSS / SNV Schweizerische Normen-Vereinigung (2013), „**Erhaltungsmanagement (EM): Grundlagen zur Kostenberechnung im Erhaltungsmanagement (SN 640 907)**“.
- [9] Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute VSS / SNV Schweizerische Normen-Vereinigung (2022), „**Erhaltungsmanagement (EM): Grundnorm(SN 640 900)**“.

Dokumentation

- [10] Steiger, A. (2008), „**Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke: Forschungsauftrag AGB 2002/014**“, ASTRA.
- [11] AFGC (2003), « **Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion** ».
- [12] AFTES GT 9 (2006), « **Traitement des arrêts d'eau dans les ouvrages souterrains** ».
- [13] Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain AFTES (2013), « **Méthodologie d'aide à la gestion patrimoniale d'un parc d'ouvrages souterrains** », GT14R8F1.
- [14] Beeler, P. & Weishaupt, R. (2024), „**Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunnel: EP1 - Schadensprozesse und Langzeitverhalten bei Tunnel**“, *Forschungsprojekt AGT2020-101 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)*.
- [15] Brühwiler, E., Denarié, E., Wälchli, T., Maître, M. & Conciatori, D. (2005), „**Dauerhafte Kunstbauten bei geringem Unterhalt – Ausgewählte Kapitel**“, VSS Bericht, Forschungsauftrag AGB2000/173.
- [16] Bundesamt für Strassen ASTRA (2020), „**Netzzustandsbericht der Nationalstrassen 2020**“, Ausgabe 2020, Bern.
- [17] Stefan, C., Grunicke, U. H., Prändl-Zika, V., Weninger-Vycudil, A., Hula, A., Van Linn, A., Brozek, B., Prammer, D. & Mellert, L. D. (2020). „**Optimierte Instandsetzungsplanung der tunnelspezifischen baulichen und elektromaschinellen Ausrüstung mittels LCA (OPTimAL)**“, Forschungsbericht. FFG.
- [18] Holst, R. (2002). „**Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstrassennetz Stufe 1 und 2**“, Schlussbericht zum AP-Projekt 99 245.
- [19] Holst, R. (2005). „**Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstrassennetz Stufe 3**“, Schlussbericht zum AP-Projekt 02 244/B4.
- [20] Hunkeler, F., Ungricht, H. & Schiegg, Y. (2001). „**Eignung zweier Inhibitoren (MFP und Sika FerroGard-903) zur Instandsetzung von chloridbelasteten Stahlbetonbauten**“, ASTRA.
- [21] Emch + Berger (2010). „**Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten- Synthesebericht**“.
- [22] Fries, T. (2024), „**Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunnel - Synthesebericht**“, *Forschungsprojekt AGT2020-101 bis -105 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)*.
- [23] Kramer, H., Fischer, B. & Löwe, C. (2014). „**Langzeit-Beständigkeit von Tunnel-Abdichtungssystemen aus Kunststoffen (Best TASK)**“, Forschungsprojekt FGU 2004/002, ASTRA.

