

Instandsetzung - von Tunnels: Rampentunnels der N2 Amsteg-Meitschligen, Kanton Uri

Autor(en): **Keller, Thomas / Burri, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **111 (1993)**

Heft 40

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78250>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Instandsetzung – von Tunnels

Rampentunnels der N2 Amsteg–Meitschligen, Kanton Uri

Die zwölf Rampentunnels des N2-Teilstücks Amsteg–Meitschligen wiesen nach über zwanzig Jahren Betrieb zum Teil erhebliche Schäden auf, welche insbesondere von der Versalzung der Tunnelwände herrührten. Die erforderliche Instandsetzung erfolgte in den Jahren 1991 bis 1993. Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Zustandsaufnahme und das Instandsetzungsprojekt beschrieben. Besondere Erwähnung finden dabei die getroffenen Betonschutzmassnahmen mittels aufgeklebten Feinsteinzeugplatten.

In den Jahren 1965 bis 1971 wurde als erstes Teilstück der Nationalstrasse N2 im Kanton Uri der 3.8 km lange Ab-

VON THOMAS KELLER, ZUG,
UND FRITZ BURRI,
ERSTFELD

schnitt Amsteg–Meitschligen erbaut. Am 1. Juli 1971 fand die Teileröffnung der Bergspur (BS), Fahrriechung Gottshard, statt. Die Talspur (TS), Fahrriechung Luzern, konnte am 23. Juni 1972 dem Verkehr übergeben werden. Gesamthaft bestehen auf BS und TS je 1.84 km des 3.8 km langen Teilstücks aus sechs zweispurigen Tunnels (vgl. Tabelle 1), welche zum Teil sehr kleine Radien ($R_{min} = 200$ m) und ein durchgehendes Längsgefälle von 5% aufweisen.

Aufgrund der geologischen Verhältnisse, des Wasseranfalls sowie der Bau- und Unterhaltskosten wurden bei der Erstellung der insgesamt zwölf Rampentunnels seinerzeit unterschiedliche Ausbausysteme gewählt, welche auch innerhalb der einzelnen Tunnelröhren

oft wechseln. Tabellen 1 und 2 ergeben eine Übersicht über die insgesamt fünf Ausbautypen A–E. Diese unterscheiden sich in der Ausbildung der Gewölbe (Ortsbeton, Fels, mit oder ohne Betonplatten-Verkleidung) und den Massnahmen für den Betonschutz.

Die Betonplatten-Verkleidung setzt sich im Querschnitt aus drei 2.20 m breiten, 50 mm dicken und mit seitlichen Rippen verstärkten Platten zusammen (zwei Wand- und eine Deckenplatte). Die Ausbautypen A, B, D, und E weisen auf den Tunnelwänden bis in eine Höhe von 3.85 m über den seitlichen Gehwegen einen Zweikomponenten-Anstrich auf Epoxidharzbasis auf (Biladur-A-Emaille). Das Ortsbetongewölbe des Ausbautyps B ist zusätzlich mit einer umlaufenden Dünnschicht-Beschichtung (Sika 101a, Schichtstärke 2-3 mm), einem zementgebundenen Dichtungsmörtel versehen. Der Betonschutz des Ausbautyps C besteht aus einer vorgehängten Verbundplatten-Verkleidung (Alucobond: Kern 3 mm Polyäthylen, Deckbleche 0.5 mm Aluminium, sichtseitig einbrennlackiert).

An den Tunnelröhren festgestellte Schäden infolge Versalzung der Betondeckschichten der Tunnelwände, Wasserinfiltrationen und verstopfter Entwässerungen erforderten eine Instandsetzung, welche aus verkehrstechnischen Gründen gleichzeitig mit der Instandsetzung des Lehnenviaduktes Höll und der Zwillingsbrücken Ried und Intschi in den Jahren 1991 bis 1993 zu erfolgen hatte.

Zustandsaufnahmen

Chloridgehalte

Bei der Untersuchung der Versalzung der Tunnelwände waren insbesondere folgende Abklärungen von Interesse:

- Die Chlorid-Tiefenverteilung in den Wänden mit den Werten auf Bewehrungshöhe
- Die Chlorid-Höhenverteilung in den Wänden, d.h. insbesondere die Höhe des Spritzwasserbereiches und allfällige Unterschiede zwischen Normal- und Überholspur
- Die Chlorid-Längsverteilung in Fahrriechung der Tunnels

Die Chlorid-Tiefen- und Höhenprofile sowie die Karbonatisierungstiefen (vgl. folgender Abschnitt) wurden in insgesamt 17 Messquerschnitten senkrecht zu den Tunnelachsen gemessen. Die Aufteilung der Messquerschnitte auf die Ausbautypen ist aus Tabelle 2 ersichtlich. Bei 11 der 17 Messquerschnitte erfolgten die Aufnahmen nur in den Wänden auf Seite Normalspur, bei den restlichen 6 Querschnitten in beiden Wänden. Die Chloridgehalte wurden mittels Heisswasseraufschluss und chlo-

