

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 10

Artikel: Kathodische Korrosionsschutz-Anlage Reussbrücke Intschi
Autor: Huber, Heribert / Schreyer, André / Schmid, Manuel
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-79210>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.02.2026

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

Heribert Huber, Altdorf, André Schreyer, Zürich, Manuel Schmid, Effretikon

Kathodische Korrosionsschutz-Anlage Reussbrücke Intschi

Die vorliegende Publikation behandelt den kathodischen Korrosionsschutz am Beispiel der Instandsetzung des Brückenpfeilers Nord der Reussbrücke Intschi (A2, Kanton Uri). Über das Langzeitverhalten des kathodischen Korrosionsschutzsystems für Stahlbetonbauten liegen in der Schweiz noch nicht sehr viele Erkenntnisse vor. Die Erfahrungen und das Wissen über den kathodischen Korrosionsschutz (KKS) sollen am Beispiel der KKS-Anlage der Reussbrücke Intschi weitervermittelt werden.

Projektierung und Ausführung

Bei der visuellen Zustandserfassung des 48 Meter hohen, mit einer Gleitschalung erstellten Brückenpfeilers Nord der Reussbrücke Intschi (Bild 1) konnten Betonabplatzungen und Rostspuren vor allem am Pfeilerkopf und an den Kanten festgestellt werden. Die nachfolgend angeordneten Potentialmessungen zeigten, dass ein Grossteil der Bewehrung des rechten Flanschs korrodiert. Aus den Chloridanalysen an Bohrkernen resultierten erhöhte Chloridgehalte im Beton bis hinter die Bewehrung (Bild 5), der gesamte Pfeilerflansch ist mit Chloriden belastet. Ursache der Chloridverseuchung war der im Bereich des Pfeilers liegende undichte Einstieg in den Brückenkasten, durch den seit der Inbetriebnahme im Jahre 1971 chloridhaltiges Wasser an den Pfeiler gelangen konnte (Bild 2). Obwohl der Einstieg später zubetoniert wurde, führte die Einwirkung bereits zu gravierenden Schäden.

Nach Ausarbeitung verschiedener Instandsetzungsvarianten wurden diese mit den beigezogenen Experten besprochen, die sich für einen kathodischen Korrosionsschutz mit Betonummantelung aussprachen. Alle an diesem Entscheid Beteiligten sind der Meinung, mit der gewählten Variante den Pfeilerflansch langfristig vor Korrosion geschützt zu haben.

Überwachung der Anlage

Um den einwandfreien Schutz des Pfeilerflanschs zu gewährleisten, sind nach Inbetriebnahme der Anlage periodische Kon-

trollen vorzunehmen. In der Richtlinie C7 der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz (SGK) sind die durchzuführenden Kontrollen genau definiert. Im Sinne der Verbreitung des kathodischen Korrosionsschutzes im Bauwesen waren sich die Experten und Spezialisten darüber einig, dass die Betriebskontrollen durch ein neutrales Ingenieurbüro erfolgen sollten. Die erhobenen Daten aus den erwähnten Kontrollen sollen im weiteren zu wissenschaftlichen Zwecken ausgewertet werden.

Sollten die Überwachungskontrollen auf Störungen hinweisen, können diese behoben werden, bevor sich daraus Schäden entwickeln können. Ob sich der KKS nach einer gewissen Betriebszeit gemäss Zielsetzung des Bauherrn abschalten lässt, werden die wissenschaftlich erhobenen Daten und deren Beurteilung durch alle an der Überwachung mitwirkenden Stellen zeigen.