-
- [24] Ungricht, H. (2007). „**Instandsetzung von Galerien - Wirkung und Wirksamkeit der ergriffenen Massnahmen**“, Forschungsauftrag AGB 2005/025, ASTRA.
-
- [25] Haydin, R. (2024), „**Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln: EP4 - Entwicklung eines Entscheidungsmodells**“, *Forschungsprojekt AGT2020-104 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)*.
-
- [26] ITA Working Group 6 Maintenance and Repair of Underground structures (2001), „**Study of methods for repair of tunnel linings**“.
-
- [27] ITA Working Group on Maintenance and Repair of Underground structures (1991), „**Report on the Damaging Effects of Water on Tunnels During Their Working Life**“, *Tunneling and Underground Space Technology*.
-
- [28] Kern Tunneltechnik (2021). „**Engelberg - Progress update**“, <https://www.kern-tunneltechnik.com/en/article/337/engelberg-progress-update>.
-
- [29] Lunardi, G., Belfiore, A., Selleri, A. & Trapasso, R. (2014). „**Widening the “Montedomini” tunnel in the presence of traffic: The evolution of the “Nazzano” method**“, *Proceedings of the ITA-AITES World Tunnel Congress*.
-
- [30] Matsch, S., Wacker, S. & Heller, H. (2024), „**Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunnel: EP2 - Diagnostik - Überwachungs- und Inspektionsmethoden**“, *Forschungsprojekt AGT2020-102 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)*.
-
- [31] Modetta, F., Arigoni, A., Saviani, S., Grossauer, K. & Hohermuth, M. (2019). „**A workflow process for tunnels maintenance. The case of the Construction Method developed for Rhaetian Railways (UNESCO World Heritage Site)**“, 127–136.
-
- [32] Rexroth (2017), „**Hydraulic Motors for the Tunnel Machine: Machine builder Palmieri has developed a new type of machine for an unusual tunnel project in Italy. Bosch Rexroth designed and delivered the hydraulic system for it**“, <https://m.boschrexroth.com/boschrexroth/inm/en/web/xc/trends-and-topics/technology/hydraulic-motors-for-the-tunnel-machine>.
-
- [33] Meier, S. (2006). „**Untersuchung der Wirkung unterschiedlicher Oberflächenschutzkonzepte**“, ASTRA.
-
- [34] Meier, S., Folker, E. & Wittmann, H. (2005). „**Hydrophobieren von Betonoberflächen - Empfehlungen für Planung und Applikation**“, Forschungsauftrag AGB 2002/029, ASTRA.
-
- [35] Stempfel, B. & Dell'Antonio, M. (2016), „**Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln - Initiaiprojekt**“, *Forschungsprojekt AGT 2014/001 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)*.
-
- [36] Stempfel, B. & Schädler, B. (2024), „**Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln: EP5 - Kostenmodell**“, *Forschungsprojekt AGT2020-105 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT)*.
-
- [37] STUVA (2011), „**Dauerhaftigkeit von Übergängen zwischen unterschiedlichen Abdichtungssystemen**“.
-
- [38] US department of transportation (2004), „**Highway and Rail Transit Tunnel Maintenance and Rehabilitation Manual**“.
-
- [39] VSS (2008), „**Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen Einzelprojekt 1, standardisierte Erhaltungsmassnahmen**“, *Forschungsauftrag VSS 2004/715*.
-

Projektabschluss



Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK Formular Nr. 3: Projektabschluss

Version vom 09.10.2013

erstellt / geändert am: 26.05.2023 /

Grunddaten

Projekt-Nr.: AST 2020/103
Projekttitel: Forschungspaket Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln;
Einzelprojekt EP3 – Festlegung von standardisierten Erhaltungsmaßnahmen pro Schadensprozess
Enddatum: 07.08.2023

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Im Rahmen des übergeordneten Projekts "Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunneln" werden im vorliegenden Forschungsprojekt EP3 "Festlegung von standardisierten Erhaltungsmaßnahmen pro Schadensprozess" die bekannten und erprobten Massnahmen für die bauliche Instandsetzung von bergmännischen Strassentunneln in einem Massnahmenkatalog zusammengetragen.

Der aus dem EP3 resultierende Grundlagenkatalog der Erhaltungsmaßnahmen (M.-Katalog) umfasst für jeden möglichen und bekannten Schadensprozess mindestens 3 nachweislich wirksame Erhaltungsmaßnahmen. Zudem umfassen die Erhaltungsmaßnahmen alle relevanten Informationen, die für eine wirksame und effiziente Massnahmenplanung notwendig sind.

Der datenbankkompatible M.-Katalog - als zentrales «Produkt» des Forschungsprojekts EP3 - wurde von Grund auf neu erarbeitet und strukturiert aufgebaut. Bei der Systematisierung der Erhaltungsmaßnahmen wurde grosser Wert auf die Praxistauglichkeit und Einfachheit gelegt, so dass die zukünftigen Anwender keine vertieften Spezialkenntnisse haben müssen, um den Katalog anzuwenden oder diesen zu erweitern. Die Erhaltungsmaßnahmen wurden nach der Bauwerksteilgliederung systematisiert, welche zugleich auch die oberste Hierarchiestufe der Systematisierung darstellt. In einer weiteren Abstufung wurden die Erhaltungsmaßnahmen nach der Massnahmenart systematisiert. Die Erhaltungsmaßnahmen im Katalog sind verknüpft mit den im parallel erarbeiteten Einzelprojekt EP1 definierten Schadensprozessen sowie mit der Bauteilart, welche die Bauwerksteile eines Tunnels sowie dessen Materialisierung beschreibt.

