

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 113 (1995)  
**Heft:** 30/31

**Artikel:** Instandsetzung N2 Gotthard-Vortunnel im Kanton Uri: eine Anwendung von kathodischem Korrosionsschutz  
**Autor:** Keller, Thomas / Gassner, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78750>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**





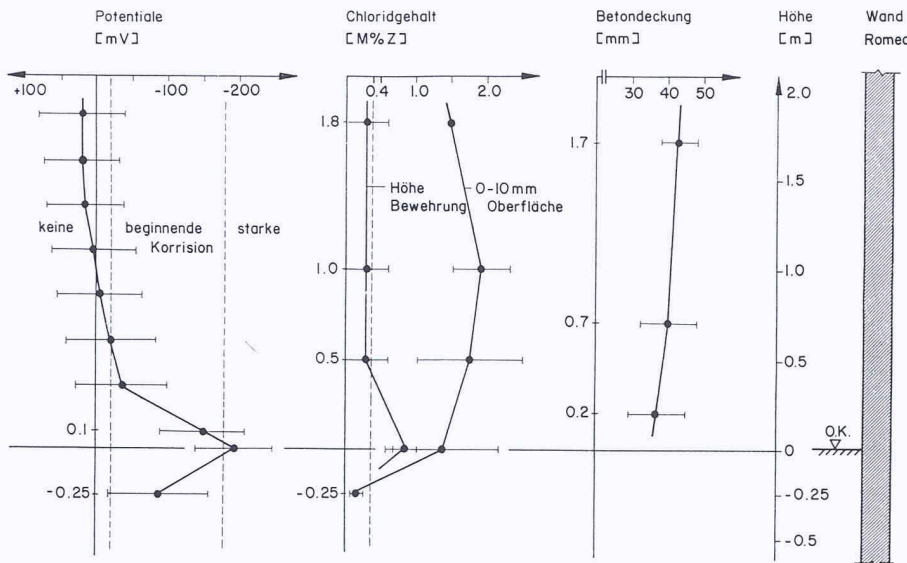


Bild 2. Messresultate

rechnen. Die Potentiale waren im Portalbereich leicht erhöht. Im Tunnelinnern, Seite Romeo ab ungefähr 60 m, Seite Lora ab ungefähr 30 m und nach der ersten Doppelstütze, verliefen sie jedoch in Längsrichtung konstant. Wiederum Bild 2 zeigt die Höhenverteilung in der Wand Romeo, ermittelt über die ganze Wandlänge. Oberhalb von rund 1,0 m Wandhöhe war praktisch keine Korrosion, im Bereich zwischen 0,2 und 1,0 m Höhe und unterhalb von -0,2 m beginnende Korrosion zu verzeichnen. Mit starker Korrosion und Lochfrass war 0,2 m ober- und unterhalb OK Fahrbahn zu rechnen, also im Bereich mit erhöhter Chloridkonzentration auf Bewehrungshöhe. Insgesamt wiesen ungefähr 50% aller Bewehrungen bis in eine Höhe von 2,0 m zumindest beginnende, durch Chloride induzierte Korrosion auf.

Die nur durch Unterhaltsfahrzeuge befahrenen Parkstollen waren, mit Ausnahme eines Salzlagers auf Seite Lora, vergleichsweise in besserem Zustand.

Aufgrund dieser Befunde wurde beschlossen, in vergleichbarer Weise wie beim Abschnitt Amsteg-Meitschlihen, die Spritzwasserbereiche der Fahrtrambereiche instanzzusetzen. Im darüberliegenden Sprühnebelbereich sollten geeignete Betonschutzmassnahmen vorgesehen werden. In den immer ohne Verkehrsbehinderungen zugänglichen Parkstollen wurden zurzeit keine Massnahmen angeordnet.