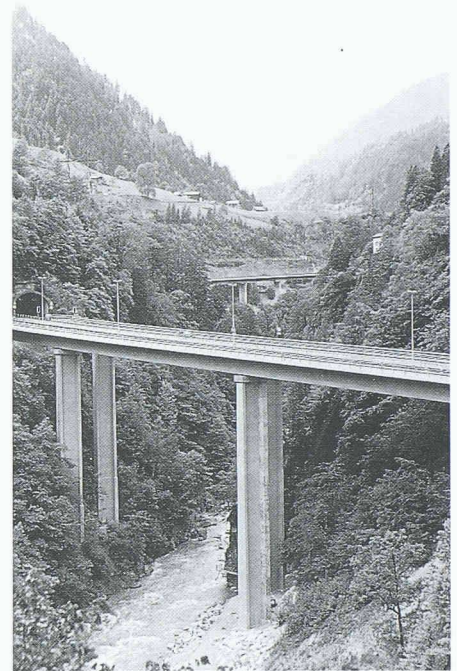
Bauliche Massnahmen

Zustandserfassung und -beurteilung

Bei der im Jahre 1988 durchgeführten Zustandserfassung vom Brückenuntersichtsgerät aus konnte nur der Pfeilerkopf erfasst werden, weil zum Zeitpunkt der Erfassung noch keine geeigneten Geräte für die Pfeilerkontrolle zur Verfügung standen. Am Pfeilerkopf wurden visuell Korrosion an der Bewehrung und lokale Betonabplatzungen an den Pfeilerkanten festgestellt (Bilder 3 und 6). Eine vollflächige Zustandserfassung und Beurteilung des Pfeilers war erst zum Zeitpunkt der Ausführung nach der Montage des Pfeilergerüsts möglich. Ursprünglich wurde angenommen, dass nur der Pfeilerkopf und der obere Pfeilerbereich sowie die Kanten durch Salzwasser und Bewehrungskorrosion beeinträchtigt waren (Bild 4).

Aufgrund der Potentialmessung und der Resultate der Kernbohrungen wurden jedoch folgende wesentliche Tatsachen festgestellt:

- Der Pfeilerflansch rechts, insbesondere einzelne Teilflächen, wurden durch Salzwassereinwirkungen auf die volle Pfeilerhöhe stark beeinträchtigt (Bild 5).



1
Gesamtübersicht Reussbrücke Intschi der A2 im Abschnitt Amsteg–Meitschligen. Der Pfeiler Nord (Talspur) befindet sich vorne rechts

- Obwohl die Bewehrungsüberdeckung relativ gross ist, wurde an der Bewehrung im Bereich der Kontrollfenster durchwegs Korrosion festgestellt.
- Im oberen Pfeilerbereich war zudem eine relativ grosse Hohlstelle vorhanden (kein Verbund im Stossbereich der Bewehrung).

Die gemäss Norm SIA 160 und 162 (1989) durchgeführten statischen Nachweise haben gezeigt, dass die Stütze Nord eine ausreichende Tragsicherheit aufweist. Die festgestellten Schäden an der Bewehrung infolge chloridinduzierter Korrosion stellen statisch keine massgebende Schwächung dar. Eine Verstärkung war daher

Am Bau Beteiligte

Bauherrschaft:
ASB (Bundesamt für Strassen- und Brückenbau) und Kanton Uri (Amt für Tiefbau, Abt. Kunstbauten)

Projektierung/Bauleitung:
Ernst Winkler + Partner AG, Effretikon/Altdorf

Experten:
Prof. Dr. C. Menn, Prof Dr. H. Böhni (ETH Zürich, IBWK), Dr. F. Hunkeler (SGK/TFB), Y. Schiegg (SGK, Überwachung)

KKS-Anlage:
Helbling Ingenieurunternehmung
Bauarbeiten:

Arbeitsgemeinschaft Intschibrücke (AG Conrad Zschokke, Zürich, Bau AG, Erstfeld, Alois Imholz AG, Schattdorf, Kopp AG, Luzern, Murer AG, Erstfeld)

nicht zwingend notwendig. Die Bewehrungskorrosion musste jedoch gestoppt werden.

Instandsetzungsvarianten

Allgemeines

In Absprache mit dem Bauherrn sind folgende Instandsetzungsvarianten untersucht worden:

- Betonabtrag (HDW-Abtrag des versalzten Betons [Cl-Gehalt > 0,4 M%Z] bis hinter die Bewehrung: Spritzbeton und Versiegelung)
- Elektrochemischer Chloridentzug (ECE)
- Kathodischer Korrosionsschutz
- Betonummantelung ohne Betonabtrag
- Betonabtrag (Cl-Gehalt > 0,4 M%Z) und Betonummantelung
- KKS + Betonummantelung

