Instandsetzung N2 Gotthard-Vortunnel im Kanton Uri: eine Anwendung von kathodischem Korrosionsschutz

Autor(en): **Keller, Thomas / Gassner, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 30/31

PDF erstellt am: **16.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-78750

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Thomas Keller, Zug, und Peter Gassner, Zürich

Instandsetzung N2 Gotthard-Vortunnel im Kanton Uri

Eine Anwendung von kathodischem Korrosionsschutz

Nach über 17 Betriebsjahren wurde der Gotthard-Vortunnel der Nationalstrasse N2 im Kanton Uri instandgesetzt. Im Spritzwasserbereich werden dabei die Bewehrungen der Wände und Stützen mittels kathodischem Korrosionsschutz (KKS) geschützt. Beschrieben sind die Zustandsuntersuchung, die Evaluation des Instandsetzungsverfahrens sowie die Ausführung.

Der rund 17 Jahre alte Gotthard-Vortunnel der Nationalstrasse N2 im Kanton Uri weist eine Länge von insgesamt 398 m auf. Direkt daran anschliessend leitet die Galerie Riental mit einer Länge von 64 m und der 102 m lange Abschnitt Zentrale in den eigentlichen Gotthard-Strassentunnel über. Im Vortunnel, Richtung Süden (Bezeichnung Romeo), sind drei Fahrspuren vorhanden (Stand-, Normal- und Überholspur), Richtung Norden (Bezeichnung Lora), aus dem Tunnel herausführend, nur zwei Spuren (Normal- und Überholspur). Die beiden Fahrrichtungen werden durch insgesamt 50 Doppelstützen getrennt, welche im Abstand von rund 8 m angeordnet sind. Die Zwischenräume der Doppelstützen dienen der Frischluftzufuhr und sind mit Eternitplatten abgedeckt.

Beidseits der Fahrräume Romeo und Lora des Vortunnels befindet sich je ein parallel verlaufender Parkstollen, welcher durch eine 40 cm dicke, bewehrte Wand abgetrennt ist (Bild 1). Die Parkstollen, mit Buchten für eine Tankstelle und ein Restaurant versehen, wurden jedoch nie ausgebaut und sind heute nur von Unterhaltsfahrzeugen befahren. Über den Fahrräumen sowie den Parkstollen ist eine heruntergehängte Betondecke angeordnet.

Sowohl Vortunnel als auch Galerie Riental und Zentrale wurden im Tagbau in Ortsbeton erstellt. In Tunnel-Längsrichtung ist die Konstruktion in Dilatationsabschnitte unterschiedlicher Länge aufgeteilt. Die Abschnittslängen betragen im Mittel 20 m.

Zustandsuntersuchung der Betonstrukturen

Aufgrund der Erfahrungen bei der in den Jahren 1991/93 durchgeführten Instandsetzungen der zwölf etwas älteren Rampentunnels des nördlichen Abschnittes Amsteg-Meitschligen [1], wurde 1993 eine Zustandsuntersuchung insbesondere der Betonstrukturen der Fahrräume Romeo und Lora des Vortunnels, der Galerie Riental und des Abschnittes Zentrale vorgenommen. Mit einem reduziertem Messprogramm wurden auch die Parkstollen erfasst, die aufgehängte Betondecke war nicht Gegenstand der Untersuchung.

Nach einer visuellen Kontrolle, welche die Aufnahme von Rissen und Fehlstellen beinhaltete, wurden Betondeckungen, Karbonatisierungstiefen, Chloridgehalte im Tiefenprofil sowie Potentiale gemessen. Untersucht wurden aufgrund der Erfahrungen im Abschnitt Amsteg-Meitschligen hauptsächlich die Spritzwasserbereiche einerseits bis auf eine Höhe von 2,0 m ab OK Fahrbahn sowie andererseits in mehreren Sondierschlitzen bis in eine Tiefe von -0,25 m. Betondeckungen und Potentiale wurden in engem Messraster an zufällig ausgewählten Dilatationsabschnitten und Stützen bestimmt. Die Anzahl der untersuchten Abschnitte ergab sich im Hinblick auf eine zuverlässige und statistisch fundierte Gesamtaussage. Die Potentiale wurden anhand von einzelnen Sondieröffnungen hinsichtlich Korrosionsgrad der Bewehrungen geeicht. Chloridgehalte wurden mittels Heisswasseraufschluss und Karbonatisierungstiefen im Indikatorverfahren an Bohrkernen ermittelt.

