

# Instandsetzungsmöglichkeiten in einem Solebadbecken

## Repair of a saline bath construction

Daniel Bindschedler <sup>\*)</sup>, Arved Kelm <sup>\*\*)</sup>, Martin Brem <sup>\*)</sup>

<sup>\*)</sup> SGK - Schweizerische Gesellschaft für Korrosionsschutz, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zürich

<sup>\*\*)</sup> Guldager (Schweiz) AG, Schneckelerstrasse 20, CH 4414, Füllinstorf

### Abstract

The load bearing columns of a saline bath corroded heavily after only 3 years of use. As the main cause of the damages a locally poor concrete quality was detected. For the repair and additional corrosion protection measures several restricting factors had to be considered. All construction and installation works had to be realized during the yearly service periods of two or three weeks and the repair measures had to satisfy the aesthetic visions of the architect. The different options for the repair are discussed and the chosen variant is presented. It consists in a combination of a partial replacement with the use of more corrosion resistant materials and the application of a cathodic protection.

In einem Solebad sind nach ca. 3-jähriger Betriebsdauer erhebliche Korrosionserscheinungen an den tragenden Stützen aufgetreten. Deren Hauptursache lag in der lokal schlechten Betonqualität der Schleuderbetonpfeiler. Für die Instandsetzung und zusätzlich zu treffende Korrosionsschutzmassnahmen waren verschiedene erschwerende Rahmenbedingungen zu beachten. So konnten die Arbeiten nur während den jährlichen Reinigungsperioden (2 bis 3 Wochen) durchgeführt werden und es durften keine ästhetischen Beeinträchtigungen am Objekt entstehen. Die verschiedenen, in Betracht gezogenen Massnahmen werden diskutiert und die ausgeführte Variante vorgestellt. Die Problemlösung wurde durch die Kombination eines Teilersatzes unter Verwendung korrosionsbeständigerer Werkstoffe und eines kathodischen Korrosionsschutzes erreicht.

## 1. Situation

Das Solebecken eines grösseren Hallenbads hat einen Durchmesser von 25 m. Im Becken befinden sich 6 Stützen aus Schleuderbeton, die eine Kuppel tragen. Unterhalb des Solebeckens sind diverse Funktionsbecken angeordnet. Die Stützen in den Funktionsbecken und im Solebecken sind durchgehend. Sie sind in den Funktionsbecken bis etwa 3 cm unterhalb des maximalen Wasserspiegels, im Solebecken bis etwa 80 cm oberhalb des Wasserspiegels mit Keramikplatten versehen. Wände und Böden der Becken sind vollflächig mit Keramikplatten ausgekleidet.

Der Salzgehalt des Wassers beträgt 2 %, die Temperatur 35 °C. Der Wasserspiegel im Solebecken liegt konstant auf einer Höhe von 1.4 m. In den Funktionsbecken schwankt der Wasserspiegel zwischen etwa 1.2 und 2.3 m.

## 2. Korrosionszustand und Korrosionsursache

Bereits einige Monate nach der Inbetriebnahme wurden an einzelnen Stützen des Solebeckens und des Schwallwasserbeckens (Funktionsbecken) rotbraune Flecken festgestellt, die auf Korrosion an der Bewehrung der Stützen hindeuteten. Mittels Potenzialfeldmessungen konnten praktisch bei allen Stützen Korrosionsherde identifiziert werden. Die Angriffsstellen konzentrieren sich dabei auf zwei Bänder in ca. 60 bis 80 cm und 130 bis 160 cm Höhe. Bei den anschliessend durchgeführten Sondagen wurden an der im Mittel eine Betonüberdeckung von 40 mm aufweisenden Stützenbewehrung lokale Korrosionsabträge von bis zu 4 mm, entsprechend 10 bis 40 % Querschnittsverlust an den Bewehrungsstäben, gefunden. Die Chloridgehalte auf Bewehrungshöhe lagen zwischen 0.2 und 4 M%-Z. Bemerkenswert ist dabei, dass im Solebecken auch 60 cm oberhalb des Wasserspiegels noch deutlich erhöhte Chloridgehalte (bis 1 M%-Z) vorhanden waren. Ursache für die Korrosionsangriffe und die teilweise tiefreichende Versalzung der Stützen war eine lokal ungenügende Betonqualität der Schleuderbetonstützen (Kiesnester an der Oberfläche und starke Verdichtungsstörungen).

Die Zustandsuntersuchungen zeigten, dass mit einer Ausnahme bereits an allen Stützen einzelne aktive Korrosionsherde vorhanden waren. Schwerwiegender war jedoch die Erkenntnis, dass noch weitere, durch hohe Chloridgehalte stark gefährdete Stellen mit schlechter Betonqualität vorhanden sind, die mittels Potentialmessungen nicht oder nur bedingt erfasst werden konnten, da diese durch die Ausstrahlung

stärker korrodierender Bereiche überdeckt wurden oder kathodisch geschützt waren. Bei einzelnen Stützen im bodennahen Bereich des Solebeckens festgestellte lokale Potenzialabsenkungen mussten zudem als möglicher Hinweis dafür gewertet werden, dass Korrosionserscheinungen auch an der Bewehrung der Bodenplatte resp. den Durchführungen der Stützen durch den Boden des Solebeckens vorhanden sein könnten. Der aktuelle Korrosionszustand wurde als noch annehmbar bewertet, angesichts der tragenden Funktion der Stützen gelangte man jedoch zum Schluss, dass die Durchführung von Massnahmen zur Verhinderung eines weiteren Korrosionsfortschritts innerhalb von 2 Jahren realisiert werden müssen.

### **3. Diskussion der Instandsetzungsvarianten**

#### **3.1 Mögliche Massnahmen**

Da eine genaue Lokalisierung potentiell gefährdeter Bereiche und die Angabe des Ausmasses von korrodierenden und korrosionsgefährdeten Bereichen nur bedingt, respektive mit gewissen Unsicherheiten möglich war, drängte sich eine vollflächige Instandsetzung auf. Dabei wurden folgende Varianten in Erwägung gezogen:

##### **3.1.1 Betoninstandsetzung (Varianten A-C)**

- A) Abtrag des chloridverseuchten Betons (bei den Stützen im Solebad bis ca. 2.5 m Höhe), falls erforderlich Ergänzung korrodierter Bewehrung und Verhinderung des erneuten Zutritts von Chloriden, z. B. durch eine Ummantelung der Stützen mit Blechen aus nichtrostendem Stahl
- B) Ersatz der Stützen und Schutz gegen das Eindringen von Chloriden oder Verwendung ausreichend korrosionsbeständiger Bewehrungsstähle
- C) Elektrochemische Chloridentfernung und Verhinderung des erneuten Zutritts von Chloriden

Das Hauptproblem bei den konventionellen Varianten A und B ist die statische Beanspruchung während der Instandsetzung, welche ein etappenweises Vorgehen mit entsprechenden Abstützungsmassnahmen erfordert, sowie bei der Variante B zusätzlich die Realisierung der Anschlüsse zur bestehenden Konstruktion.

Bei der elektrochemischen Chloridentfernung (Variante C) können nur rund 60 % der Chloride, welche sich zwischen der Betonoberfläche und der Bewehrung befinden entfernt werden, was als alleinige Schutzmassnahme als nicht ausreichend erachtet wurde.

---

### **3.1.2 Veränderung der Angriffsbedingungen (Variante D)**

Ins Auge gefasst wurde auch die Möglichkeit einer Reduktion der Korrosionsgeschwindigkeit durch die Austrocknung der Stützen. Dies könnte z.B. durch eine Um-mantelung der Stützen mit Blechen aus nichtrostendem Stahl angestrebt werden. Eine weitere Verbesserung der Situation hätte dabei durch eine vorgängig durchge-führte elektrochemische Entsalzung erreicht werden können.

Diese Variante birgt das grösste Risiko und wäre nur in Verbindung mit einem Moni-toring zur Verfolgung der Veränderungen des Betonwiderstands resp. der Korrosi-ongeschwindigkeit und dem entsprechenden Aufwand vertretbar gewesen.