Tunnel	Länge [m]	Ausbautypen [m]					
		A	B	C	D	E	
Platti	BS	456	19	25	-	170	242
	TS	443	11	27	-	164	241
Intschi I	BS	190	43	-	-	131	16
	TS	100	24	-	-	76	-
Intschi II	BS	129	-	129	-	-	-
	TS	76	-	76	-	-	-
Langlauri	BS	319	219	-	-	65	35
	TS	378	243	-	-	87	48
Ried	BS	240	-	205	-	-	35
	TS	288	20	-	98	131	39
Teiftal	BS	507	-	320	81	69	37
	TS	555	18	23	97	375	42
Total	3681	597	805	276	1268	735	

Tabelle 1. Bezeichnung der Rampentunnels
Tabelle 2. Ausbautypen der Rampentunnels

Ausbautyp	Gewölbe	Betonschutz	Gesamtlänge	Messquerschnitte
A	Ortsbetongewölbe	Anstrich bis auf h=3.85 m über Gehweg	597 m	4
B	Ortsbetongewölbe	Beschichtung umlaufend, Anstrich bis auf h=3.85 m über Gehweg	805 m	3
C	Ortsbetongewölbe	Verbundplatten-Verkleidung umlaufend	276 m	2
D	Ortsbetongewölbe mit Betonplatten-Verkleidung	Anstrich bis auf h=3.85 m über Gehweg	1268 m	4
E	Felsgewölbe mit Betonplatten-Verkleidung	Anstrich bis auf h=3.85 m über Gehweg	735 m	4

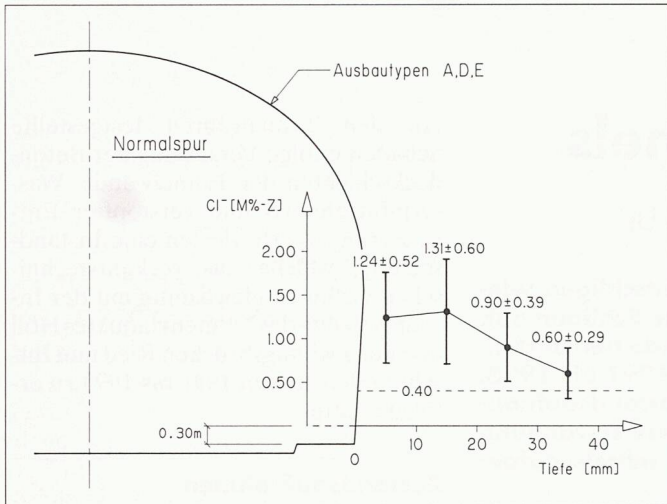


Bild 1. Mittleres Chlorid-Tiefenprofil in der Tunnelwand der Normalspur auf Höhe 0.3 m über OK Gehweg, Ausbautypen A, D und E

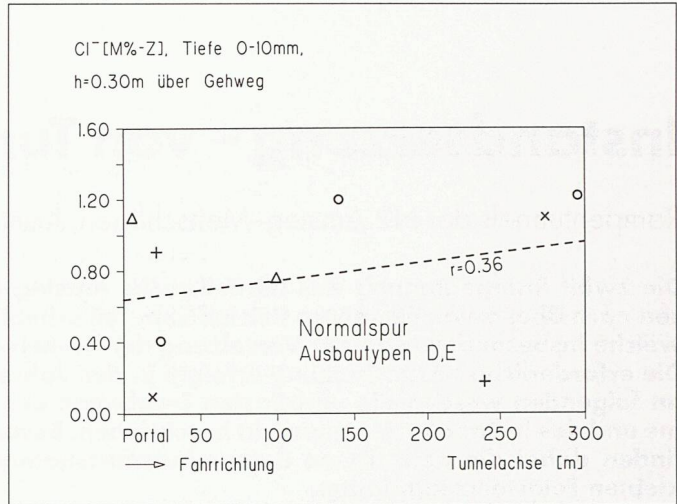


Bild 2. Mittlere Chlorid-Höhenverteilung der Tiefe 0-10 mm in den Tunnelwänden der Normal- und Überholspur, Ausbautypen A, D und E

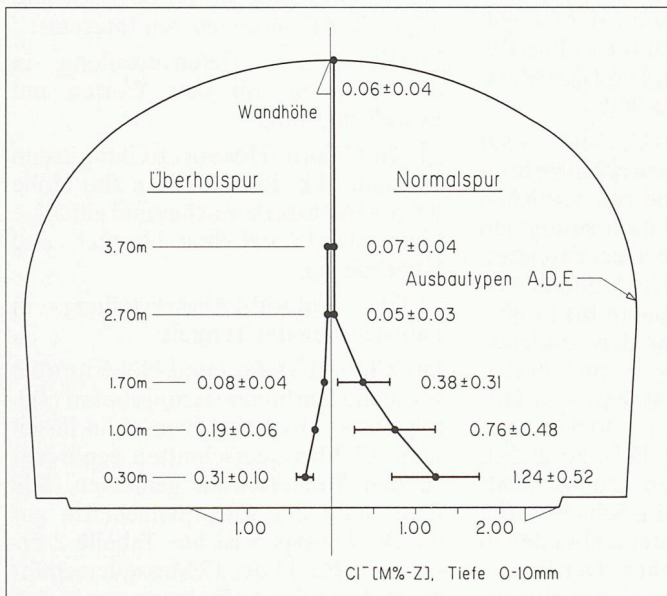


Bild 3. Chlorid-Längsverteilung der Tiefe 0-10 mm in Fahrriichtung der Tunnels, 0.3 m über OK Gehweg, Ausbautypen D und E

