

# Erfahrungen in die Niederlande mit kathodischen Korrosionsschutz an vorgespannte Betonträger

Joost Gulikers  
Ministerium für Infrastruktur und Umwelt, Utrecht, Niederlande

## Zusammenfassung

Umfangreiche Untersuchungen an 29 Viadukten, gebaut in den 60-er und 70-er Jahren, haben ergeben, dass ein Großteil der vorgespannten Betonträger, auf denen die Fahrbahnplatten ruhen, in der Nähe von Dehnfugen ernsthafte Korrosion der Bewehrung aufweisen. Im Rahmen einer groß angelegten Instandsetzung wurde entschieden, den erforderlichen Schutz für diese wichtigen Infrastrukturbauwerke mittels kathodischem Korrosionsschutz zu gewährleisten. Auf Grund der begrenzten Zugänglichkeit der Bauteile und auf Grund praktischer Anforderungen an das Anodensystem, z.B. Masse, wurde als Anodensystem ein elektrisch leitender Verbundanstrich gewählt. Da ursprünglich jeder Betonträger als elektrisch isoliert zu betrachten war, und in Bezug auf die Gefahr von Wasserstoffbildung an der Spannbewehrung, wurde jeder Träger sowohl mit einer Referenzelektrode als auch einem sogenannten Potentialabfallsensor versehen. Auf Grund von früheren Erfahrungen wurde eine Gewährleistung von 20 Jahren vertraglich vereinbart.

## 1. Einleitung

Umfangreiche Untersuchungen vor Ort an 29 Viadukten, errichtet in die 60-er und 70-er Jahren, haben ergeben, dass ein Großteil der vorgespannten Betonlängsträger in der Nähe von Dehnfugen signifikante Korrosion der Bewehrung aufweisen. Es war schon vom Anfang klar, dass die Ursache dieser Schäden in den undichten Dehnfugen und dem durchtretenden, im Winter salzhaltigen, Wasser liegt. Im Laufe der Jahre hat sich dadurch in Bereich der Köpfe der Betonlängsträger Tausalz angereichert. Es wurde festgestellt, dass die langjährige Einwirkung von Chloriden aus Streusalzen stellenweise zu stark fortgeschrittene Korrosion der schlaffen Bewehrung und hohen Querschnittsverlusten und in weiterer Folge zu Betonabplatzungen geführt hatte. Basierend auf den Untersuchungen wurde eine quantitative Beurteilung der Tragwerkszuverlässigkeit vorgenommen: Eine herkömmliche Instandsetzung mittels Abtrag des Chlorid kontaminierten Betons und Reprofilierung war aufgrund statischer Beurteilungen praktisch nicht durchführbar. Im Rahmen einer groß angelegten Instandsetzung wurde entschieden, den erforderlichen Schutz dieser wichtigen Infrastrukturbauwerke mittels kathodischem Korrosionsschutz zu gewährleisten. In der Vergangenheit musste Rijkswaterstaat bei mehreren KKS-Projekten die Erfahrung machen, dass KKS-systeme oft schon einige Jahre nach Inbetriebnahme nicht mehr kontrolliert und instandge-

halten wurden. In diesem Beitrag wird das Layout, die Ausführung und die Instandhaltung aus Sicht des Bauherrn vorgestellt, Ergebnisse von Depolarisierungsmessungen nach Inbetriebnahme der Anlage werden erläutert.

## 2. Bauwerks- und Zustandsbeschreibung

Bauwerksinspektionen und eine umfangreiche Schadensuntersuchung nach etwa 40 Jahren Nutzung zeigten Bewehrungskorrosion im Bereich der Spanngliedköpfe und der Spanngliedverankerungen infolge nachträglichem Chlorideintrag in einem Großteil der vorgespannten Träger mehrerer Viadukte. Als Ursache der Chloridbelastung konnte das Eindringen von tausalzhaltigem Wasser über undichte Fahrbahnübergangskonstruktionen (Dehnfugen) festgestellt werden.

Durch die geringe Betonüberdeckung (Mittelwert 25mm) ist in erster Linie Korrosion der Bügel und die Längsbewehrung und in weiterer Folge mit Betonabplatzungen aufgetreten. Sowohl an der Bügelbewehrung als auch an der Längsbewehrung wurden stellenweise deutliche Querschnittverluste infolge Korrosion festgestellt (Bild 1). Schäden infolge Bewehrungskorrosion traten auf eine Länge von 1 m vom Längsträgerkopf aus auf.