### **3.1.3 Kathodischer Schutz (Variante E)**

Der kathodische Schutz ist grundsätzlich ein geeignetes und bewährtes Schutzver-fahren für die Bewehrung von Stahlbetonkonstruktionen. Im vorliegenden Fall waren einige Besonderheiten vorhanden, welche die Applikation eines KKS erschwerten. So stellte sich unter anderem die Frage der Anodenanordnung resp. des Anoden-typs. In den luftberührten Bereichen wird nur mit einer direkt an der Stütze ange-brachten, eingemörtelten Netzanode (zusätzliches Gewicht) oder einer leitenden Be-schichtung eine ausreichende Wirkung zu erreichen sein, während dem in den einge-tauchten Bereichen eher eine Lösung mit im Wasser platzierten Anoden angestrebt wurde, um auch die Bewehrung der Beckenwände und des Beckenbodens mit schützen zu können. Hier musste allerdings zunächst untersucht werden, ob mit ei-ner solchen Anodenanordnung eine ausreichende Schutzstromzufuhr zu der hinter der Keramikauskleidung befindlichen Bewehrung möglich ist.

Entsprechende Vorversuche zeigten, dass mit im Wasser platzierten Anoden ein ausreichender Schutz für die Bewehrung der wasserberührten Zonen ohne Weiteres möglich ist, dass die Wirkung des KKS ohne zusätzliche, direkt auf der Betonoberflä- che montierten Anoden aber auf einen Bereich bis etwa 20 cm über den Wasser-spiegel beschränkt ist.

## **3.2 Randbedingungen**

### **3.2.1 Architektonische Rahmenbedingungen**

Bei der Instandsetzung musste im Solebecken das architektonische Grundkonzept, z.B. die Beckenauskleidung mit Keramikplatten, beibehalten werden. Diese Anforde-rung verhinderte unter anderem die Applikation eines KKS mit direkt auf dem Beton befestigten Netzanoden, weil dies zu einer Verdickung der Stützen geführt hätte.

---

### **3.2.2 Zeitliche Rahmenbedingungen**

Die Instandsetzungsarbeiten konnten ausschliesslich während der max. 4 Wochen dauernden Revisionsphasen (alle 2 Jahre) ausgeführt werden. Eine konventionelle Betoninstandsetzung mit Betonabtrag und Reprofilierung wäre im Solebecken allein schon aus diesem Grund nicht möglich gewesen.

### **3.2.3 Betriebliche Rahmenbedingungen**

Ein besonderes Augenmerk war bei den Installationen im Solebecken auch auf die Betriebssicherheit zu richten.

Um starke Kalkablagerungen an den im Solebecken befindlichen Bauteilen aus nichtrostendem Stahl (Treppengeländer, Haltegriffe, etc.) zu vermeiden, wurden diese von der Beckenbewehrung isoliert montiert und nicht in den Potenzialausgleich mit einbezogen. Aufgrund der in der Schweiz geltenden elektrischen Vorschriften, ist eine gleichzeitige Berührung dieser Einbauten mit elektrischen Betriebsmitteln nicht möglich, so dass die Personensicherheit jederzeit gewährleistet ist.

## **4. Ausgeführte Variante**

Aufgrund der oben aufgeführten Rahmenbedingungen wurde ein etappenweises Vorgehen mit einer Kombination verschiedener Schutzmassnahmen gewählt.

In einer ersten Etappe wurde der obere Teil der Stützen zwischen dem Boden des Solebeckens und der Kuppel ersetzt. Da die Einrichtung eines kathodischen Schutzes aus Zeitgründen erst in einer späteren Phase möglich war, wurden die neuen Stützen mit einer hoch korrosionsbeständigen Bewehrung versehen.

In der zweiten Etappe wurden die Stützen in den Funktionsbecken instandgesetzt. Dort wurden die bestehenden Stützen durch eine Vorbetonierung verstärkt und die Bewehrung anschliessend kathodisch geschützt. Um in den wenigen cm oberhalb des maximalen Wasserspiegels, wo der KKS nur eine begrenzte Wirkung hat, eine ausreichende Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten, wurde bei der Verstärkung ein Bewehrungsstahl mit erhöhter Korrosionsbeständigkeit eingesetzt. Um den Aufwand während der Bauarbeiten und der Inbetriebnahme zu minimieren, wurde zunächst ein „provisorischer“ Schutz mit Opferanoden installiert.

Erst in einer dritten Phase, 6 Jahre nach dem Feststellen der Schäden, konnten dann die Instandsetzungsarbeiten abgeschlossen werden. Diese bestanden in der Installation des kathodischen Schutzes für das Solebecken und die Umrüstung des Opferanodensystems in Schwallwasserbecken auf ein Fremdstromsystem.

---

## 4.1 Werkstoffe

Im Solewasserbecken wurden wiederum Schleuderbetonstützen eingebaut. Die Bewehrung und die Anschlüsse zur bestehenden Konstruktion wurden mit einem nicht-rostenden Duplexstahl 1.4462 ausgeführt.

Im Schwallwasserbecken wurde die neue Bewehrung mit einem nach einem speziellen Verfahren hergestellten 13 %-Chromstahl (TOP 12) ausgeführt. Dieser ist in alkalischem Beton bis zu Chloridgehalten von ca. 1 M%-Z beständig.

## 4.2 Kathodischer Korrosionsschutz

### 4.2.1 Ausführung

Nachdem als Ausführungsvariante der kathodische Korrosionsschutz mit Fremdstrom im Solewasserbecken und Schwallwasserbecken bestimmt war, stellte sich speziell im Solewasserbecken früh die Frage wie und wo die Anoden platziert werden sollten.

Solewasserbecken:

Die Ästhetik des Beckens sollte wenn möglich nur gering verändert werden. Die Badegäste sollten keine Beeinträchtigung beim Badespass erfahren. Hygienische Aspekte und Langlebigkeit führten schliesslich zu einer Anodenkonstruktion welche bisher in dieser Form noch nicht eingesetzt wurde (Bild 1). Für das Solewasserbecken fiel die Wahl auf eine Telleranoden-Konstruktion aus mischoxidbeschichteten Titananoden welche im Beckenboden eingelassen wurde. Mittels Kernbohrungen in die darunterliegenden Funktionsbecken konnten die Anoden elektrisch angeschlossen werden. Eingebaut wurden sechs Anoden zwischen den Stützen um eine optimale Stromverteilung zu erreichen.

Besondere Anforderungen wurden an die Sicherheit der Badegäste gestellt. Weil die Badegäste direkt auf die Anoden stehen können, musste gewährleistet werden, dass keine zu hohen Spannungen auftreten können. Deshalb war die Vorgabe einen Sicherheitstransformator nach EN 61558 einzusetzen.

Es wurden 2 Speisebereiche definiert um den Strom auf die Stützen und den Boden einzeln einstellen zu können:

Speisebereich 1: Solebecken (Wand und Boden)

Speisebereich 2: Solebecken (Stützen)

Im Funktionsbecken wurden mischoxidbeschichteten Titananoden in Stabform eingebaut.

#### **4.2.2 Ueberwachungselemente**

Im Solewasserbecken wurden zwei Messsonden im Boden eingebaut. Die Messsonden bestehen aus einem Bewehrungsstab ( $\varnothing$  8 mm, L=100 mm) und einer Mangandioxid Referenzelektroden (Force ERE20).

Auch in den Stützen des Funktionsbeckens befindet sich eine Messsonde gleichen Typs.

#### **4.2.3 Messergebnisse**

Zwei Monate nach der Inbetriebnahme wurde eine Wirkungskontrolle des Kathodischen Korrosionsschutzes durchgeführt.

##### **4.2.3.1 Funktionsbecken**

Im Funktionsbecken floss ein Schutzstrom von 108.5 mA. An den Messproben wurde ein Ausschaltpotenzial von -1.065 V MnO<sub>2</sub> gemessen.

Die Depolarisationsmessung der Bewehrung in den Stützen ergab eine Depolarisation von 160 mV nach 24 Stunden. Dieser Wert liegt deutlich über dem geforderten Wert von min. 100 mV.

##### **4.2.3.2 Solebecken**

Im Solebecken wurde ein Schutzstrom von 108.7 mA gemessen. An den Messproben wurde ein Ausschaltpotenzial von -666 mV MnO<sub>2</sub> erreicht.

Die Depolarisationsmessung der Bewehrung im Solebecken ergab eine Depolarisation von 306 mV nach 24 Stunden. Dieser Wert liegt ebenfalls deutlich über dem geforderten Wert von min. 100 mV.