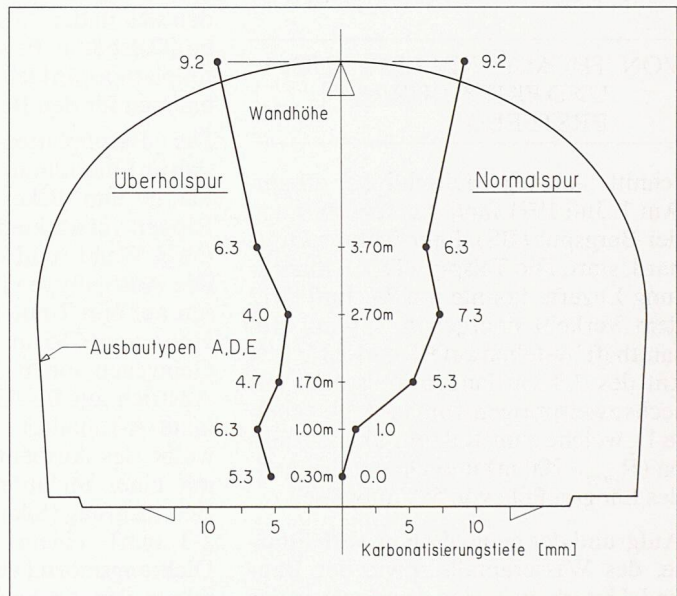


Bild 4. Mittlere Höhenverteilung der Karbonatisierungstiefen in den Tunnelwänden der Normal- und Überholspur, Ausbautypen A, D und E

ridsensitiver Elektrode bestimmt (Methode EMPA).

Bei den Ausbautypen B (Beschichtung) und C (Verbundplatten) wurde keine nennenswerte Chloridbelastung der Ortsbetongewölbe festgestellt. Die Betonschutzmassnahmen erfüllten hiermit ihren Zweck. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf die Ausbautypen A, D und E, d.h. Ortsbeton und/oder Betonelemente mit Anstrich, bei denen erhebliche Versalzungen gemessen wurden. Die Frage der Versalzung stand insbesondere bei den nur 50 mm dicken, mit einem Netz bewehrten Betonelementen im Vordergrund.

Chlorid-Tiefenverteilung

Als Grenzwert für die zulässige Chloridbelastung auf Bewerhungshöhe wur-

den 0.4 Massen-Prozent des Zementgewichtes [M%-Z] festgelegt. Bild 1 zeigt das in den verschiedenen Messquerschnitten der Ausbautypen A, D und E gemessene und über alle Messwerte gemittelte Chlorid-Tiefenprofil in der Wand der Normalspur auf einer Höhe von 0.3 m über dem seitlichen Gehweg. Aufgezeichnet sind Mittelwert plus/minus einfache Standardabweichung. Gemessen wurde in 10 mm Tiefenstufen bis in eine Tiefe von 40 mm.

Das Tiefenprofil zeigt den für den Spritzwasserbereich typischen Verlauf mit dem Maximalwert nicht an der Oberfläche, sondern in einer Tiefe von 10-20 mm. Die 0.4 M%-Z-Marke wurde bis in eine Tiefe von 40 mm deutlich überschritten. Der Maximalwert erreichte auf Seite Normalspur 2.3 M%-Z, auf Seite Überholspur 1.1 M%-Z.

Chlorid-Höhenverteilung

Im Zusammenhang mit der Instandsetzung und Erneuerung des Betonschutzes stellte sich die Frage nach der Höhe des Spritzwasserbereiches mit Chloridinfiltration. Bild 2 zeigt die gemessene und über alle Messquerschnitte der Ausbautypen A, D und E gemittelte Chlorid-Höhenverteilung der Oberflächenschicht 0-10 mm in den Wänden der Normal- und Überholspur. Aufgezeichnet sind wiederum Mittelwert plus/minus einfache Standardabweichung. Ausgehend vom Maximalwert auf Höhe Gehweg war eine kontinuierliche Abnahme des Chloridgehaltes bis in eine Höhe von ca. 2.7 m festzustellen. Der 0.4-M%-Z-Wert wurde auf Seite Normalspur im Mittel auf einer Höhe von 1.7 m über dem Gehweg erreicht. Auffallend waren die we-

sentlich geringeren Chloridgehalte in den Wänden auf Seite Überholspur. Die Chloridaufnahme im Spritzwasserbereich ist offenbar stark von der Verkehrsfrequenz abhängig. Die Wände auf Seite Normalspur wurden stärker und länger durch chloridhaltiges Spritzwasser beaufschlagt.

Chlorid-Längsverteilung

Bild 3 zeigt die Chlorid-Längsverteilung der Oberflächenschicht 0-10 mm in Fahrriechung der Tunnels auf eine Länge von 300 m in den Wänden der Normalspur, 0,3 m über dem Gehweg. Aufgetragen sind nur die Ausbautypen mit Betonelementen D und E. Die Messungen ergaben keine Abnahme der Chloridgehalte vom Portal her ins Tunnelinnere. Die Versalzung in Tunnel längsrichtung war zumindest bis in eine Tiefe von 300 m konstant. Die in den Abschnitten über Tiefen- und Höhenverteilung beschriebene Mittelwertbildung über alle Messquerschnitte ist deshalb zulässig und aussagekräftig.