Nebst den Betonstrukturen waren auch der Fahrbahnbelag, die Entwässerung und die elektromechanischen Einrichtungen Gegenstand der Untersuchung. Der Fahrbahnbelag weist noch eine Restnutzungsdauer von 5 bis 10 Jahren auf und wird so belassen. Die Entwässerung wird zu einem späteren Zeitpunkt, im Zusammenhang mit Massnahmen betreffend den

Transport von gefährlichen Gütern, instanzgesetzt. An den elektromechanischen Einrichtungen waren lediglich kleinere Reparaturen erforderlich.

**Evaluation des Instandsetzungsverfahrens**

Die Instandsetzung der Betonstrukturen hatte derart zu erfolgen, dass eine interventionsfreie Nutzungsdauer von 50 Jahren gewährleistet ist. Zudem sollte das im Abschnitt Amsteg-Meitschlihen eingesetzte Konzept der Keramikplatten-Verkleidung der Spritzwasserbereiche weitergeführt werden, welches sich insbesondere hinsichtlich Reinigung bewährt hat und zudem mit seinem Farbkonzept zur Verkehrssicherheit beiträgt [1].

Für die Instandsetzung der Spritzwasserzonen wurden schliesslich, nach einer ersten Reduktion des Variantenfächers, die in Tabelle 1 aufgeführten drei Varianten eingehend studiert und verglichen. Bei den Varianten 1 und 2 wird die chloridbelastete Betondeckschicht nicht abgetragen, die Bewehrung wird aktiv mittels kathodischem Korrosionsschutz (KKS) von -0,20 m Tiefe, bis 2,00 m Höhe geschützt. Bei Variante 3 erfolgt ein hydromechanischer

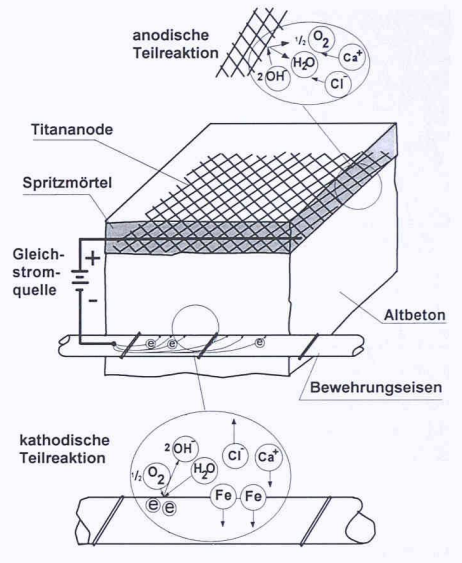


Bild 3. Schema KKS

schers Betonabtrag der Deckschicht mit anschliessender Spritzbeton-Reprofilierung in gleicher Höhe wie bei den Varianten 1 und 2. Für Variante 3 sind dabei zusätzlich Betonschutzmassnahmen mit Eigenschaften eines OS 9 gemäss den Richtlinien des deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) erforderlich, welche mit der erwähnten Keramikplatten-Verkleidung erbracht werden können. Keine weiteren Schutzmassnahmen erfordern Varianten 1 und 2, ein Farbanstrich gemäss Variante 2 würde genügen. Angesichts der etwa viermal höheren Lebensdauer gegenüber einem Anstrich und der erheblichen Vorteile bei der Reinigung, ist bei Variante 1 trotzdem eine Keramikplatten-Verkleidung vorgesehen. Im Bereich +2,00 m bis +4,50 m, also in der Sprühnebelzone, wird bei allen Varianten eine Beschichtung entsprechend einem OS 4 mit einer Schichtdicke von mindestens 80 µm, einem Diffusionswiderstand gegenüber CO<sub>2</sub> ≥ 50 m und einem Diffusionswiderstand gegenüber Wasserdampf ≤ 4 m aufgebracht.