Vorgehen und Abklärungen

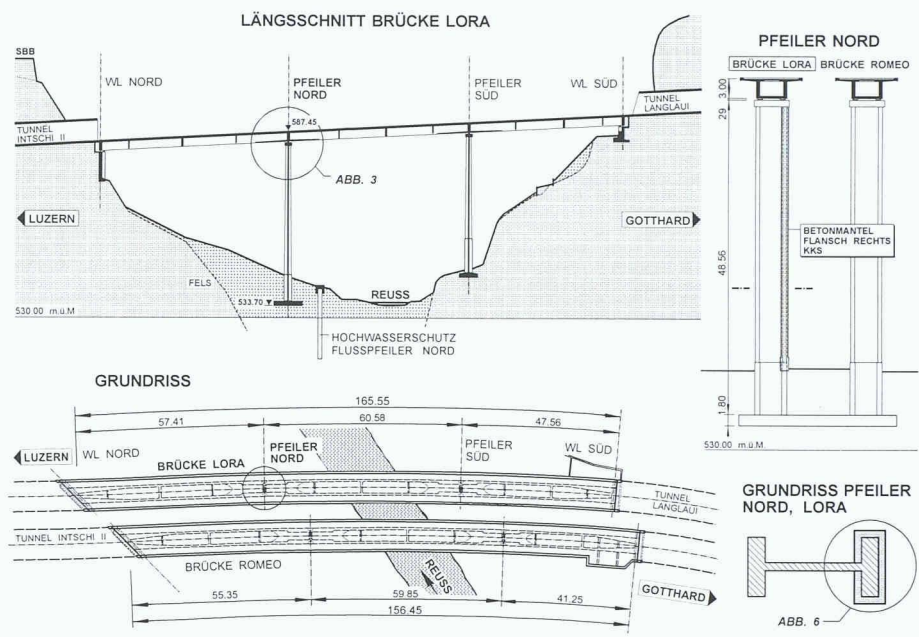
Die Bereitstellung der Unterlagen für die einzelnen Instandstellungsvarianten erforderte von den Beteiligten (Kasten) einen grossen Zeitaufwand, mussten doch sämtliche Varianten bezüglich Tauglichkeit, Ausführung, Kosten und Bauprogramm überprüft sowie die Spezialverfahren (KKS/ECE) mit den Spezialisten vor Ort besprochen und ähnliche Objekte besichtigt und analysiert werden. Dabei wurde festgestellt, dass sich die beiden Verfahren ECE und KKS zum damaligen Zeitpunkt in der Schweiz einerseits in der Versuchsphase (ECE) befanden und andererseits für Stahlbetonkonstruktionen im Brückenbau noch keine oder nur wenige Referenzobjekte vorhanden waren (KKS).

Beratung durch Experten

Mit den vom Bauherrn beigezogenen Experten wurden die Instandsetzungsvarianten anlässlich von drei Sitzungen an der ETH eingehend diskutiert. Insbesondere wurden folgende Themen ausführlich erörtert:

- Eingeschlossene Chloride: Einfluss auf Bewehrungskorrosion und Risiken
- Schadenfälle im Zusammenhang mit Chlorideinschluss: Erfahrungen im In- und Ausland
- Erfahrungen mit KKS: Überwachungskonzept und Kontrollaufwand
- Alternative Lösungen

Trotz intensiver Abklärungen betreffend Schadenfälle bei eingeschlossenem Chlorid konnten keine praktischen Beispiele im In- und Ausland eruiert werden. In Deutschland und Österreich wird bei Instandsetzungen der chloridverseuchte Beton entfernt.



2 Reussbrücke Intschi, Grundriss, Längsschnitt und Pfeileransichten

Die beiden Experten empfahlen dem Bauherrn die Variante kathodischer Korrosionsschutz mit Betonummantelung zur Ausführung.

Ausführungsprojekt

Pfeilerflansch-Ummantelung

Die Projektierung der Ummantelung war relativ einfach zu bewerkstelligen. Der bestehende Pfeiler wird mit einem 25 cm starken Betonmantel «verkleidet». Es wurde keine Verdübelung vorgesehen, sondern der bestehende Beton mit HDW mindestens 5 mm tief aufgeraut. Im Bereich des Pfeilerstegs wurden für die neue Bewehrung Bohrungen erstellt (Bild 7).

KKS-Anlage

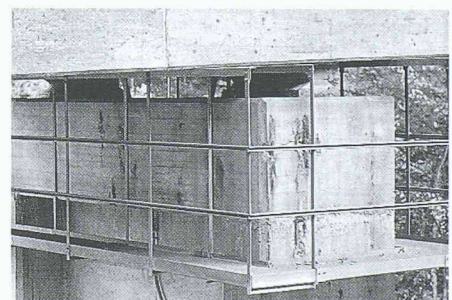
Der Kathodenschutz (KKS) ist zwischen bestehendem und neuem Beton angebracht worden. Die KKS-Anlage wird noch im Detail beschrieben.

Instandsetzung übrige Pfeilerbereiche

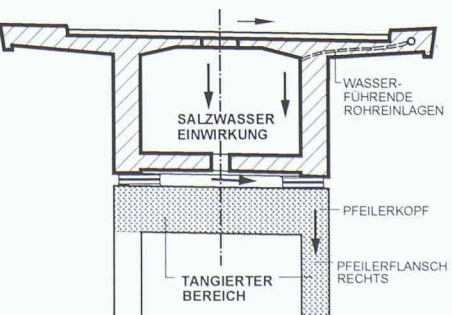
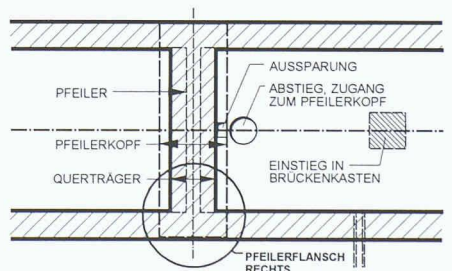
Die lokalen Fehlstellen im restlichen Pfeilerbereich wurden instandgesetzt und vollflächig versiegelt (Dünnbeschichtung).

Bauausführung und -programm

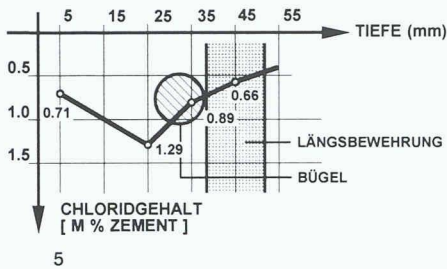
Die Ausführung der Pfeilerinstandsetzung erfolgte in einer Winterperiode (Januar bis April 1993). Es mussten entsprechende Schutzmassnahmen getroffen werden. Die



3 Pfeiler Nord, Spur Lora, Ansicht Stützenkopf Steg Nordseite mit Betonabplatzungen und freiliegender Bewehrung



4 Das von der Fahrbahn stammende Salzwasser gelangte durch den undichten Einstieg in den Brückenkasten und von dort an den Pfeiler



5
Typisches Chloridprofil, bestimmt an einem Bohrkern aus dem Pfeiler Nord



6
Betonabplatzung und rostige Bewehrung (Längsseisen und Bügel: Querschnittsverminderung rund 10% infolge chloridinduzierter Korrosion)

Herstellung der Pfeilerflansch-Ummantelung erfolgte in Etappen zu je 4 m Höhe. Für die Arbeiten musste ein völlig neues Arbeitsgerüst erstellt werden.

Konzept und Installationselemente

Prinzip

Um eine weitere Korrosion sowohl der alten wie auch der neuen Bewehrung auszuschliessen, wird ein kathodischer Korrosionsschutz installiert. Beim KKS mit Fremdstrom wird eine inerte Titananode mit aktivierter Oberfläche in den Elektrolyten, in diesem Fall den Betonmantel, eingebettet. 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 im Hinblick auf die Lebensdauer des Bau-

werks unbedeutendes und unbedenkliches Mass reduziert, d.h. praktisch gestoppt wird. Der grosse Vorteil dieser Methode ist, dass ein unter Umständen die Tragsicherheit der Brücke vermindender Abtrag des chloridkontaminierten alten Betons nicht notwendig ist.

Der KKS bietet zudem die Möglichkeit, die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen anhand der Potentiale der Bewehrung dauernd zu überwachen. Dazu werden verschiedene Überwachungselemente in das Bauwerk eingebaut.

Die Realisierung des KKS sah eine bis anhin noch nie eingesetzte «Sandwich-Bauweise» vor. Das bedeutet, dass die Anodenstreifen zwischen die alte und die neue Bewehrung zu liegen kamen. Dieses System ermöglicht es, beide Bewehrungen sicher mit einem individuell optimalen Schutzstrom zu versorgen. Es stellte aber gleichzeitig grosse Anforderungen an die elektrische Auftrennung im Bauwerk. Elektrische Kurzschlüsse zwischen der alten und der neuen Bewehrung oder zwischen der Anode und den beiden Bewehrungslagen waren unter allen Umständen zu vermeiden. Auf der anderen Seite mussten die einzelnen Bewehrungslagen in sich elektrisch gut leitend vermascht sein. Messungen zeigten, dass diese Bedingung auch in der alten Bewehrung gut erfüllt war.

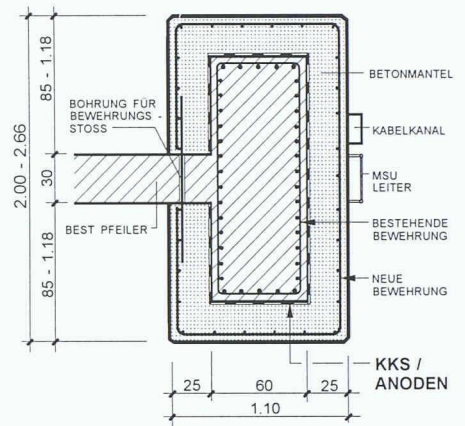
Anoden

Als Anoden wurden 20 mm breite Streifen aus einem inerten Titannetz eingesetzt, dessen Oberfläche mit einer speziellen leitfähigen Oxidschicht bedeckt ist (LIDA activated Titanium Typ CN 220). Die Anodenstreifen wurden auf der mit Hochdruckwasserstrahlen aufgerauhten Betonoberfläche mit Kunststoffelementen so befestigt, dass sie sich beim Betonieren nicht verschieben konnten (Bild 8). Vorgängig dazu wurde die Oberfläche abgefunkt, damit kein durch freiliegende Bewehrungsstäbe verursachter elektrischer Kurzschluss entstehen konnte.