Karbonatisierungstiefen

Die gemessenen Karbonatisierungstiefen waren im allgemeinen gering und erreichten die Bewehrungen nicht. Bei den Ausbautypen A, D und E (alle mit Anstrich) lagen sie im Mittel bei 4,3 mm. Beim Ausbautyp C (mit Verbundplatten) erreichte die mittlere Tiefe im hinter den vorgehängten Platten liegenden Ortsbeton ohne Anstrich 12,0 mm.

Bild 4 zeigt die Höhenverteilung der gemessenen und über alle Messquerschnitte gemittelten Karbonatisierungstiefen in den Wänden der Normal- und Überholspur. Auffallend waren, verglichen mit Seite Überholspur, die wesentlich geringeren Karbonatisierungstiefen im unteren Spritzwasserbereich auf Seite Normalspur. Auf Höhe Gehweg, Seite Normalspur, war der Beton durchwegs nicht karbonatisiert. Wie aus den Chloridmessungen (Bild 2) hervorging, waren die Betonwände der Normalspur offensichtlich länger und intensiver mit Spritzwasser beaufschlagt und der Beton somit über längere Zeit wassergesättigt als auf Seite Überholspur. Ein stark durchfeuchteter Beton karbonatisiert jedoch nicht, da die CO₂-Diffusion in den wassergefüllten Poren behindert ist. Die Messergebnisse sind damit erklärt.

Zustand der Ortsbetongewölbe Typ A, B, C

Die gemessenen Betondeckungen lagen bei allen Tunnels im Bereich von 20-60 mm; einzig beim Langlaur-Tunnel (TS) waren über dem Gehwegbereich

Abschnitte mit weniger als 10 mm vorhanden. Somit wurde im unteren Spritzwasserbereich der Chlorid-Grenzwert auf Bewehrungshöhe mehrheitlich deutlich überschritten.

Als Folge der fehlenden Tunnelabdichtungen waren in einzelnen Tunnels bei Rissen und entlang von horizontalen Betonierfugen zum Teil Wasseraustritte festzustellen. Bei den Querfugen zeigten sich in allen Tunnels Korrosionsschäden an den Abdeckblechen sowie Risse und Abplatzungen infolge zu klein dimensionierter Wasserableitungen.

Die Verbundplatten des Teiftal-Tunnels, sichtsseitig nur einschichtig einbrennlackiert, wiesen eine leichte Oberflächenkorrosion, Ablösungen der Verbundelemente bei den Plattenstößen sowie mechanische Schäden infolge Fahrzeuganfahrten auf. An den Verbundplatten des Riedtunnels, sichtsseitig zweischichtig einbrennlackiert und mit verbessertem Lacksystem, waren keine Schäden feststellbar. Einzig die verzinkten Anschlussbleche OK Gehweg waren weitgehend durch Korrosion zerstört.

Zustand der Gewölbe mit Betonplatten-Verkleidung Typ D und E

Die Perfoanker der bestehenden Wandplattenbefestigung beim Felsgewölbe Typ E waren infolge Felsabsprengungen teilweise sichtbar und korrodiert. Die Wand- und Deckenplatten waren bei Fahrzeuganprall nicht gesichert und Folgeunfälle wegen herunterstürzender Betonelemente deshalb nicht ausgeschlossen.

In allen Tunnelröhren war die Betondeckung der Netzbewehrung der nur 50 mm dicken Elemente in deren unteren Bereichen ungenügend. Bis auf eine Höhe von ca. 0,5 m über OK Gehweg lag die Betondeckung unter 10 mm und die Netzbewehrung zeichnete sich durch Rostspuren ab. Bei mehreren Wand- und einzelnen Deckenelementen des Platti-Tunnels waren zum Teil grossflächige Frostabplatzungen festzustellen.

Die Fugen zwischen den Elementen wurden mit Thiokol-Fugenkitt gedichtet, der sich grundsätzlich gut bewährt hat. Ursache für einzelne undichte oder gerissene Fugen waren vorwiegend Elementverschiebungen infolge Fahrzeuganfahrten.

Zustand der Tunnelentwässerung

Das u.a. mit Kanalfernsehen untersuchte Entwässerungssystem mit Zementrohrleitungen und Ortsbetonrigo-

len wies Schäden infolge zu klein dimensionierter Rohre, undichter Stossfugen, Kalkablagerungen und vorstehender seitlicher Einläufe auf. Das gesamte Abwasser wurde an den nördlichen Tunnelenden direkt in die Reuss geleitet.

Instandsetzung

Ortsbetongewölbe Typ A, B, C

Die Instandsetzung der Ortsbetongewölbe Typ A erfolgte bis auf eine Wandhöhe von 1,80 m ab OK Gehweg mittels hydromechanischem Betonabtrag (1200 bar, 30-50 mm je nach Versalzungsgrad, vgl. Bild 5) und anschließender Reprofilierung mit Spritzbeton. Die freigelegte, korrodierte Bewehrung (Anteil ca. 20 %) wurde vorgängig durch Sandstrahlen gereinigt und beschichtet (Sika Top Armatec 110 EC), der Spritzbeton (Besa RG 4/7) im Trockenspritzverfahren nach zweitägigem Vorwässern der Altbeton-Oberfläche aufgebracht. Die zwei Wochen dauernde Nachbehandlung des Spritzbetons erfolgte durch Feuchthalten mittels einer Berieselungsanlage.