Nach einigen Monaten Betrieb wurde festgestellt, dass sich an zwei von drei Geländern des Solebades Kalkablagerungen im Bereich des Wassers gebildet haben. Eine Überprüfung der betroffenen Geländer hat gezeigt, dass die Geländer mit der Bewehrung des Solebeckens verbunden waren. Die Geländerpfosten wurden von der Bewehrung des Solebeckens getrennt. Nach der Trennung sind an den Geländern keine Kalkablagerungen mehr aufgetreten.

Im Bereich der Geländerpfosten, welche sich ausserhalb des Solebeckens befinden, wurden nach dem Abtrennen vermehrt Korrosionsprodukte im Bereich des Betons gefunden (Bild 2). Die Messung des Potenzials der Bewehrung im Solebecken und der Bewehrung ausserhalb des Solebeckens hat gezeigt, dass bei eingeschaltetem

---

Schutzstrom ein Spannungsgradient von 363 mV vorhanden ist. Dies führte zu einem Korrosionsangriff am Geländerfuss durch einen Streustrom, welcher im Wasser in das Geländer eintritt und im Bereich des Betons vom Geländer in die Bewehrung fließt.

Zur Verhinderung des durch den kathodischen Schutz verursachten Streustroms muss entweder der Stromeintritt in das Geländer (im Wasser) oder der Stromaustritt aus dem Geländer (im Beton) unterbunden werden. Ebenfalls kann der Stromfluss im Geländer durch den Einbau eines Isolierstückes unterbrochen werden.

Die Lösung zur Verhinderung des Streustromes bestand darin, das Treppengeländer über dem Wasserspiegel mit einem Isolierstück zu versehen um ein Fließen des Schutzstromes auf dem Bauteil zu verhindern.

## **5. Schlussfolgerungen**

Es zeigt sich, dass sowohl Solebecken als auch Schwallwasser Behälter ausreichend und nachhaltig geschützt worden sind. Die Vorgaben des Bauherrn bezüglich Ästhetik, Bauzeit, Statik und Hygiene wurden erfüllt.

Probleme traten nur an den Treppengeländern auf. Da diese nicht wie gefordert von der Beckenbewehrung getrennt waren und im Schutzstrombereich lagen. Die Lösung bestand darin, das Treppengeländer von der Bewehrung zu trennen und über dem Wasserspiegel mit einem Isolierstück zu versehen um ein Fließen des Schutzstromes auf dem Bauteil zu verhindern.



Bild 1

**Platzierung der Anoden und Makrozellen (Referenz)**

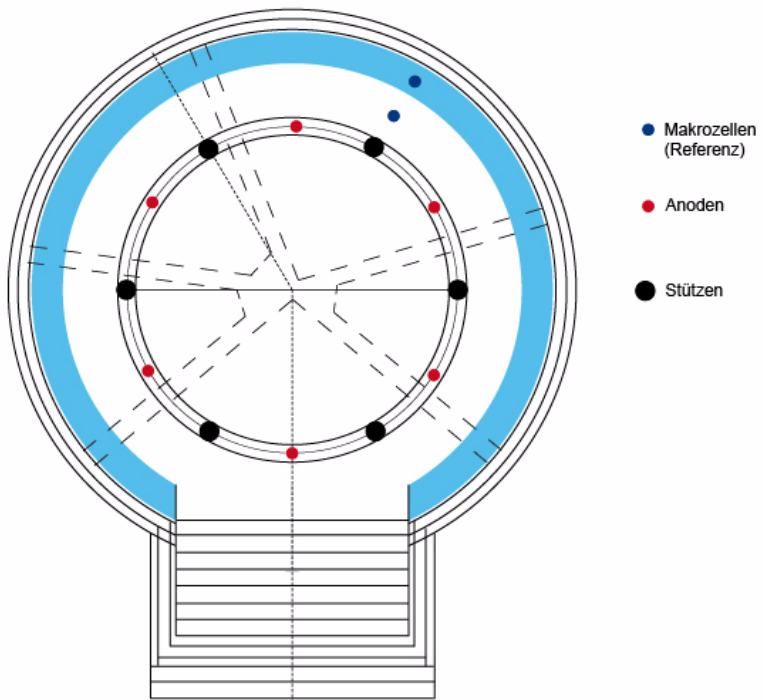


Bild 2