Aufgrund der SGK-Richtlinie C7 wurde die notwendige Dichte der Anoden bestimmt. Die Anodenstreifen wurden in einem Abstand von 10 bis 20 cm so verlegt, dass sie nach Möglichkeit zwischen die vertikalen Bewehrungsstäbe zu liegen kamen. Das in Bild 9 gezeigte Schema des KKS im Pfeiler gibt einen Überblick über die Installationselemente.

Speisebereiche

Der zu schützende Bereich wurde aufgrund der Voruntersuchungen in einzelne Speisebereiche aufgeteilt, die unterschiedlich mit Strom beaufschlagt werden können. Aus Sicherheitsüberlegungen für den



7
Schematischer Querschnitt des Pfeilerflanschs

trotz aller Vorsicht nicht ganz auszuschliessenden Fall eines Kurzschlusses zwischen der Anode und der Bewehrung wurden diese weiter in sogenannte Subspeisebereiche aufgeteilt, deren elektrische Anodenanschlüsse erst ausserhalb des Betons verbunden wurden. Dadurch sollte erreicht werden, dass, wenn überhaupt, nur ein kleiner Teilbereich nicht mit Schutzstrom hätte versorgt werden können.

Verhinderung von Kurzschlüssen

Das Hauptproblem der gesamten Installation bestand darin, elektrische Kurzschlüsse zwischen der alten und der neuen Bewehrung sowie zwischen der Anode und den Bewehrungslagen zu vermeiden. Im folgenden wird an verschiedenen Beispielen gezeigt, welche Massnahmen notwendig waren, damit kein die Funktion des Systems lahmlegender Kurzschluss auftreten konnte.

Um den Verbund des neuen Betons mit dem bestehenden Pfeiler zu verbessern, wurden in einem vertikalen Abstand von 50 cm Löcher durch den Steg gebohrt, durch die Bewehrungsstäbe als Dorne geführt und mit der neuen Bewehrung verbunden wurden (Bild 9). Dabei war es entscheidend, dass kein Kontakt mit der im Steg vorhandenen alten Bewehrung auftreten konnte. So mussten sämtliche Bohrlöcher so eingemessen werden, dass kein Bewehrungsseisen getroffen wurde. Nach dem Einlegen der Stäbe wurde jeder einzelne darauf überprüft, ob tatsächlich kein Kontakt vorlag.

Während der Montage der Anodenstreifen wurde laufend die elektrische Auftrennung zur bestehenden Bewehrung über Widerstands- und Spannungsmessungen überprüft. Erst wenn ein Kurzschluss ausgeschlossen werden konnte, wurde die nächste Etappe montiert.

Die gesamte äussere Bewehrung wurde auf Distanzkörben mit Kunststofffüssen befestigt, damit beim Betonieren

kein Zufallskontakt zur Anode entstehen konnte. Nach dem Verlegen der äusseren Bewehrung und dem Stellen der Schalung wurden die elektrischen Widerstände und die Potentialdifferenzen zwischen den Bewehrungen und der Anode wiederum überprüft. Nach diesen Kontrollen wurden die einzelnen Etappen zum Betonieren freigegeben. Während und nach dem Betonieren wurden die Kontrollmessungen fortgesetzt, so dass allfällig auftretende Kurzschlüsse sofort eliminiert werden konnten. Elektrische Kontakte entstanden vor allem an Schwachstellen der Titanbänder (Verschweissungen), die während des Betonierens aufbrachen und durch ein Zurückfedern des Bands einen Kurzschluss verursachten.

Gleichrichter

Der Gleichrichter zur Einspeisung des Schutzstroms wurde in der bestehenden Trafostation Elmenrütli untergebracht. Die notwendigen Kabel zwischen dem Pfeiler und dem Gleichrichter konnten in ein bestehendes Kabeltrasse im Tunnel verlegt sowie in ein Hüllrohr eingezogen werden, das nur wenige Meter verlängert werden musste. Der Gleichrichter ist somit das ganze Jahr hindurch problemlos zugänglich. Von einem Messtableau aus, das im Gleichrichter integriert ist, können die wichtigsten Werte wie Strom und Spannung pro Speisebereich sowie die Potentiale an zehn ausgesuchten, mit Referenzelektroden ausgerüsteten Stellen gemessen werden.