Beim Ausbautyp B hat sich die bestehende, umlaufende Beschichtung angesichts der erhöhten Schutzwirkung gegen eindringende Chloride sowie einer guten Haftzugfestigkeit bewährt. Nach Abklopfen sämtlicher Flächen wurden Hohl- und Fehlstellen (örtliche Abplatzungen, Risse) ausgespitzt und mit gleichem Material (Sika 101 a) ersetzt.

Bei allen nicht abgedichtet bleibenden Tunnelstrecken Typ A und B wurden die Querfugen durch Fräsen umlaufender Schlitzlöcher 70x60 mm und Ersatz der korrodierten Blechabdeckungen durch Hypalonfolien (System Sikadur-Combiflex) instandgesetzt. Bei den wasserführenden Rissen wurden Schlitzlöcher 55x60 mm gefräst; die Wasserableitung erfolgte in flexiblen Halbschalen in die Querfugen.

Die Verbundplatten des Teiftal-Tunnels mussten aufgrund der Schadenaufnahme im Wandbereich ersetzt werden (gleiches Produkt, sichtsseitig jedoch zweischichtig einbrennlackiert). Beim Ried-Tunnel BS wurde im Gewölbebereich auf eine Länge von 80 m eine neue Verkleidung erstellt.

Gewölbe mit Betonplatten-Verkleidung Typ D und E

Bei den nur 50 mm dicken Wandelementen war ein Betonabtrag mit anschließender Reprofilierung als Instandsetzungsmassnahme nicht möglich. Als Instandsetzungsvarianten boten sich entweder ein Totalersatz der Wandelemente oder ein Teilersatz



Bild 5. Hydrodynamischer Betonabtrag beim Ausbautyp A

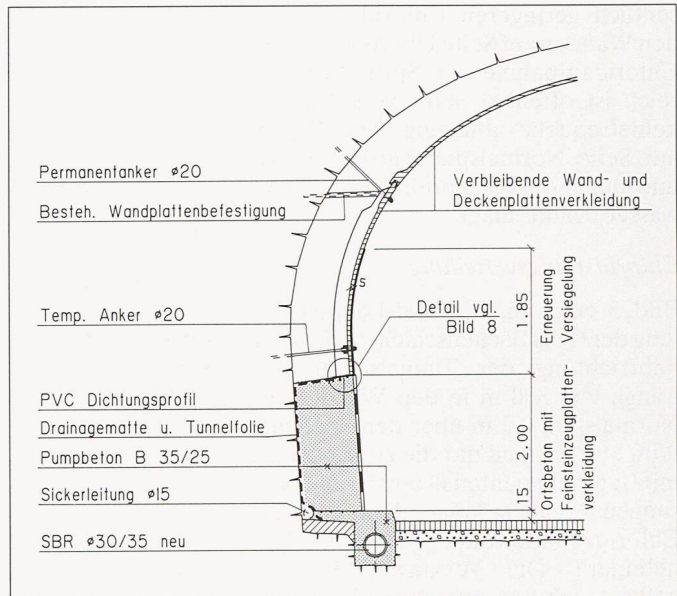


Bild 6. Instandsetzungsmassnahmen beim Ausbautyp E



Bild 7. Abgetrennte Wandplatten mit permanenter (oben) und temporärer Anker-Sicherung bei den Ausbautypen D und E

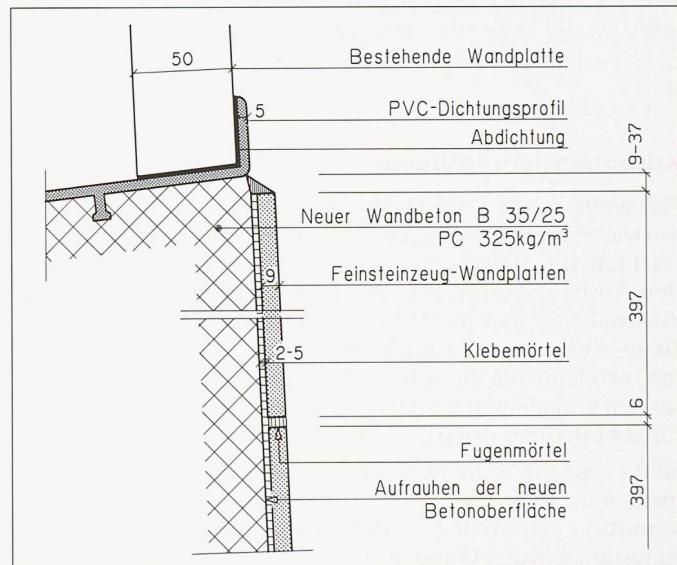


Bild 8. Abdichtung zwischen Wandplatten und Neubeton, Ausbautypen D und E

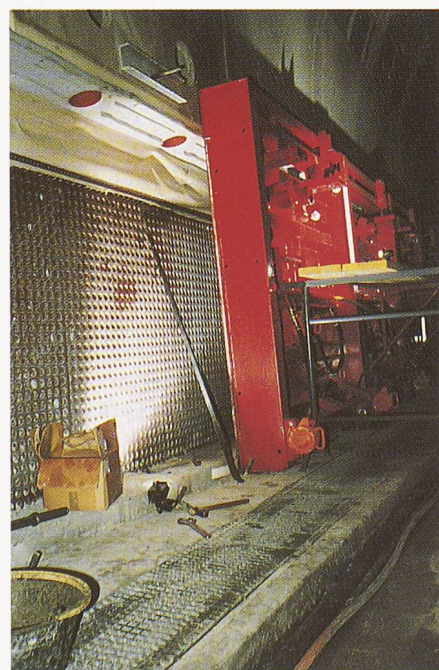


Bild 9. Abdichtung mit Noppenfolie, PVC-Dichtungsprofil mit Vibrieröffnungen, Stahlschalung, Ausbautyp D