Qualitativ beinhaltet eine Instandsetzung mit KKS gegenüber dem herkömmlichen Betonabtrag mit Reprofilierung klare Vorteile. Beim KKS handelt es sich um ein zerstörungsfreies Instandsetzungsverfahren, dessen Wirksamkeit jederzeit

Tabelle 1. Instandsetzungsvarianten

Variante	Beschrieb	Kosten	
1	KKS	-0,20 bis +2,00 m	
	Keramikplatten (OS 9)	0,00 bis +2,00 m	112%
	Beschichtung (OS 4)	+2,00 bis +4,50 m	
2	KKS	-0,20 bis +2,00 m	
	Farbanstrich (-)	0,00 bis +2,00 m	100%
	Beschichtung (OS 4)	+2,00 bis +4,50 m	
3	Betonabtrag/Reprofilierung	-0,20 bis +2,00 m	
	Keramikplatten (OS 9)	0,00 bis +2,00 m	103%
	Beschichtung (OS 4)	+2,00 bis +4,50 m	



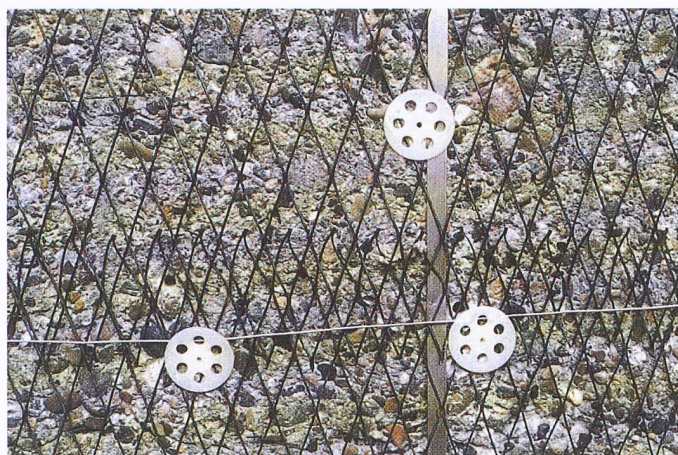


Bild 4.  
Detail Anodennetz mit Kunststoffdübeln

überprüf- sowie steuerbar ist. Beim Betonabtrag wird die Tragstruktur trotz der Reprofilierung insgesamt geschwächt. Ein dauerhafter Schutz der Bewehrung ist zudem ohne zusätzliche Betonschutzmassnahmen nicht gewährleistet. Vorteilhaft für die Varianten mit KKS ist zudem im vorliegenden Fall, dass die Bewehrung der hinteren Wandseite, also auf der Seite Parkstollen, ebenfalls geschützt wird, da ungefähr 30% des Schutzstromes von der Anode, Seite Fahrraum, dorthin fließen [2]. Der durchgeführte Kostenvergleich wies zudem Variante 2 (KKS mit Anstrich) als kostengünstigstes Verfahren aus, im Vergleich war Variante 3 um 3%, Variante 1 um 12% teurer. Hinsichtlich der beschriebenen Vorzüge von Keramikplatten bezüglich Reinigung und Lebensdauer gegenüber einem einfachen Anstrich, wurde schliesslich die Variante 1 (KKS mit Keramikplatten-Verkleidung), trotz höheren Investitionskosten, bevorzugt. Insgesamt wurden in der Spritzwasserzone 2860 m<sup>2</sup> KKS (2380 m<sup>2</sup> Wände, 480 m<sup>2</sup> Stützen) und 2640 m<sup>2</sup> Keramikplatten sowie 3300 m<sup>2</sup> Beschichtungen im Sprühnebelbereich aufgebracht.

**Kathodischer Korrosionsschutz**

Beim kathodischen Korrosionsschutz mit Fremdstrom wird eine inerte Titananode mit aktivierter Oberfläche in den Elektrolyten eingebettet (Bild 3). Zwischen der Anode und der als Kathode wirkenden Bewehrung wird über einen Gleichrichter eine kleine elektrische Gleichspannung angelegt, die das elektrochemische Potential der Bewehrung so verändert, dass die Korrosion, auch bei Anwesenheit von Chloriden, auf ein hinsichtlich der Lebensdauer des Bauwerkes unbedeutendes und unbedenkliches Mass reduziert wird. Es ist dabei nicht notwendig, den chloridkontaminierten Teil des alten Betons zu entfernen. Der

kathodische Korrosionsschutz bietet zudem die Möglichkeit, die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen anhand der Potentiale der Bewehrungen und anderer Messgrössen dauernd zu überwachen.