Der Katalog enthält für jede beschriebene Erhaltungsmaßnahme folgende relevante Informationen:

- Beschreibung der Erhaltungsmaßnahme
- Zuordnung zu Schadensprozessen, Bauteilart und Tunneltyp
- Beschreibung der Chancen und Gefahren/Unsicherheiten der Massnahmen
- Beschreibung des Massnahmenziels und der Wirkungsweise
- Attribute für den Personal- und Ausführungsaufwand als Grundlage für die Kostenschätzung durch das Einzelprojekt EP5
- Hinweise zur Sofort- und Langzeitwirkung der Erhaltungsmaßnahmen als Grundlage für das Entscheidungsmodell des Einzelprojekts EP4
- Fallbeispiele

Die Ausgabe des umfangreichen datenbankkompatiblen M.-Katalogs auf Papier ist weder in Bezug auf das Format noch auf die Lesbarkeit für den Benutzer praktikabel. Für die bessere, praxisnahe Anwendbarkeit des Katalogs, wurden für alle Erhaltungsmaßnahmen spezifische Katalogblätter generiert, welche alle Informationen aus dem Katalog einheitlich strukturiert und gut lesbar darstellen.

Zielerreichung:

Die Anforderungen an die Ergebnisse des Forschungsprojekts EP3 gemäss Pflichtenheft wurden vollständig und gut erfüllt. Die Ergebnisse werden grundsätzlich als vollständig, nützlich, zweckmässig und dem Stand des Wissens und der Praxis entsprechend beurteilt.

Im Schlussbericht detailliert dokumentiert ist der umfangreiche, verknüpfte und datenbankfähige Katalog der Erhaltungsmaßnahmen als der zentrale Beitrag des EP3 an das übergeordnete Ziel zur Verbesserung der Systematisierung der Erhaltungsplanung und zur Sicherstellung von stabilen Erhaltungsentscheidungen und kostenwirksamen Massnahmen.

Dem Ansatz der «Good Practices» bzw. der geforderten Praxistauglichkeit wurde u. a. mit der Erstellung der Katalogblätter der Erhaltungsmaßnahmen Rechnung getragen. Diese sollen in der Praxis als Nachschlagewerk Anwendung finden. Zudem zeigen die Faktenblätter zu den Fallbeispielen typischer Strassentunnel die Einbettung von Erhaltungsmaßnahmen in der Praxis des Erhaltungsmanagements von Tunneln auf.

Im Schlussbericht wird basierend auf den Erkenntnissen aus dem Forschungsprojekt weiterer möglicher Entwicklungs- / Forschungsbedarf aufgezeigt.

Folgerungen und Empfehlungen:

Im Forschungsprojekt EP3 wurden in diesen vier Bereichen nachfolgende Empfehlungen abgegeben:

- 1. Integration in zukünftiges Erhaltungsmanagement-System:**
 - Die von den Forschungsprojekten EP1 bis EP3 definierten Schadensprozesse, Untersuchungsmethoden, Erhaltungsmaßnahmen etc. sind in einer zukünftigen Datenbankanwendung fürs Erhaltungsmanagement von Tunneln zu integrieren, das BIM-fähig sein muss.
- 2. Hauptinspektion (HI), Vorgaben anpassen:**
 - Es wird empfohlen, dass die Strukturierung, die Befunde und die vom Inspektor vorgeschlagenen Massnahmen auf die von den Forschungsprojekten EP1 und EP3 definierten Bauwerkstil-Ebenen und Massnahmentypen fokussiert und ausgerichtet werden.
- 3. Verifizieren der Attribute für die Kostenermittlung:**
 - Es wird empfohlen die gemäss der Bottom-Up-Methode geschätzten Attribute für den Personalaufwand und den theoretischen Ausführungsaufwand von Experten (z.B. von Bauunternehmern) überprüfen zu lassen.
- 4. Beurteilung der Wirkung des M.-Katalogs hinsichtlich des übergeordneten Ziels:**
 - Um dies deskriptiv und eindeutig beurteilen zu können, müssen punktuelle Vergleiche zwischen gegenübergestellten Erhaltungsprojekten durchgeführt werden. Diese Projekte sollen parallel auf der Grundlage der neu entwickelten Methodologie und der traditionellen projektbasierten Arbeitsweise erstellt und vor der Ausführung evaluiert werden.

Publikationen:

- keine -

Die durch das EP3 erstellten Katalogblätter der Erhaltungsmaßnahmen können den beim Erhaltungsmanagement von Tunneln beteiligten Fachpersonen als Praxishilfe / Nachschlagewerk zur Verfügung gestellt werden. Dies als downloadbare pdf-Dateien z.B. auf der Website des ASTRA.