Visuell waren die Tunnelwände und Doppelstützen der Fahrräume in gutem Zustand. Jeweils in der Mitte der Dilatationsabschnitte zeigten sich über die ganze Wandhöhe verlaufende Schwind-Trennrisse, die jedoch trocken waren. Im Bereich OK Fahrbahn bis ungefähr in eine Höhe von 0,5 m waren einzelne Fehlstellen (Rostspuren und inhomogene Oberflächen) zu verzeichnen.

Die Resultate der Messungen von Betondeckungen, Chloridgehalten und Potentialen sind für die Wand Romeo des Vortunnels in Bild 2 beispielhaft dargestellt. Aufgezeichnet sind jeweils, in verschiedenen Höhenlagen, Mittelwert und Standardabweichung der Messwerte, ermittelt auf die ganze Wandlänge von 398 m. Die Wand Lora und die Doppelstützen zeigten vergleichbare Messwerte auf.

Die Betondeckungen betrugen rund 40 mm, die kleinsten Werte waren unmittelbar über OK Fahrbahn festzustellen. Die Karbonatisierungstiefen, im Bereich von 8 bis 14 mm liegend, waren angesichts der grossen Betondeckungen nicht relevant.

Die Chloridgehalte zeigten eine über die Tunnellänge konstante Verteilung. Die Werte waren an der Oberfläche relativ hoch, auf Bewehrungshöhe, oberhalb von 0,5 m Wandhöhe, jedoch im Mittel deutlich unter dem Richtwert von rund 0,4 Massen-% bezogen auf das Zementgewicht. Einzig im Bereich über OK Fahrbahn, bis auf eine Höhe von rund 0,5 m, lagen die Werte auf Bewehrungshöhe deutlich über dem Richtwert. Unterhalb der Fahrbahn nahmen die Werte rasch ab.

Die statistische Auswertung der Potentialmessungen und deren Eichung an den Sondieröffnungen ergab drei charakteristische Bereiche: Der Bereich mit Potentialen > -20 mV zeigte keine Korrosion, der Bereich mit Werten zwischen -20 und -180 mV wies beginnende Korrosion auf, im Bereich mit Potentialen < -180 mV war mit starker Korrosion und Lochfrass zu