Bild 1 Chloridinduzierte Korrosion im Bereich der Bügel- und Längsbewehrung

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



Bild 2 Oberflächige Korrosion im Bereich der Spannköpfe

### 3. Instandsetzungskonzept hinsichtlich Bewehrungsstahlkorrosion

Aufgrund der sehr beengten Platzverhältnisse und der Beeinträchtigung des Tragfähigkeitsverhaltens der Längsträger war eine herkömmliche Instandsetzung mit vollflächigem Abtrag von geschädigtem und gesundem aber Chlorid mit verseuchtem Beton praktisch nicht anwendbar. Vor diesem Hintergrund wurde für dieses Projekt die Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes nach DIN EN 12696 [1] ausgearbeitet. Rijkswaterstaat musste in der Vergangenheit bei mehreren KKS-Projekten die Erfahrung machen, dass KKS-Systeme schon einige Jahre nach Inbetriebnahme nicht mehr kontrolliert und instandgehalten werden. Deshalb und in Bezug auf die Spannbewehrung wurde in erster

Linie KKS mit galvanischen Anoden (Zink) als anwendungsorientierteste Lösung ins Auge gefasst. Andererseits wurden hohe Anforderungen an den Korrosionsschutz der schlaffen Bewehrung und der tiefer liegenden Spannbewehrung gestellt. Letztendlich wurde ein System auf Basis von Fremdstromanoden gewählt. Dabei wurde angedeutet, dass die Verwendung von in die Betonoberfläche eingeschlitzten Anodenbändern auf Grund der geringen Betonüberdeckung, der schlechten Zugänglichkeit und der Risiken für die Tragfähigkeit der Längsträger nicht möglich war.

Auf Grund von früheren Erfahrungen von Rijkswaterstaat mit KKS bei wurde in die Anfrage einen Erhaltungstermin von 20 Jahre mit aufgenommen. Die Risiken wurden soweit wie möglich durch eine beschränkte Ausschreibung weiter minimiert, 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, die durch Chlorid induzierte Bewehrungskorrosion gefährdet sind, an Bedeutung gewonnen. In diesen Fällen 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 korrosionsgeschädigten Bauwerke eingesetzt wenn Depassivierung des Bewehrungsstahls durch Chlorideinwirkung vorliegt. KKS ist keine vorübergehende sondern eine permanente Installation [4]. Das Prinzip des KKS für Stahlbetonbauten ist, die Bewehrung mittels flächig oder punktuell installierten 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, welcher dem Korrosionsstrom entgegengerichtet ist und somit die Bewehrungskorrosion weitgehend unterbindet [4]. Der wichtigste Überwachungssensor beim KKS ist die Bezugs- oder Referenzelektrode. Mit im Beton eingebetteten Bezugselektroden kann der Schutzgrad, bzw. der Korrosionszustand der Bewehrung verfolgt werden. Folgende Anforderungen an den Messpunkt sind zu erfüllen[5]:

- 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

Das Layout der KKS-Systeme beruht darauf, dass jeder Träger als eine elektrisch isolierte Schutzzone zu betrachten ist und jeweils 3 nebeneinander liegende Träger gemeinsam mit Strom versorgt werden. Aufgrund dieser Anforderungen, 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 vorgeschlagen, siehe Bild 3.

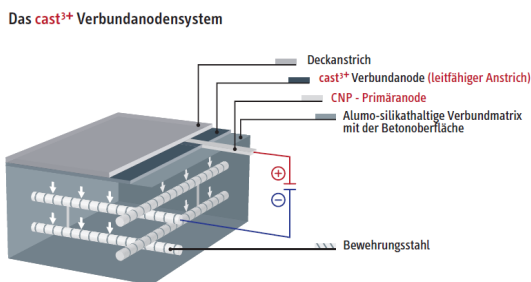


Bild 3 Aufbau des KKS-Systems auf Basis der CAST<sup>3+</sup> Verbundanode (leitfähiger Anstrich)

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

Der CAST<sup>3+</sup> Verbundanstrich, ein zwei-komponentiges Aluminosilikat/Polymer System, gefüllt mit Graphit, wird in zwei Lagen (insgesamt 600-1000g/m<sup>2</sup>) aufgetragen. Mit 850g/m<sup>2</sup> wird eine Trockenschichtstärke von ca. 300 µm erreicht. Die Stromzuleitung erfolgt über in die Verbundanode eingebetteten Primäranoden (CuNbPt Draht), siehe Bild 4.

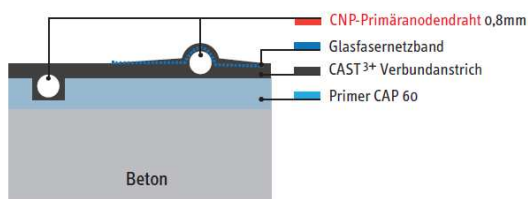


Bild 4 Detail des KKS-Systems mit Stromzuleitung über einen CNP-Primär Anodendraht

In diesem Projekt wurde auf die übliche Deckbeschichtung verzichtet.

Zur Überwachung der Schutzwirkung sowie zur Überprüfung der Polarisierung im Bereich der Spannglieder wurde in jeden Träger eine Bezugslektrode mit dem zugehörigen Messeinheit eingebaut. Zur Beurteilung der Polarisierung der Stahlbewehrung wurde eine Poten-

tialabfall-Elektrode auf Basis von MMO-Titan verwendet.

## 6. Ausführung

Nach dem Ersetzen der Dehnfugen wurden geschädigte Betonteile der einzelnen Träger mit einem nach DIN EN 12696 für die Anwendung mit KKS geeigneten Reparaturmörtel saniert (Bild 5).



Bild 5 Betonsanierung in engem Raum

Anschließend wurden die Bezugslektroden und Potentialabfall-Elektroden eingebaut, und die Anoden- und Kathoden-Anschlüsse von jeweils 3 Trägern mit einer dezentralen Transformator-Gleichrichter- und Monitoring Einheit verbunden (Bild 6). Diese Einheit sammelt und speichert alle Daten und kann ‚remote‘ ausgelesen werden.



Bild 6 KKS-System nach der Ausführung mit Monitoring Einheiten für jeweils 3 Längsträger

## 7. Monitoring

Um die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes nachzuweisen, wurden in jedem Träger an repräsentativen Punkten Messstellen installiert. Die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzsystems wird dabei durch Messen des Stahl/Beton-Potentials mittels Bezugslektroden festgestellt. In

diesem Projekt sind zur Beurteilung des Risikos der Wasserstoffversprödung des Spannstahls Ag/AgCl Bezugs Elektroden eingebaut worden. Gemäß DIN EN 12696 darf bei Spannstahl das Ausschalt-Stahl/Beton-Potential bezüglich Ag/AgCl/0,5 M KCl nicht negativer als -900 mV sein. Für die Messung der Depolarisierung von dem normalen (schlaffen) 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).

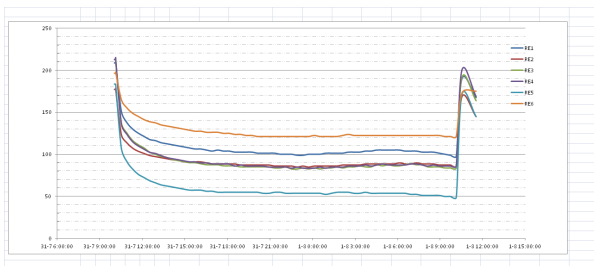


Bild 7 Gemessenen Potentialabfall nach Abschalten

Bild 8 gibt einen Überblick über die Ergebnisse nach erstmaligem 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 Depolarisierungsmessungen nach Abschalten des Schutzstromes.

## 8. Schlussbemerkungen und Ausblick

In den großflächig von Bewehrungskorrosion betroffenen vorgespannten Betonlängsträgern konnte ein kathodisches Korrosionsschutz System auf Basis eines leitfähigen Verbundanstriches erfolgreich und kostengünstig installiert werden.

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

Die Betriebsdaten der verschiedene KKS-Anlagen nach einigen Monaten des Betriebs zeigen, dass anhand der Wirksamkeitskriterien der DIN EN 12696 ein wirksamer 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