durch Ortsbeton in der unteren, versalzten Spritzwasserzone an (vgl. Bild 6). Der zweiten Variante wurde aus Kostengründen und aufgrund von Vorteilen für Betrieb und Unterhalt der Vorzug gegeben; es entfallen die hohen Wiederinstandsetzungskosten bei Plattenverschiebungen infolge Fahrzeugfahrten. Zudem konnte ein besser kontrollierbares Entwässerungssystem durch Neuordnung der Kontroll- und Reinigungsöffnungen installiert werden.

Die Wandplatten wurden durch zwei Ankerlagen vorgängig gesichert und anschliessend auf einer Höhe von 2.0 m über OK Gehweg mittels Frässchnitt abgetrennt (vgl. Bild 7). Insgesamt waren 1 850 rippenverstärkte Platten mit einem Plattenquerschnitt von je 0.21 m² abzutrennen. Die abgetrennten Plat-

ten wurden durch Recycling zu Fundationsmaterial aufbereitet.

Für die Sicherung der verbleibenden Wand- und Deckenplatten bei einem künftigen Lastangriff über 2.0 m Wandhöhe wurde die obere Ankerlage mit Permanentankern ($\varnothing=20$ mm, Stahl 1.4406, Bruchlast im Gewindequerschnitt 214 kN) ausgeführt (vgl. Bild 6).

Der entstandene, offene Raum bis zum Fels oder Ortsbetongewölbe wurde mit Pumpbeton folgender Eigenschaften ausbetoniert:

- B 35/25, PC 325 kg/m³, frostbeständig
- W/Z < 0.5
- Plastifizierungsmittel: 1.2 M%-Z

Aufgrund der vorgesehenen Betonschutzmassnahmen (vgl. nächster Abschnitt) verzichtete man auf Frost-Tausalzbeständigkeit.



Bild 10. Aufziehen der Feinsteinzeugplatten

Die Abdichtung zwischen verbleibenden Wandplatten und Neubeton erfolgte durch ein PVC-Dichtungsprofil ($d=5$ mm), welches auf der Tunnelinnenseite nach oben abgekantet ist (vgl. Bild 8). Der Verbund mit den Wandplatten wurde mit einem Spezialkleber (Sikaflex-11FC), derjenige mit dem Neubeton über Verbundrippen im Profil sichergestellt.

Die Stärke des unarmierten Wand-Neubetons betrug bei Typ D 27–33 cm, bei Typ E 60–120 cm. Der Beton wurde in Etappen von 30 m Länge durch Stützen in der Stahlschalung eingebracht sowie mittels Schalungs- und Nadelvibratoren, letztere eingeführt durch vorgängig erstellte Öffnungen in den obenliegenden Wandplatten und Trichter im PVC-Dichtungsprofil, verdichtet (vgl. Bild 9). Die Nachbehandlung erfolgte durch Auftrag eines Oberflächenfilms (Antisol-E20).

Beim Betongewölbe Typ D wurde zwischen Gewölbe und Neubeton eine Drainagefolie mit 2 cm tiefen Noppen verlegt (vgl. Bild 9) und deren unprofiliertes Folienende oben mit dem PVC-Dichtungsprofil verbunden. Beim unteren Anschluss an die Gewölbefussdrainage wurde die Noppenfolie über die Sickerleitung gezogen und gegen eindringende Zementmilch abgedichtet. Die Wasserableitung erfolgt mit einem flexiblen Hart-PE-Sickerrohr. Bei den im Abstand von 25–40 m angeordneten Kontrollöffnungen wird das Wasser in das Hauptentwässerungssystem abgeleitet.

Zwischen Fels (Typ E) und Neubeton wurde eine Drainagematte (Enkamat 7020, $d=20$ mm) mit einer daraufliegenden flächenhaften Abdichtung aus PVC-Dichtungsbahnen (Sarnafil F631-20E, $d=2$ mm) verlegt. Die Dichtungsbahnen wurden oben mit dem PVC-Dichtungsprofil nach dem Betonieren verschweisst, beim unteren Anschluss an die Gewölbefussdrainage über die Sickerleitung gezogen und mit einer

Klemmschiene abgeschlossen. Die Wasserableitung erfolgt analog wie bei Typ D.

Tunnelentwässerung

Bei der Instandsetzung der Entwässerungsanlagen wurden vorsorglich Gewässerschutzmassnahmen für den Transport gefährlicher Güter auf der N2 einbezogen. Für die künftige Einleitung des Strassenwassers in Ölabscheideranlagen und Chemierückhaltebecken musste deshalb auf dem ganzen Abschnitt ein durchgehendes Leitungssystem (SBR $\varnothing 30/35$ cm, vgl. Bild 6) mit zwei Regenentlastungsbauwerken erstellt werden.