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Portner

Vorname: Jürg

Amt, Firma, Institut: EBP Schweiz AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Der Bericht EP3 «Festlegung von standardisierten Erhaltungsmaßnahmen je Schadensprozess» für bergmännische Tunnel ist verständlich aufgebaut, klar und gut formuliert. Mit dem EP3 wird ein Massnahmenkatalog zur Verfügung gestellt, in welchem alle in der Schweiz relevanten und erprobten Massnahmen für die bauliche Instandsetzung berücksichtigt sind. Die Erhaltungsmaßnahmen pro Schadensprozess sind gut systematisiert und in Abhängigkeit ihrer Folgekosten, Wirksamkeit und Effektivität kategorisiert. Die dargelegten Erhaltungsmaßnahmen liefern wertvolle Informationen und dienen der zweckmässigen Massnahmenplanung zur Instandsetzung und Erneuerung von bergmännischen Strassenuntertunneln.

Die Filialblätter und die Katalogblätter enthalten wertvolles Fachwissen, das der praxisgerechten Beurteilung und Massnahmenplanung dient. EP3 liefert wichtige Grundlagen für EP5 «Kostenermittlung».

Hinweise und Ergebnisse zur Berücksichtigung der erwarteten Entwicklungen von BHM sind vorhanden.

Um möglichst Datenkompatibilität unter den EPs zu erreichen, erfolgten diverse Abstimmungen, die bei der Anwendung hilfreich sein werden. Weil die Grundlagen zum EP4 (Entscheidungsmodell) zum Zeitpunkt der Fertigstellung fehlten, war die Prüfung der Kompatibilität zu diesem Einzelprojekt nur teilweise möglich.

Der Stand der Forschung und Praxis (Literatur, Fallbeispiele) ist gut dargestellt und liefert wertvolle Informationen.

Der Schlussbericht erfüllt die Erwartungen an die Zielerreichung der Forschungsarbeit gut. Die dargelegten Erhaltungsmaßnahmen je Schadensprozess dienen mit dem eingebrachten Fachwissen dem systematisierten und standardisierten Erhaltungsmanagement von Tunneln.

Die Anforderungen gemäss Pflichtauftrag wurden vollständig und gut erfüllt.

Umsetzung:

Im Massnahmenkatalog steckt viel Fachwissen. Er ist ein praxisbezogenes Dokument für das Astra (Filialen und Zentrale) und die planenden Büros. Mit der erstellten Excel-Applikation können die Erhaltungsmaßnahmen nach bestimmten Kriterien (Bauwerksteile, Schadensprozesse) gefiltert werden um sie spezifisch anzuzeigen.

Bei fachgerechter Anwendung entsteht ein deutlicher Mehrwert: schneller, systematischer am Ziel mit zuverlässigen Aussagen zu den Erhaltungsmaßnahmen je Schadensprozess bzw. zur Wahl der zweckmässigen Erhaltungsmaßnahmen. Für die Kostenermittlung (EP5) stellt das EP 3 eine wichtige Grundlage dar.

Die angestrebte Verbesserung des Erhaltungsmanagement von bergmännischen Tunnel wird aber erst erreicht, wenn es gelingt, die erarbeiteten Massnahmenkataloge für die bauliche Instandsetzung praxistauglich in das Entscheidungsmodell des EP4 zu integrieren. Die Voraussetzungen dazu sind mit dem vorliegenden Bericht geschaffen worden.

weitergehender Forschungsbedarf:

Eine künftige Implementierung und Weiterentwicklung in Datenmodellen ist möglich und sollte überlegt werden. Die künftigen Erfahrungen hinsichtlich der Wirksamkeit und Kosteneffizienz der Erhaltungsmaßnahmen je Schadensprozess sollte verfolgt werden. Ebenso sollte das Zusammenspiel mit den anderen EPs, insbesondere mit EP1 «Zustand; Schadensprozesse und Langzeitverhalten bei Tunneln», mit EP2 «Diagnostik; Überwachungs- und Inspektionsmethoden» sowie EP5 «Kostenmodell» beobachtet werden, um allfällige Verbesserungen, die aufgrund weiterer Entwicklungen und gemachten Erfahrungen entstehen, berücksichtigen zu können.

Einfluss auf Normenwerk:

Zur Zeit nicht gegeben. Die künftige Entwicklung der Normen sowie die gemachten Erfahrungen beim Erhaltungsmanagement sind im Auge zu behalten.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Ehrbar

Vorname: Heinz

Amt, Firma, Institut: Heinz Ehrbar Partners GmbH

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission: