

# **Erfahrungen in die Niederlande mit kathodischen Korrosionsschutz an vorgespannte Betonträger**

Joost Gulikers  
Ministerium für Infrastruktur und Umwelt, Utrecht, Niederlande

## **Zusammenfassung**

Aus umfangreiche Untersuchungen am Ort an circa 30 Viadukte gebaut in die 60-er und 70-er Jahre hat sich erwiesen dass ein Großteil der vorgespannte Träger ernsthafte Korrosion der Bewehrung aufweist in der Nähe von Dehnfugen. Im Rahmen einer groß angelegten Instandsetzung wurde vorgestellt um den erforderlichen Schutz für diese wichtige Infrastrukturbawerke mit die Anwendung van kathodischen Korrosionsschutz zu gewährleisten. Auf Grund von begrenzte Zugänglichkeit und praktische Anforderungen am Anodesystem, z.B. Masse, wurde gewählt für einen elektrisch leitenden Verbundanstrich. Da jeder Träger als elektrisch isoliert zu betrachten ist, und in Bezug auf die Gefahr von Wasserstoffbildung am Spannbewehrung wurde jeder Träger versehen mit sowohl eine Referenzelektrode als eine sogenannte Potentialabfallsensor. Auf Grund von frühere Erfahrungen wurde im Vertrag einen Erhaltungstermin von 20 Jahre mit aufgenommen.

## **1. Einleitung**

Aus umfangreiche Untersuchungen am Ort an circa 30 Viadukte gebaut in die 60-er und 70-er Jahre hat sich erwiesen dass ein Großteil der vorgespannte Träger ernsthafte Korrosion der Bewehrung aufweist in der Nähe von Dehnfugen. Es war schon vom Anfang klar dass die Ursache von diesem Schäden liegt im durchtretendes Wasser dass im Laufe der Jahren im Beton angereichert hat. Dabei wurde festgestellt dass die langjährige Einwirkung von Chloride aus Streusalze stellenweise zu stark fortgeschrittene Korrosion der Normalbewehrung mit hohem Querschnittsverlusten und Betonabplatzungen geführt hatte. Dazu wurde auch eine quantitative Beurteilung des Tragwerkszuverlässigkeit vorgenommen. Eine herkömmliche Instandsetzung mittels Abtrag und Reprofilierung des chloridkontaminierten Betons war jedoch aufgrund statische Beurteilungen praktisch nicht durchführbar. Im Rahmen einer groß angelegten Instandsetzung wurde darum vorgestellt um den erforderlichen Schutz für diese wichtige Infrastrukturbawerke mit die Anwendung van kathodischen Korrosionsschutz zu gewährleisten. Die Erfahrung von Rijkswaterstaat in die Vergangenheit in mehrere KKS-Projekte hat aber erwiesen dass KKSsystemen in die meiste Fällen schon nach einige Jahre nach Inbetriebnahme nicht mehr kontrolliert und erhalten wurden. In diesem Beitrag wird den Entwurf, die Ausführung und die Erhaltung aus Sicht des Bauherrn

vorgestellt und werden die Ergebnisse von Depolarisierungsmessungen nach Inbetriebnahme der Anlage erläutert.

## **2. Bauwerks- und Zustandsbeschreibung**

Nach etwa 40 Jahre Nutzung zeigten Bauwerksinspektionen und eine umfangreiche Schadensuntersuchung im Bereich der Spanngliedköpfe und Spanngliedverankerungen dass ein Großteil der vorgespannte Träger von mehrere Viadukte vielerorts Bewehrungskorrosion infolge nachträgliche Einwanderung von Chloride. Als Ursache der Chloridbelastung konnte der Eintrag von tausalzhaltigem Wasser über undichte Fahrbahnübergangskonstruktionen (Fugen) festgestellt werden. Durch die geringe Betonüberdeckung (Mittelwert 25mm) ist in erster Linie Korrosion der Bügel und die Langsbewehrung aufgetreten mit Betonabplatzungen zu Folge. Sowohl an der Bügelbewehrung als die Langsbewehrung wurden stellenweise deutliche Querschnittverluste infolge Korrosion festgestellt (Bild 1). Die Schäden infolge Bewehrungskorrosion begrenzten sich auf eine Länge von 1m.