Inbetriebnahme

Die KKS-Anlage wurde im November 1993 in Betrieb gesetzt und konnte nach einer mehrmonatigen, durch den Winter verlängerten Einregulierungsphase Ende Mai 1994 durch die Bauherrschaft abgenommen werden.

Nachweis der Wirkung

Die Wirksamkeit des kathodischen Schutzes und damit der Korrosionszustand der Bewehrung können mit den im Bauwerk eingebauten zehn Referenzelektroden überwacht werden. Der Nachweis der Wirksamkeit erfolgt neben der Kontrolle von Stromdichten sowie Ein- und Ausschaltpotentialen hauptsächlich über sogenannte Depolarisationsmessungen. Eine weitere Beurteilungsgrösse ist die auf die Bewehrungsfläche bezogene Schutzstromdichte. Sie soll grundsätzlich so gering wie möglich eingestellt werden. Da der elektrische Widerstand des Betons eine ausgeprägte Abhängigkeit von der Bauwerkstemperatur zeigt, wurde zusätzlich ein kombinierter Temperatur- und Feuchtigkeitsfühler eingebaut. Um eine

Beurteilungsgrundlage für den Zeitpunkt der Abschaltung der KKS-Anlage zu erhalten, wurden zehn Makrozellen (Stahlstäbe in Chloridmörtel) in den Pfeiler einbetoniert.

Überwachung der KKS-Anlage

Zielsetzung

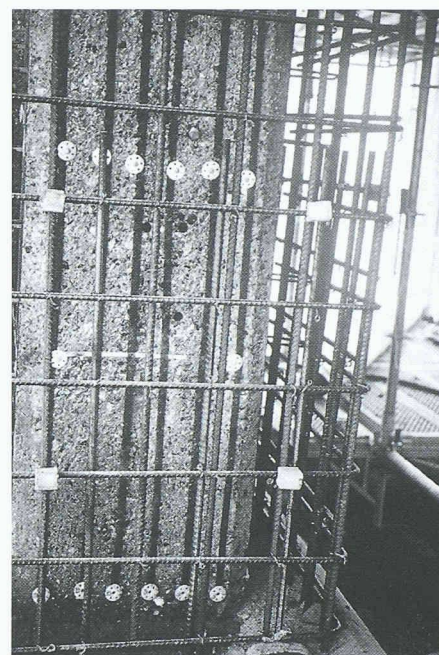
Der KKS ist ein Verfahren, dessen Einrichtungen und Schutzwirkung periodisch kontrolliert werden müssen. Bei der KKS-Anlage der Reussbrücke Intschi werden die Kontrollen vor allem in den ersten Betriebsjahren wesentlich intensiver vorgenommen, als es die Richtlinie C7 der SGK vorsieht. Die Auslegung der Anlage sowie die Kontrollen dienen dazu, das KKS-System wissenschaftlich beurteilen zu können.

Die Beurteilung der durch die erwähnten Kontrollen erhobenen Daten soll die Schutzwirkung sicherstellen und die Grundlagen für eine allfällige Nachregulierung des Systems liefern. Das Studium des Verhaltens der Anlage soll zudem Aufschluss über ein späteres Abschalten der Anlage geben.

Betriebskontrolle

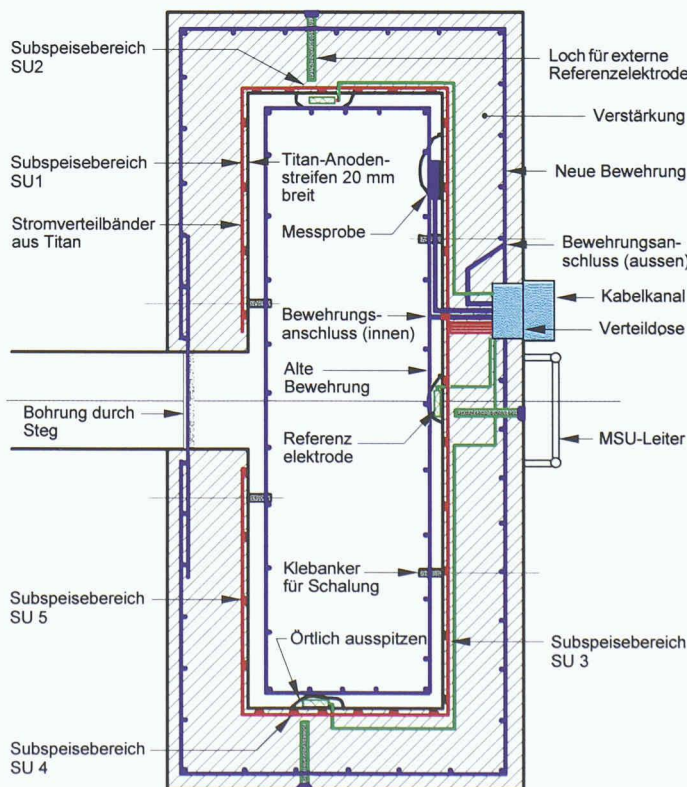
Die Betriebskontrolle gibt Aufschluss darüber, ob der Gleichrichter funktioniert. Monatlich werden folgende Daten ermittelt:

- Spannungen und Ströme der einzelnen Messbereiche

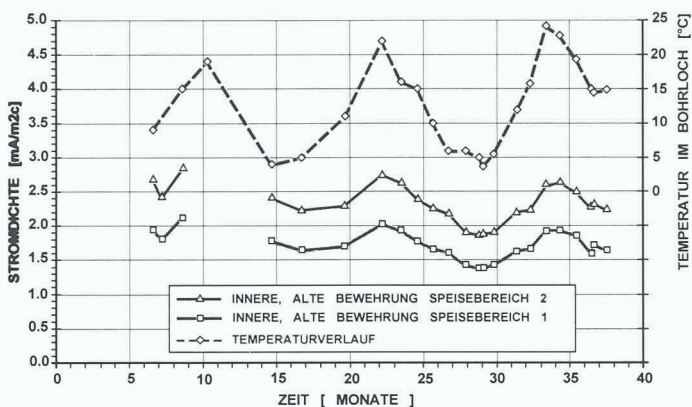


8 Auf der aufgerauten Betonoberfläche wurde das Anodennetz aus Titan fixiert. Davor befindet sich die neue Bewehrung für die Betonummantelung

- Ein- und Ausschaltpotentiale der inneren (alten) und äusseren (neuen) Bewehrung an allen permanent installierten Messpunkten
- Depolarisation über vier Stunden
- Temperatur und relative Feuchtigkeit im Bohrloch mit dem am Pfeiler eingebauten Fühler



9 Schematischer Querschnitt durch den Pfeiler mit der KKS-Anlage



10
Abhängigkeit der
Stromdichte
[mA/m²c] von der
Temperatur, gemessen im Bohrloch
des Pfeilerflanschs

Funktionskontrolle

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Messungen der Betriebskontrolle werden im Rahmen der Funktionskontrolle alle drei Monate noch folgende Arbeiten vor Ort durchgeführt:

- Visuelle Kontrolle des gesamten KKS-Systems
- Messung der Wechselstromwiderstände zwischen Anode und Kathode

Systemkontrolle

Die Systemkontrolle wird alle fünf Betriebsjahre durchgeführt und beinhaltet neben oben (Funktionskontrolle) aufgeführten Messungen folgende Arbeiten:

- Eichung der fest eingebauten Referenzelektroden
- Auswertung aller Ergebnisse der Messungen und Kontrollen

Fernmelde-/Fernwirkanlage

Zur Überwachung der KKS-Anlage wurde eine Fernmelde-/Fernwirkanlage in der Trafostation Elmenrütli installiert. Vor Ort ist ein Computer vorhanden, mit dem

Kosten

Die Instandsetzungskosten (Preisbasis 1991) für die einzelnen Arbeiten setzen sich wie folgt zusammen:

| | |
|-------------------|---------------|
| A Bauarbeiten | |
| Installationen | Fr. 24 000.- |
| Pfeilergerüst | Fr. 67 000.- |
| HDW-Arbeiten | Fr. 25 000.- |
| Betonkonstruktion | Fr. 124 000.- |
| Zuleitung | Fr. 9 000.- |
| Total | Fr. 249 000.- |

| | |
|-------------------------------|---------------|
| B KKS-Anlage | |
| Materiallieferungen, Montage, | |
| Ingenieurleistungen | Fr. 145 000.- |
| Fernüberwachung | Fr. 47 000.- |
| Total | Fr. 192 000.- |

Total A+B Fr. 441 000.-

Kosten KKS-Anlage pro m² (exkl. Gerüst HDW und Betonmantel; Fläche Pfeilerflansch 180 m²)

| | |
|-----------------|----------------------------|
| KKS-Anlage | Fr. 805.-/m ² |
| Fernüberwachung | Fr. 260.-/m ² |
| Total | Fr. 1 065.-/m ² |

die Verbindung über ein Modem von einer PC-Abfragestation aufgenommen werden kann. Die aktuellen Betriebsdaten der KKS-Anlage können somit jederzeit abgefragt werden. Mittels der Fernwirkanlage kann die Depolarisationsmessung ausgelöst und die protokollierten Messwerte können via Modem auf den Computer der Abfragestation übermittelt werden.