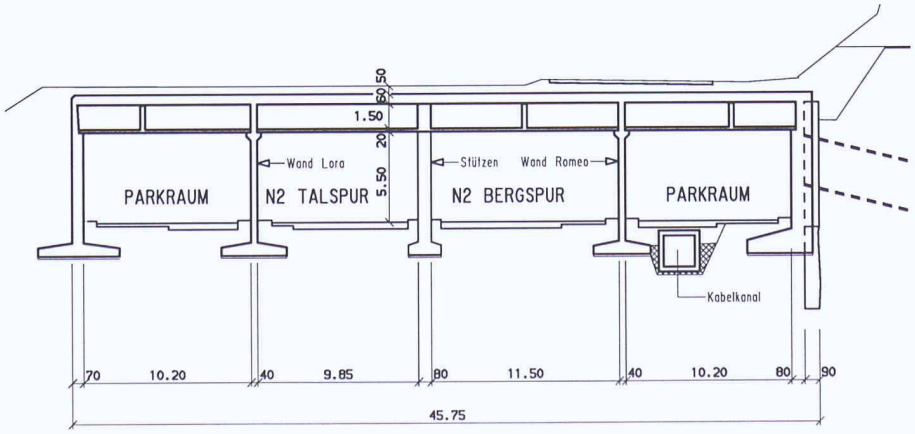

Bild 1.
Querschnitt durch den Vortunnel

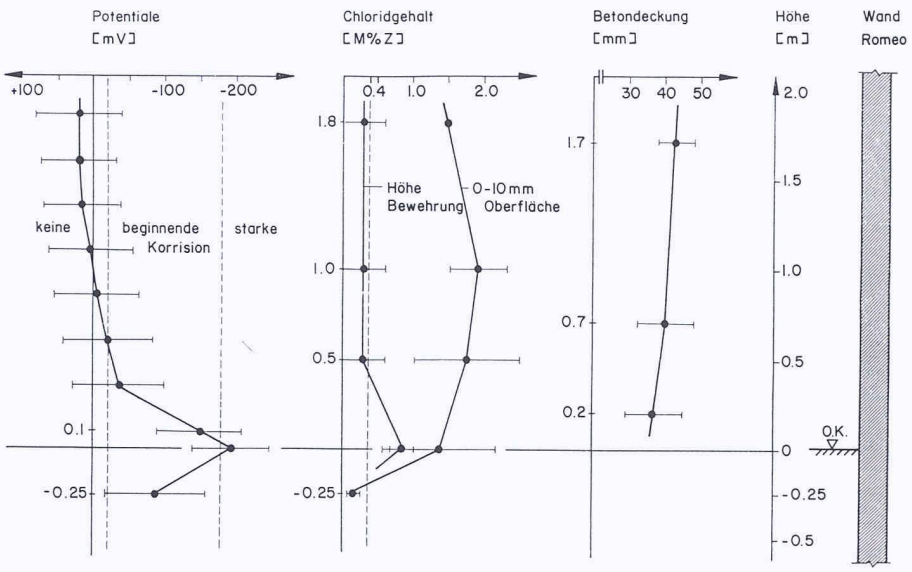

Bild 2.
Messresultate

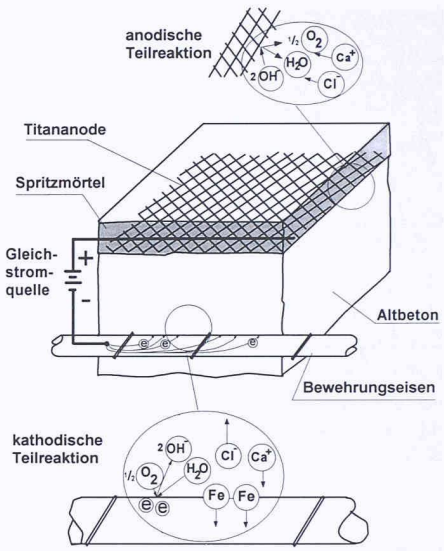

Bild 3.
Schema KKS

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-Meitschligen, die Spritzwasserbereiche der Fahrraumbereiche instandzusetzen. 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, instandgesetzt. 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-Meitschligen 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 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_2 ≥ 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