Bild 1 Chloridinduzierte Korrosion im Bereich der Bügel- und Langsbewehrung

Alle Träger sind mit einem Dywidag System vorgespannt (ohne Verbund) mit 3 bis 6 Vorspannstäbe pro Träger. Weitere Untersuchungen zeigten nur eine oberflächige Korrosionsangriff der Spannglieder und Spannköpfe (Bild 2).



Bild 2 Oberflächige Korrosion im Bereich der Spanköpfe

### 3. Instandsetzungskonzept hinsichtlich Bewehrungskorrosion

Aufgrund der sehr beengten Platzverhältnisse und der Beeinträchtigung des Tragfähigkeitsverhalten war eine herkömmliche Instandsetzung mit vollflächigem Abtrag von geschädigtem und gesundem aber chloridverseuchtem Beton praktisch nicht anwendbar. Vor diesem Hintergrund wurde hier die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes nach DIN EN 12696 [1] erarbeitet. Die Erfahrung von Rijkswaterstaat in die Vergangenheit in mehrere KKS-Projekte hat aber erwiesen dass KKS-systemen in die meiste Fällen schon nach einige Jahre nach Inbetriebnahme nicht mehr kontrolliert und erhalten werden. Deshalb und in Bezug auf die Spannbewehrung wurde in erster Sicht KKS mit

galvanische Anoden (Zink) als meist praktische Lösung beurteilt. Andererseits wurden hohe Anforderungen an den Korrosionsschutz von Normalbewehrung und den tiefer liegender Spannbewehrung gestellt. Letztendlich wurde ein System auf Basis von Fremdstromanoden gewählt. Dabei wurde angedeutet dass die Verwendung von in die Betonoberfläche eingeschlitzten Anodebändern auf Grund der geringen Betonüberdeckung, die schlechte Zugänglichkeit und die Risiken beim Tragfähigkeit nicht möglich war.

Auf Grund der frühere Erfahrungen mit KKS bei Rijkswaterstaat wurde in die Ausfrage einen Erhaltungstermin von 20 Jahre mit aufgenommen. Die Risiken wurden sofern wie möglich weiter minimiert durch eine beschränkte Ausschreibung wobei Erfahrung der ausführende Firma im Bereich KKS von Stahlbetonbauwerken ein wichtiges Kriterium war.

### 4. Kathodischen Korrosionsschutz

In den letzten Jahrzehnten hat die Instandsetzung von Stahlbetonbauteilen welche durch chloridinduzierte Bewehrungskorrosion gefährdet sind an Bedeutung gewonnen. In diese Fälle bildet der kathodische Korrosionsschutz, als elektrochemisches Instandsetzungsverfahren, eine zuverlässige und oftmals kostengünstige Methode zur Instandsetzung [2, 3]. Der kathodische Korrosionsschutz wird in der Praxis hauptsächlich zur Instandsetzung von korrosionsgeschädigte Bauwerke eingesetzt wenn Depassivierung des Bewehrungsstahls durch Chlorideinwirkung vorliegt. KKS ist keine vorübergehende sondern eine permanente Installation [4]. Das Prinzip der KKS für Stahlbetonbauten ist es, die Bewehrung mittels flächig oder punktuell installieren Elektroden (sog. Anoden) kathodisch zu polarisieren und damit die anodische Eisenauflösung durch Korrosion zu unterbinden bzw. auf ein unschädliches Maß zu reduzieren. Dazu wird bei Anwendung von Fremdstromanoden eine korrosionsresistente und dauerhafte Anode elektrolytisch an den Beton angekoppelt und an den Pluspol einer Gleichspannungsquelle angeschlossen. Durch das Aufbringen einer geringen Gleichspannung wird ein Schutzstrom generiert, welchem dem Korrosionsstrom entgegengerichtet ist und somit die Bewehrungskorrosion weitgehend unterbindet [4].

Der wichtigste Überwachungssensor beim KKS ist die Bezugs- oder Referenzelektrode Mit die im Beton eingebetteten Bezugsselektroden kann der Schutzgrad, bzw. der Korrosionszustand der Bewehrung verfolgt werden. Nach [5] sind die Anforderungen an den Messpunkt:

- Das Bewehrungspotential soll an den korrosionsgefährdeten Stellen gemessen werden;
- Durch den Einbau der Referenzelektrode soll das Bewehrungspotential nicht beeinflusst werden.