Basierend auf den vorgenommenen Potentialmessungen wurden die zu schützenden Bauteile in neun Speisebereiche aufgeteilt, welche unterschiedlich mit Strom beaufschlagt werden können. Um sich später den unterschiedlichen Leitfähigkeiten des Betons an Wandfuss und Tunnelwand anpassen, also unterschiedliche Strommengen einspeisen zu können, wurden die an den Wänden liegenden Speisebereiche in vertikaler Richtung in zwei Subspeisebereiche aufgetrennt.

Als Anode werden Titanetze mit aktivierter Oberfläche verwendet (Bild 4). Jeder der neun Speisebereiche wird von separaten Gleichrichtern gespeist, welche alle in der bestehenden Trafostation auf der Westseite des Tunnels plaziert und in die dort vorhandenen Schaltschränke eingebaut sind. Die stufenlos einstellbaren Schutzgleichrichter, ausgerüstet mit Ampère- und Potentialvoltmeter, wurden nach den Vorschriften des Eidg. Starkstrominspektorates (ESTI) gebaut und sind vom 220-V-Netz gespeist.

Für den kathodischen Korrosionsschutz müssen die Anoden in einen hydraulisch abbindenden Beton oder Mörtel mit einem möglichst geringen, spezifischen elektrischen Widerstand eingebettet werden. Der Kunststoffzusatz und der Gehalt an Silicafume ist daher auf je rund 2 Massen-% bezogen auf den Zementgewicht zu begrenzen. Für andere Zusätze müssen spezielle Abklärungen getroffen werden. Die Gesamtmenge der Zusätze sollte 4% nicht übersteigen und der Zementgehalt mindestens 300 bis 350 kg/m<sup>3</sup> betragen. Die Grösse des Grösstkornes liegt idealerweise zwischen 4 bis 8 mm.

Entsprechend diesen Grundlagen wurde der Spritzbeton spezifiziert: Grösst-



Bild 5.  
Doppelstütze mit KKS

korn 8 mm, 425 kg/m<sup>3</sup> Zementgehalt und ein W/Z-Wert von ≤ 0.45. Im vorliegenden Fall wurde eine Ortsmischung mit geringem Kalkzusatz zur Reduktion des E-Moduls verwendet. Die Haftzugfestigkeit auf dem vorbehandelten Untergrund hatte mindestens 1,5 N/mm<sup>2</sup> zu betragen.

Die Funktion des KKS wird periodisch überwacht. Nach einer etwas intensiveren Anfangsphase, die vor allem dem Kennenlernen des Systemverhaltens dient, spielt sich der notwendige Aufwand auf einem auch durch die SIA-Normen für Bauwerksüberwachungen vorgesehenen Niveau ein. Von einem in den Gleichrichterschrank integrierten Messtableau aus können die für die Beurteilung relevanten Werte wie Strom und Spannung in den einzelnen Speisebereichen sowie Potentiale an den mit Dauermessonden ausgerüsteten Stellen gemessen werden. Die eingebauten Refe-

**Am Bau Beteiligte**

Bauherrschaft:	Kanton Uri, vertreten durch die Baudirektion Uri
Projektleitung und Oberbauleitung:	Bauamt Uri, Herr H. Bargähr, Kantonsingenieur-Stellvertreter
Oberaufsicht:	Bundesamt für Strassenbau, Bern
Ausführungsprojekt und örtl. Bauleitung:	Balestra AG, Erstfeld und Zug
Baumeister- und Plattenarbeiten:	ARGE ATAG / B. Föhn / Strub & Co., Schattdorf
KKS: Bauprojekt und Ausführung:	Helbling Ingenieurunternehmung AG, Zürich



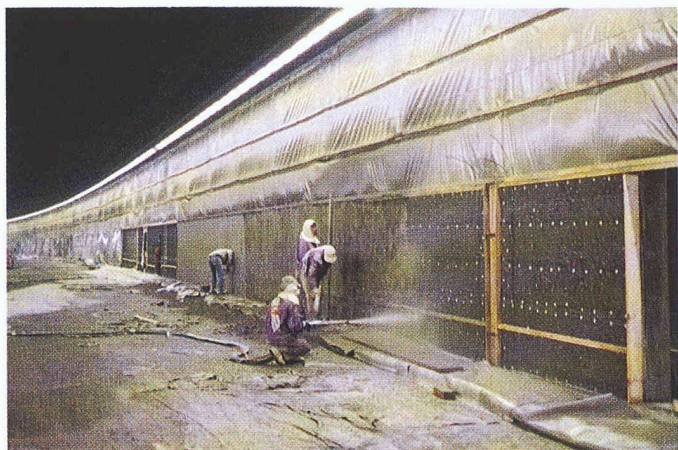


Bild 6.  
Aufbringen des Spritzbetons

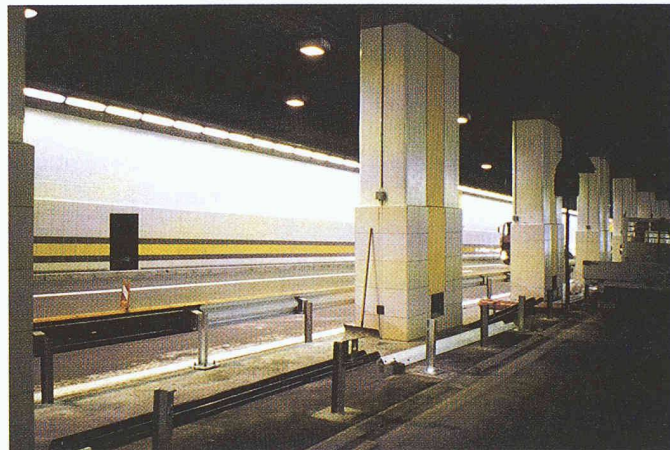


Bild 7.  
Instandgesetzte Stützen und Wand Romeo

renzelektroden, Messproben und anderen Überwachungselemente wurden zu diesem Zweck auf das Messtableau verkabelt. Für die regelmässig zu messenden Daten sind Datenlogger vorgesehen, welche den Aufwand für die Überwachungsmessungen deutlich vermindern.

Der Stromverbrauch der Anlage kann Tabelle 2 entnommen werden. Bei einer ganzjährigen, täglichen Betriebsdauer von 24 h beträgt dieser maximal 980 kWh pro Jahr. Bei angenommenen Strompreisen von Fr. -20/kWh ergeben sich daraus jährliche Stromkosten von insgesamt Fr. 196.-/Jahr oder Fr. -07/m<sup>2</sup>.

#### Ablauf der Arbeiten

Um die geeignete Zusammensetzung des Spritzbetons und das Zusammenwirken der verschiedenen Elemente Spritzbeton, Anodennetz und Altbeton zu prüfen, wurden Vorversuche an kleinen Flächen durchgeführt. Insbesondere zeigte sich, dass die Haftzugfestigkeit des Spritzbetons durch das Anodennetz nicht beeinträchtigt wird.

Um eine ausreichende Haftzugfestigkeit für den Spritzbeton zu erreichen, wurde die Altbetonoberfläche vorgängig mittels Hochdruck-Wasserstrahlen aufgeraut. Hinsichtlich Grad des Aufrauhens wurden vorgängig Referenzflächen erstellt. Zudem erfolgte eine Abnahme des Untergrundes durch den Spritzbeton-Unterneh-

mer. Gleichzeitig erstellte man die Ausparungen für die Überwachungselemente und Bewehrungsanschlüsse.