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

Tabelle 1.
Instandsetzungsvarianten

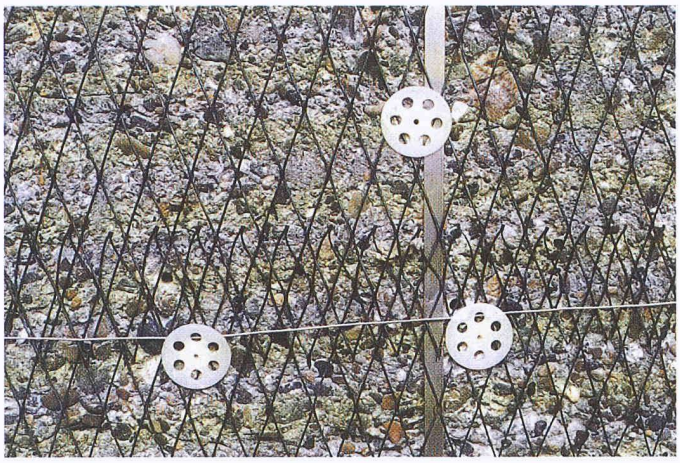

Bild 4.
Detail Anodennetz mit Kunststoffdübeln

Bild 5.
Doppelstütze mit KKS

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 m² KKS (2380 m² Wände, 480 m² Stützen) und 2640 m² Keramikplatten sowie 3300 m² 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 Titannetze mit aktivierter Oberfläche verwendet (Bild 4). Jeder der neun Speisebereiche wird von separaten Gleichrichtern gespiesen, 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/m³ betragen. Die Grösse des Grösstkornes liegt idealerweise zwischen 4 bis 8 mm.

Entsprechend diesen Grundlagen wurde der Spritzbeton spezifiziert: Grösstkorn 8 mm, 425 kg/m³ 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/mm² 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

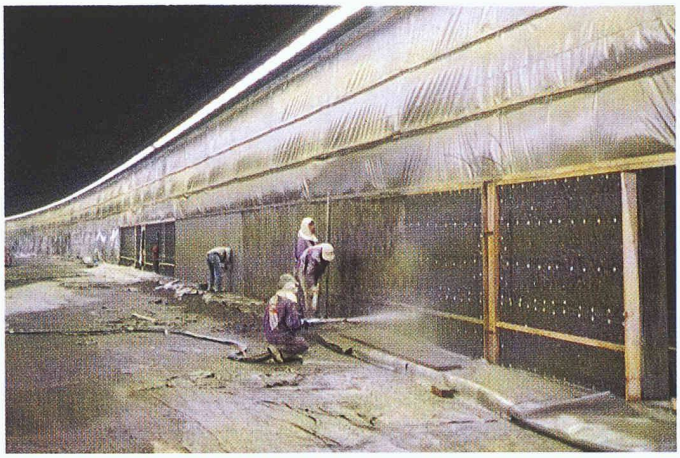

Bild 6.
Aufbringen des Spritzbetons

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/m².

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 aufgerauht. Hinsichtlich Grad des Aufrauhens wurden vorgängig Referenzflächen erstellt. Zudem erfolgte eine Abnahme des Untergrundes durch den Spritzbeton-Unternehmer. Gleichzeitig erstellte man die Aussparungen für die Überwachungselemente und Bewehrungsanschlüsse.

Um Kurzschlüsse zwischen Anode und Bewehrungen des Altbetons zu verhindern, wurde die aufgerauhte 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 $>1\,\Omega$) 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.

▪ zu schützende Fläche	2860 m²
▪ spezifische Strommenge	max. 5 mA/m²
▪ 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

Baukosten und Bauprogramm

Die Baukosten beliefen sich total auf 2,87 Millionen Franken, wovon 1,42 Millionen Franken auf den kathodischen Korrosionsschutz entfielen, die Baumeisterarbeiten mit eingeschlossen, was bei den Wänden Fr. 476.-/m² und bei den Stützen Fr. 607.-/m² entspricht. Die Plattenarbeiten kosteten an den Wänden Fr. 115.-/m² beziehungsweise Fr. 130.-/m² an den Stützen, die Beschichtung Fr. 22.- bzw. 26.-/m². Der kathodische Korrosionsschutz wurde im Herbst 94, während 14 Wochen, die Keramikplatten-Verkleidungen und die Beschichtungen im Früjahr 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.

Literatur

[1]
Keller T., Burri F.: Instandsetzung von Tunnels - 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.

Adresse der Verfasser:
Thomas Keller, Dr. sc. techn., Balestra AG - Ingenieure und Planer, Hertizentrum 2, 6300 Zug, und *Peter Gassner,* Helbling Ingenieurunternehmung AG, Hohlstrasse 610, 8048 Zürich.