## 5. Entwurf des KKS-Systems

Für die Auslegung des KKS-Systems ist jeden Träger als eine elektrisch isolierte Schutzzone zu betrachten. In dem Entwurf sind jemals 3 nebeneinander liegende Träger kombiniert in Bezug auf die Stromversorgung. Aufgrund dieser Umstände, sowie aufgrund der sehr beengten Platzverhältnisse und auf Basis der Ergebnisse einer Voruntersuchung, wurde das CAST<sup>3+</sup> Verbundanodensystem (ein leitfähiger Anstrich) als Anodensystem vorgetragen, siehe Bild 3.

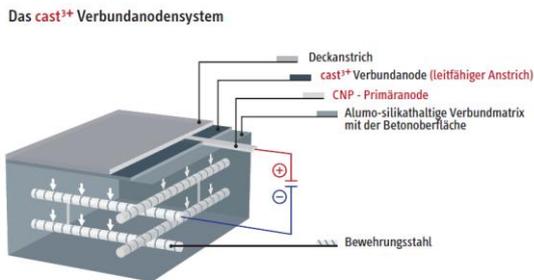


Bild 3 Aufbau des KKS-Systems auf Basis CAST<sup>3+</sup> (Anstrich)

Zuerst wird die Betonoberfläche mit einem Primer imprägniert um sowohl eine erhöhte elektrische Leitfähigkeit der Oberflächenschicht des Beton, als eine Verbesserung der Betonoberfläche und eine verbesserte Haftung des Verbundanstriches auf dem Betonuntergrund zu bewirken.

Der CAST<sup>3+</sup> Verbundanstrich, ein zwei komponentige Aluminosilikat/Polymer gefüllt mit Kohlstoff, wird in zwei Lagen (insgesamt 600-1000g/m<sup>2</sup>) aufgetragen. Mit 850g/m<sup>2</sup> wird eine Trockenschichtstärke von ca. 250 µm erreicht. Die Stromzuleitung erfolgt über in die Verbundanode eingebetteten Primäranoden (CuNbPt Draht), siehe Bild 4.

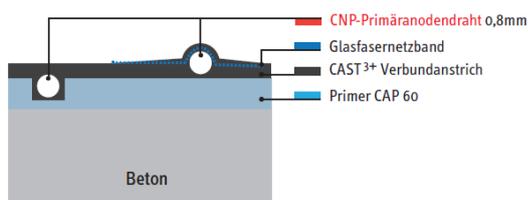


Bild 4 Detail des KKS-System mit Stromzuleitung über eine CNP-Primär Anodendraht

In diesem Projekt wurde auf die übliche Deckbeschichtung verzichtet.

Zur Überwachung der Schutzwirkung sowie zur Überprüfung der Polarisation im Bereich der Spannglieder wurde in jeden Träger eine Bezugs elektrode mit dem zugehörigen Messeinheit eingebaut. Zur Beurteilung der Polarisation der Stahlbewehrung wurde eine Potentialabfall-Elektrode auf Basis von MMO-Titan verwendet.

## 6. Ausführung

Nach dem Ersetzen von die Fugen sind die geschädigte Betonoberfläche der einzelne Träger saniert worden mit einem leitfähigen Reparaturmörtel der für die Anwendung mit KKS geschickt befunden ist (Bild 5).



Bild 5 Betonsanierung in engem Raum

Anschließend sind die Bezugs elektroden und Potentialabfall-Elektroden eingebaut, und wurden die Anode- und Kathode-Anschlüsse pro 3 Träger verbunden mit eine dezentrale Transformator-Gleichrichter- und Monitoringseinheit (Bild 6). Dieser Einheit sammelt und speichert alle Daten und kann ‚remote‘ ausgelesen werden.



Bild 6 KKS-System nach der Ausführung mit Monitoringseinheiten pro 3 Träger

## 7. Monitoring

Um die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nachzuweisen, sind in jeden Träger an repräsentativen Punkten Messstellen enthalten. Die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems wird dabei durch Messen des Stahl/Beton-Potentials mittels Bezugs elektroden festgestellt. In diesem Projekt sind zur Beurteilung von dem Spannstahl in Bezug auf Wasserstoffversprödung Ag/AgCl Bezugs elektroden eingesetzt worden. Gemäß DIN EN 12696 darf bei

Spannstahl kein Ausschalt-Stahl/Beton-Potential bezüglich Ag/AgCl/0,5 M KCl weniger als -900 mV haben. Für die Messung der Depolarisierung von dem normalen Bewehrungsstahl wurden Potentialabfall-Elektroden eingebaut. Nach DIN EN 12696 dürfen Sensoren für den Potentialabfall nicht eingesetzt werden um das absolute Stahl/Beton-Potential oder den Langzeitpotentialabfall über 24 h hinaus zu bestimmen.