Depolarisationsmessungen

Kathodisch geschützte Stahlbetonbauteile können allein aufgrund der Ausschaltpotentiale (U_{Aus}) nicht ausreichend beurteilt werden. Aus diesem Grund werden Depolarisationsmessungen durchgeführt. Dabei wird der Schutzstrom für vier Stunden unterbrochen und der dadurch stattfindende Potentialanstieg ($U_{Aus, 4h} - U_{Aus}$) als Beurteilungskriterium herangezogen. Das Ausschaltpotential muss 1 bis 3 Sekunden nach dem Ausschalten des Schutzstroms gemessen werden.

Beurteilung der Anlage

Für die wissenschaftliche Beurteilung der Anlage sind folgende Messgrößen aus den Betriebs- und Funktionskontrollen auszuwerten:

- Mittlere Stromdichte, bezogen auf die Betonoberfläche i_{AV} [mA/m²c]
- Einschaltpotential U_{Ein} [mV_{SSE}]
- Ausschaltpotential U_{Aus} [mV_{SSE}]
- Ausschaltpotential nach vier Stunden $U_{Aus, 4h}$ [mV_{SSE}]
- Widerstand zwischen der Anode und der Kathode [Ωm^2]
- Temperatur-/Feuchtigkeitsmessung im Bohrloch

Damit ein genügender Schutz der Bewehrung vorhanden ist, muss der Potentialanstieg bei der Depolarisation 100 mV betragen. Dieses Kriterium wurde bei den meisten Referenzelektroden im Pfeiler der Reussbrücke Intschi seit der Inbetriebnahme der Anlage erfüllt.

Der Vergleich der Depolarisationsmessungen an den Referenzelektroden der äusseren Bewehrung von 1994 und 1995 zeigt, dass Verschiebungen der Ein- und Ausschaltpotentiale stattgefunden haben. Dieses Phänomen ist auf zwei Effekte während der kathodischen Polarisation zurückzuführen. Zum einen bewegen sich freie Chloridionen von der Bewehrung weg, und zum anderen kommt es zu einer Erhöhung der Alkalität durch die elektrochemische Reaktion am Stahl. Beides begünstigt eine Repassivierung der Bewehrung, was wiederum mit einer Verschiebung der Einschaltpotentiale (Potentialanstieg) verbunden ist.

In Bild 10 ist die Schutzstromdichte der Speisebereiche 1 und 2 als Funktion der Betriebszeit der Anlage aufgezeichnet. Bei der inneren (alten) Bewehrung lässt sich eine deutliche Abhängigkeit der Schutzstromdichte von der Temperatur feststellen. Die Stromdichte der inneren (alten) Bewehrung ist um rund 50% höher als diejenige der äusseren (neuen) Bewehrung. Der Betonwiderstand zwischen der Anode und der äusseren bzw. der inneren Bewehrung ändert sich entsprechend dem Temperaturverlauf:

- Tiefe Temperaturen: grosser Widerstand
- Hohe Temperaturen: kleiner Widerstand

Im Sommer werden gegenüber den Wintermonaten kleinere Depolarisationswerte ($U_{Aus, 4h} - U_{Aus}$) ermittelt.

Zusammenfassung / Ausblick

Nach einer Betriebsdauer von drei Jahren hat sich das System eingespielt. Die Stromdichten liegen zwischen 1,0 und 3,5 mA/m²c. Aufgrund der relativ geringen Schutzstromdichten und der nachgewiesenen Schutzwirkung bei den momentanen Einstellungen besteht keine Notwendigkeit zur Veränderung der Systemeinstellungen.

Nach fünf Betriebsjahren wird ein Teil der einbetonierten Makrozellen ausgebaut, um eine weitere Beurteilungsgrundlage für den Zeitpunkt der Abschaltung der KKS-Anlage zu erhalten.

Adressen der Verfasser:

Heribert Huber, dipl. Ing. ETH/SIA, Kanton Uri, Amt für Tiefbau/Kunstabtanten, Klausenstrasse 2, 6460 Altdorf, André Schreyer, Dr. sc. techn., dipl. Chem. ETH/SIA, Helbling Ingenieurunternehmung AG, Hohlstrasse 610, 8048 Zürich, Hugo Moretti und Manuel Schmid, dipl. Ing. ETH/SIA, Ernst Wikler + Partner AG, Bauingenieure, Planer und Geometer, Rikonstrasse 4, 8307 Effretikon