Betonschutzmassnahmen

Feinsteinzeugplatten im Spritzwasserbereich

Als Betonschutzmassnahmen bis auf eine Wandhöhe von 2.0 m (massgebender Spritzwasserbereich) wurden verschiedene Systeme von Beschichtungen, hinterlüfteten oder direkt auf den Beton applizierten Wandverkleidungen untersucht. Als Bestlösung erwies sich hinsichtlich Dauerhaftigkeit und Gesamtwirtschaftlichkeit (Investitionskosten, Betrieb und Unterhalt) ein Schutz mittels direkt auf den Beton geklebten Feinsteinzeugplatten (Timaker Feinsteinzeug unglasiert, Plattenformate

397x397/198 mm, Plattendicke 9 mm, Oberfläche roh/matt, vgl. Bild 10). Es bestehen insbesondere folgende Vorteile:

- Die aus Westerwald-Tonen hochgesinterten, durchgeflamten und abriebfesten Platten (mittlere Abriebhärte 114 mm^3 , Härte nach Mohs: 8) weisen eine hohe Festigkeit (Biegezug-Festigkeit $54\text{--}65 \text{ N/mm}^2$) und eine minimale Wasseraufnahme auf (0.03–0.07%).
- Die Platten sind frost-, temperaturwechsel-, säure- und laugenbeständig, lichtecht (beständig gegen UV-Strahlen), nicht brennbar, schmutzwasserunempfindlich und leicht zu reinigen.
- Die direkte Applikation auf den Beton (Zementhaut vorgängig entfernt) mit einem zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Klebemörtel (PCI-FT-Klebemörtel mit PCI-Laustoflex, Schichtdicke 2–5 mm) garantiert einen einwandfreien Verbund (Haftzugfestigkeit $>1.5 \text{ N/mm}^2$). Im Vergleich zu vorgestellten, hinterlüfteten Wandplatten-Anordnungen entfallen hohe Instandsetzungskosten bei Fahrzeuganfahrrten.
- Mit der Wahl elfenbeinfarbiger Platten mit integriertem Band in den Urnerfarben (schwarz-gelb-schwarz) konnte eine gute ästhetische Wirkung erzielt werden. Zudem verbessern die Farbbänder mit darauf montierten Reflektoren die optische

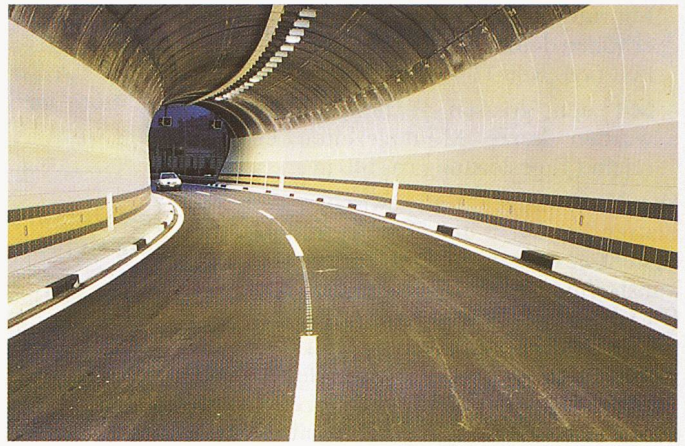
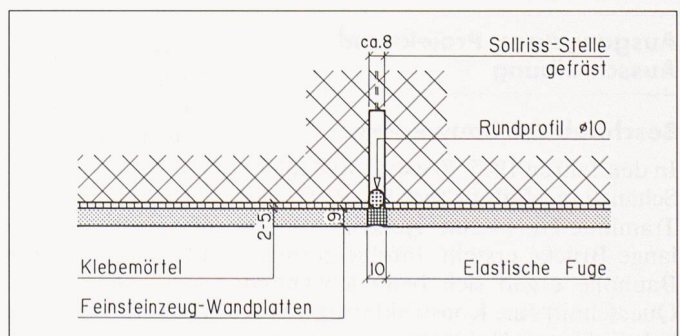


Bild 11. Erhöhung der Verkehrssicherheit durch optisches Führungsband

Bild 12. Elastische Fuge zwischen den Feinsteinzeugplatten



Führung in den engen Tunnels und erhöhen dadurch die Verkehrssicherheit (vgl. Bild 11).

- Mit den grossen Plattenformaten wurden kurze Montagezeiten erreicht (Tagesleistung ca. 140 m²).

Die Normalfugenbreite zwischen den Platten beträgt 6 mm. Die Verfüllung besteht aus einem zementgebundenen, kunststoffmodifizierten Fugenmörtel (PCI-Flexfuge, wasserdicht, frost-tausalzbeständig). Im Abstand von 4 m wurden Sollriss-Stellen in den Neubeton gefräst (vgl. Bild 12) und mit einer elastischen Dehnungsfuge (Fugenbreite 10 mm) überbrückt. Die Verfüllung erfolgte mit einer dauerelastischen Zweikomponenten-Fugendichtungsmasse auf Polyurethanbasis (PCI-Escutan FF, elastisch, wasserdicht, witterungs-, alterungs- und chemikalienbeständig). Mit demselben Produkt wurden auch die Längsfugen beim Gehwegabschluss verfüllt.