Um Kurzschlüsse zwischen Anode und Bewehrungen des Altbetons zu verhindern, wurde die aufgeraute und wieder abgetrocknete Altbetonoberfläche mit einem Hochspannungsprüfgerät abgefunkt. Freiliegende Bewehrungen oder andere Metallteile überdeckte man lokal von Hand mit Mörtel.

Die elektrische Vermaschung der Bewehrung des Altbetons wurde anschliessend überprüft. Pro Speisebereich erstellte man in der Regel zwei Bewehrungsanschlüsse. Bei ungenügender elektrischer Verbindung zwischen einzelnen Bewehrungsstäben (gemessener Widerstand >1Ω) wurde die Anzahl der Anschlusspunkte vergrössert. Weitere Anschlüsse wurden für Messzwecke angebracht. Die Stellen für Referenzelektroden und Messproben wurden bestimmt und die notwendigen Bewehrungsanschlüsse erstellt.

Anschliessend verlegte man das Anodennetz (Bild 5). Zur Befestigung wurden Kunststoffdübel verwendet. Durch Messungen des Widerstandes und der Potentialdifferenz zwischen Anode und Bewehrung stellte man sicher, dass keine Kurzschlüsse vorhanden waren.

Im letzten Arbeitsgang wurde die Anode in eine rund 30 mm starke Spritzbetonschicht eingebettet (Bild 6). Die einzelnen Etappen mussten jeweils vom KKS-Unternehmer zum Betonieren freigegeben werden. Die Nachbehandlung erfolgte während sieben Tagen durch vollflächiges Abdecken und Feuchthalten.

#### Baukosten und Bauprogramm

Die Baukosten beliefen sich total auf 2,87 Millionen Franken, wovon 1,42 Millionen Franken auf den kathodischen Korrosions-

#### Literatur

[1]

Keller T., Burri F.: Instandsetzung von Tunnel- und Rampentunnels der N2 Amsteg-Meitschligen, Kanton Uri. Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 40/1993.

[2]

Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz: Richtlinie für Projektierung, Ausführung und Überwachung des Kathodischen Korrosionsschutzes von Stahlbetonbauwerken, Richtlinie C7, Zürich 1991.

schutz entfielen, die Baumeisterarbeiten mit eingeschlossen, was bei den Wänden Fr. 476.-/m<sup>2</sup> und bei den Stützen Fr. 607.-/m<sup>2</sup> entspricht. Die Plattenarbeiten kosteten an den Wänden Fr. 115.-/m<sup>2</sup> beziehungsweise Fr. 130.-/m<sup>2</sup> an den Stützen, die Beschichtung Fr. 22.- bzw. 26.-/m<sup>2</sup>. Der kathodische Korrosionsschutz wurde im Herbst 94, während 14 Wochen, die Keramikplatten-Verkleidungen und die Beschichtungen im Frühjahr 95, während 7 Wochen, aufgebracht (Bild 7). Die Instandsetzung erfolgte ohne grössere Behinderungen für den Individualverkehr, da der Parkstollen Lora für die Verkehrsführung benutzt werden konnte.

Adresse der Verfasser:

Thomas Keller, Dr. sc. techn., Balestra AG - Ingenieure und Planer, Hertzentrüm 2, 6300 Zug, und Peter Gassner, Helbling Ingenieurunternehmung AG, Hohlstrasse 610, 8048 Zürich.

■ zu schützende Fläche	2860 m <sup>2</sup>
■ spezifische Strommenge	max. 5 mA/m <sup>2</sup>
■ Spannung an der Anode	max. 2 V
■ Spannungsabfall in den Zuleitungen	5 V
■ Wirkungsgrad Gleichrichter	0,9
⇒ benötigte Leistung	112 W

Tabelle 2.  
Stromverbrauch der Anlage