Als Schutzkriterium gilt dass jede repräsentative Position von Stahl in Beton einen Potentialabfall über maximal 24 h von mindestens 100 mV ausgehend vom Wert des Ausschalt-potentials aufweisen soll (Bild 8).

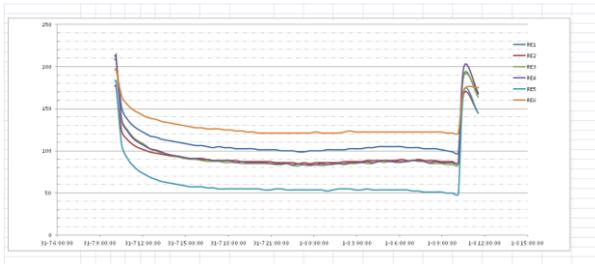


Bild 7 Gemessenen Potentialabfall nach Abschalten

Bild 8 gibt einen Überblick von die Ergebnisse nach erstes Mal Abschalten des Schutzstroms.

Samenvatting:						
Instant-Off waardes beoordeling i.v.m. overbescherming						
Grens	Categorie	Totaal	Ti*	Ag//AgCl	Ti*	Ag//AgCl
150	<150 mV	2	0	2	0%	3%
300	150-300 mV	100	50	50	86%	83%
450	300-450 mV	14	7	7	12%	12%
600	450-600 mV	1	0	1	0%	2%
750	600-750 mV	0	0	0	0%	0%
900	750-900 mV	0	0	0	0%	0%
	>900 mV	1	1	0	2%	0%
Depolarisaties beoordeling i.v.m. afdoende bescherming						
Grens	Categorie	Totaal	Ti*	Ag//AgCl	Ti*	Ag//AgCl
40	<40 mV	3	0	3	0%	5%
80	40-80 mV	2	0	2	0%	3%
100	80-100 mV	17	5	12	9%	20%
150	100-150 mV	75	40	35	69%	58%
200	150-200 mV	15	9	6	16%	10%
250	200-250 mV	4	2	2	3%	3%
	>250 mV	2	2	0	3%	0%
<b>Conclusie:</b>		Algemeen voldoende depolarisatie				
		Geen kans op waterstofvorming i.v.m. overbescherming				
<b>Instelling na:</b>		Alle zones verhogen van 4,0 V naar 5,0 V				

Bild 8 Beispiel von den gemessen Depolarisierung nach Abschalten

## 8. Schlussbemerkungen und Ausblick

In den großflächig von Bewehrungskorrosion betroffenen vorgespannte Träger August konnte ein kathodischen Korrosionsschutz System auf Basis von einem leitfähigem Verbundanstrich erfolgreich und kostengünstig installiert werden.

Ab August 2014 werden alle von Bewehrungskorrosion betroffene Viadukte durch ein KKS geschützt.

Die Betriebsdaten der verschiedene KKS-Anlagen nach einige Monate des Betriebs zeigen dass anhand der Wirksamheitskriterien der DIN EN 12696 ein wirksa-

mer Korrosionsschutz der Bewehrung und Spannglieder erreicht wurde und eine Gefährdung des Spannstahls durch Wasserstoffentwicklung nicht zu erwarten ist.

## 9. Literatur

- [1] DIN EN ISO 12696:2012-05, Kathodischer Korrosionsschutz von Stahl in Beton
- [2] Michael Bruns und Günter Binder, Umsetzung des kathodischen Korrosionsschutzes and den Spannbetonüberbauten der Schleusenbrücke Iffezheim, Beton- und Stahlbetonbau 108 (2013), Heft 2, 104-115.
- [3] Stephan Vestner und Christoph Dauberschmidt, Instandsetzung von Parkbauten mit kathodischem Korrosionsschutz, Bautechnik 91 (2014), Heft 10, 701-710.
- [4] Franz Pruckner, Grundlagen der elektrochemische Sanierungsmethoden für Stahl in Beton, PP engineering, 2011.
- [5] NACE Standard SP0290-2007, Impressed current cathodic protection of reinforcing steel in atmospherically exposed concrete structures, NACE International, Houston, TX, 2007