Versiegelung im Sprühnebelbereich

Der ursprüngliche Anstrich (Biladur-A-Emaile) wurde durch Sandstrahlen gereinigt bzw. entfernt und durch eine Versiegelung bis auf eine Höhe von 3.85 m über OK Gehweg ersetzt. Appliziert wurde ein wasserverdünnbarer Zwei-

komponenten-Anstrich auf Epoxidharzbasis (Trilacolor-Bilazo-Emaile perlweiss, 2 Anstriche à min. 2x40 µm, Applikation im Spritzverfahren mit Nachrollen).

Bauprogramm und Verkehrsführung

Die effektive Bauzeit für die Instandsetzung der Tunnels inkl. der Betonschutzmassnahmen betrug für die Bergspur 47 Wochen (24.6.1991–27.5.1992) und für die Talspur 37 Wochen (24.8.1992–28.5.1993), insgesamt also 84 Wochen.

Mit der eingerichteten Gegenverkehrsführung auf der gegenüberliegenden Spur konnten die Arbeiten ohne Behinderungen durch den Individualverkehr ausgeführt werden. Während des Sommer-Reiseverkehrs 1992 waren die Bauarbeiten unterbrochen und beide Richtungen zweiseitig befahrbar.

Baukosten

Die Gesamtkosten für Instandsetzung, Betonschutzmassnahmen, Projekt und örtliche Bauleitung, exklusive Erneuerungen Strassenbelag und elektromechanischen Anlagen, beliefen sich auf 20.2 Mio. Fr. (Fr.5500.-/m' zweiseitiger

Am Bau Beteiligte

Bauherrschaft: Kanton Uri, vertreten durch die Baudirektion Uri

Projektleitung und Oberbauleitung: Bauamt Uri, Altdorf; Herr H. Bargähr, Kantonsingenieur-Stellvertreter

Oberaufsicht: Bundesamt für Strassenbau, Bern

Ausführungsprojekt und örtl. Bauleitung: Lombardi AG & Balestra AG, Erstfeld

Bauausführung:
ARGE Tunnelsanierung N2:
Josef Baumann Söhne AG, Altdorf
Gebr. Bonetti AG, Andermatt
Cellere AG, Altdorf
CSC Bauunternehmung AG, Seedorf
Locher & Cie. AG, Zürich
Ed. Züblin AG, Zürich
ARGE Betonschutzarbeiten:
ATAG Bau AG, Beat Föhn, Schattdorf

Tunnel). Insbesondere kosteten die Plattenarbeiten (Untergrundvorbereitung, Liefern und Versetzen von 14 000 m² Feinsteinzeugplatten inkl. Fugen und Abschlüssen) 1.7 Mio. Fr., bzw. Fr. 120.-/m².

Adresse der Verfasser: *Thomas Keller*, Dr. sc. techn., Balestra AG – Ingenieure und Planer, Hertizentrum 2, 6300 Zug; und *Fritz Burri*, Lombardi AG & Balestra AG, Spittelstrasse 158, 6472 Erstfeld.

Instandsetzung eines Brücken-Hohlkastens geringer Bauhöhe mit Robotern

Die Instandsetzung von Brückenhohlkästen mit geringen Abmessungen bieten wegen der beengten Platzverhältnisse spezielle Probleme für die Ausführung. Bei einer Trambrücke in Muttenz wurden für diese Instandsetzungsarbeiten sowohl für das Wasserhöchststrahlen als auch für den Spritzmörtelauftrag Roboter entwickelt und erfolgreich eingesetzt.

Ausgangslage, Projekt und Ausschreibung

Beschrieb des Bauwerkes

In den Jahren 1975/76 wurde im Gebiet Schänzli in Muttenz (bei Basel) für die Tramlinie Nr. 14 eine 7feldrige, 182 m lange Brücke erstellt. Infolge geringer Bauhöhe ergab sich beim gewählten Querschnitt eine Konstruktion mit zwei bekriechbaren Hohlkästen von nur ma-

ximal 70 cm lichter Höhe. Wegen der zentrisch angeordneten Einzel-Stützen besteht in den Querträgern kein Durchgang, so dass in jeden der 14 Hohlkästen von unten eingestiegen werden muss. Der Querschnitt wurde in zwei Etappen betoniert: Boden und Stege zuerst, dann die Fahrbahn und die erhöhten Kragplatten, wobei in den Kästen als verlorene Decken-Schalung Eternittafeln zum Einsatz kamen (Bild 1: Querschnitt).

Zustand der Hohlkästen

Durch mangelhafte Ausführung wiesen die Bügel der Stege im Kasteninnern grossflächig viel zu geringe Betonüberdeckungen auf, so dass bereits vielerorts angerostete Bügel freilagen. Des Weiteren wurden viele Kiesnester und Abplatzungen, insbesondere am Stegfuss festgestellt (Bild 2). Die Decke (infolge der Eternitschalung) und die Aufsicht der Bodenplatte waren hingegen in Ordnung.

Das Tiefbauamt des Kantons Basel-Landschaft, Abteilung Ausbau und Unterhalt, entschied in Absprache mit dem ASB, diese Schäden im Zuge der Gesamtsanierung der Brücke instandsetzen zu lassen.

Instandsetzungsmöglichkeiten

Bei derart ausserordentlich beschränkten Platzverhältnissen stellt sich unweigerlich die Frage nach der Machbarkeit einer qualitativ befriedigenden Instandsetzung. Grundsätzlich stehen die drei folgenden Methoden zur Auswahl: