



## **Kathodischer Korrosionsschutz**

Schutz von Stahl im Beton

# Substanzerhalt mit kathodischem Korrosionsschutz

## Eine wirtschaftliche Alternative zur Instandsetzung

Richtig formuliert, eingebaut und nachbehandelt ist Stahlbeton ein dauerhafter Werkstoff. Stimmen dann auch noch Konstruktion und Bemessung, und ist die Betondeckung der Bewehrung ausreichend, kann von einer langen Nutzungsdauer des Stahlbetonbauteils ausgegangen werden. In der EN 1990 wird für den Hochbau eine geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren angesetzt. Für Brücken und Ingenieurbauten sind es sogar 100 Jahre.

In der Praxis erreicht man diese Nutzungsdauer oft nicht. Der mitunter etwas zu sorglose Umgang mit dem robusten Stahlbeton führt zu erheblichen Schäden. Insbesondere Korrosionsschäden am Bewehrungsstahl können die Standsicherheit innerhalb der vorgesehenen Nutzungsdauer gefährden.

Chloridinduzierte Stahlkorrosion ist wegen der hohen Korrosionsraten besonders schädigend. Sind die Chloride bis zur Bewehrung vorgedrungen, besteht dringender Handlungsbedarf. Aufwendige Instandsetzungsmaßnahmen – der chloridverseuchte Beton muss ausgetauscht werden – sind die Folge. Häufig ist sogar ein Teilersatz der Bewehrung erforderlich.



### Kathodischer Korrosionsschutz als wirtschaftliche Alternative

Die konventionellen Instandsetzungsmaßnahmen stellen einen enormen Eingriff in das Bauwerk dar. Während der Arbeiten müssen beispielsweise zusätzliche Stützen und Aussteifungen die Standsicherheit gewährleisten. Der Abtrag des chloridbelasteten Betons erfolgt in der Regel durch Hochdruckwasserstrahlen. Dieses Verfahren ist mit einer erheblichen Lärmbelastung verbunden und somit im genutzten Bestand sowie im innerstädtischen Bereich nur mit Schallschutzmaßnahmen möglich. Das Problem der Ableitung und Entsorgung des anfallenden Prozesswassers sollte ebenfalls nicht unterschätzt werden. Derartige Maßnahmen sind sehr aufwendig, kostenintensiv und mit Nutzungseinschränkungen verbunden.

Der kathodische Korrosionsschutz (KKS) kann eine wirtschaftliche Alternative zur konventionellen Instandsetzung sein. Er verhindert eine Weiterentwicklung der Lochfraßkorrosion (Makroelementkorrosion) und verlängert somit die Nutzungsdauer des Bauwerkes. Das Prinzip des KKS beruht auf der Unterbindung der anodischen Teilreaktion, das heißt der Eisenauflösung. Dabei wird ein dem Korrosionsstrom entgegengesetzter gerichteter Gleichstrom angelegt. Am Beton ist dazu dauerhaft eine Anode anzukoppeln. Diese verschiebt das Potential soweit (Elektronen werden in das Bauteil „gepumpt“), dass am Bewehrungsstahl nur noch kathodische Teilreaktionen stattfinden können. Die ehemalige anodische Korrosionsstelle wird zur Kathode. Die Korrosionsrate des Bewehrungsstahls reduziert sich nahezu auf Null. Der Ist-Zustand der Bewehrung bleibt erhalten.



**Vorteile von KKS:**

- Verhinderung der Stahlkorrosion
- Dauerhafter Schutz der Bausubstanz
- Hohe Wirtschaftlichkeit
- Relativ kurze Bauzeit
- Sanierung bei laufendem Betrieb möglich
- Nur geringe Eingriffe in die bestehende Konstruktion notwendig
- Reduzierung der Beeinträchtigungen durch Lärm, Erschütterungen oder Strahlwasser während der Instandsetzung
- Monitoring der Bauwerkssubstanz

# Planungssicherheit durch Regelwerke

## Anforderungen an KKS-Mörtelsysteme



Der kathodische Korrosionsschutz ist in der Instandsetzungsrichtlinie des DAfStb als Instandsetzungsprinzip K erwähnt und durch die graphische Darstellung eines Fremdstrom-Anodensystems erläutert. Anforderungen oder Prüfverfahren werden in der Richtlinie nicht definiert. Auch die EN 1504 gibt wenig Hilfestellung. In dem in Deutschland bauaufsichtlich nicht eingeführten Teil 9 wird der KKS als Prinzip 10 „Cathodic Protection (CP)“ lediglich erwähnt, jedoch ohne Festlegung von Leistungsmerkmalen. Gemäß EN 1504 dürfen bei diesem Verfahren Produkte zum Einsatz kommen, die nicht Bestandteil dieser Norm sind.

Die EN ISO 12696:2012 „Kathodischer Schutz von Stahl in Beton“ beschreibt wesentliche Punkte der Planung einer Instandsetzungsmaßnahme mit kathodischem Korrosionsschutz. Neben den Anforderungen an Anodensysteme, Steuerungsanlagen, Sensorik und Stromversorgung werden auch solche an Instandsetzungs- und Anodeneinbettmörtel fixiert:

### **Instandsetzungsmörtel:**

- Leistungsmerkmale entsprechend EN 1504, Teil 3
- Elektrischer Widerstand 50 Prozent und 200 Prozent des Ausgangsbetons (Empfehlung)

### **Anodeneinbettmörtel:**

- Leistungsmerkmale entsprechend EN 1504, Teil 3
- Elektrischer Widerstand unterhalb 200 Prozent des Ausgangsbetons (Empfehlung)

Zur Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit der Anoden- und Instandsetzungsmörtel kommen üblicherweise zwei Prüfverfahren zum Einsatz: die Bestimmung des Elektrolytwiderstandes und die KKS-Systemprüfung (Details siehe Seite 7).

# KKS-Mörtelsysteme von StoCretec

## Hochleistungsfähig mit speziellem Porensystem

Die elektrochemischen Eigenschaften eines Betoninstandsetzungssystems sind entscheidend für den sicheren und dauerhaften Betrieb des kathodischen Korrosionsschutzsystems. Sie sollten jedoch nicht isoliert betrachtet werden. Weitere Eigenschaften, wie zum Beispiel das mechanische und das Brandverhalten, sind für die Standsicherheit des Bauwerks ebenfalls von elementarer Bedeutung.

StoCretec verfügt über geprüfte Mörtelsysteme für das Instandsetzungsprinzip kathodischer Korrosionsschutz.

Diese eignen sich dank ihrer speziellen Rezepturzusammensetzung gleichermaßen als Instandsetzungssowie Anodeneinbettmörtel. Denn auch nach Erreichen der Ausgleichsfeuchte im Mörtel verbleibt aufgrund der ausgewogenen Porenradialen-Verteilung ausreichend Feuchtigkeit im Mörtel um die erforderliche Ionenwanderung sicherzustellen. Gleichzeitig werden die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit, wie z. B. Beständigkeit

bei Frost- und Tausalzbeanspruchung sowie die Anforderungen an den Verbund zum Bestandsbeton mit unterschiedlichen Belastungsszenarien entsprechend internationaler und nationaler Vorgaben vollumfänglich erfüllt.

### Ausgezeichnete Funktionsfähigkeit bestätigt

Die KKS-Mörtelsysteme von StoCretec entsprechen der Klasse R4 der EN 1504, Teil 3. Sie sind statisch mitwirkend anrechenbar und zeichnen sich durch ein hohes Standvermögen sowie exzellente Verarbeitungseigenschaften aus. Gemäß der durchgeführten Klassifizierungsprüfung für Bauprodukte (DIN EN 13501-1) sind die KKS-Mörtelsysteme in die Baustoffklasse – nicht brennbar – eingestuft. Für die in der KKS-Systemprüfung berücksichtigten PCC II und SPCC Systeme erfolgte zusätzlich ein Nachweis für die Feuerwiderstandsfähigkeit von 90 Minuten.



Anodengitter



Einbettung und dauerhafte Ankopplung der Anode mit geeigneten Mörtelsystemen

KKS-Mörtel von StoCretec				
KKS-Mörtel	Anwendung	Schichtdicke	Klasse	Brandverhalten
StoCrete TG 114	PCC I	10 - 40 mm	R4	A2fl-s1
StoCrete TG 118	PCC I	20 - 100 mm	R4	A2fl-s1
StoCrete TG 203	PCC II	6 - 30 mm	R4	A2fl-s1 / A2-s1,d0 / F90 ETK
StoCrete TS 100	SPCC Trockenspritzverfahren	6 - 50 mm	R4	A2-s1,d0 / F90 ETK
StoCrete TS 203	SPCC Nassspritzverfahren	6 - 30 mm	R4	A1 / F90 ETK / EBA / RABT



KKS-Schaltschrank mit Camur II Komponenten

# Beurteilung der Leistungsfähigkeit des KKS-Systems

## Prüfverfahren zur Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit

### Prüfung des Elektrolytwiderstandes

Der Elektrolytwiderstand wird an speziellen Kalibrierkörpern bestimmt. Die Elektrodengitter werden direkt in den Frischmörtel eingebettet, wodurch man eine optimale elektrische Ankopplung erreicht. Nach der Konditionierung der Mörtelprobe erfolgt die Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit bei verschiedenen Feuchtegehalten. Aus den Messwerten lässt sich der Zusammenhang zwischen Baustofffeuchte und dem spezifischen Widerstand darstellen.

Der Planer der KKS-Maßnahme kann so Auswirkungen von Veränderungen des Feuchtegehaltes im Bauwerk auf die Leitfähigkeit des Anodeneinbettmörtels und des Reparaturmörtels abschätzen.



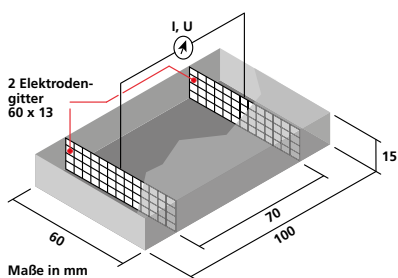
Prüfkörper zur Ermittlung des Elektrolytwiderstandes

Mit dieser Methode lässt sich keine Relation zwischen der Luftfeuchte, der Bauteilfeuchte und der Feuchte des Anoden- bzw. Instandsetzungsmörtels herleiten. Unter identischen Umgebungsbedingungen sind erhebliche Unterschiede zwischen der Haushaltsfeuchte des PCC-Mörtels sowie des Umgebungsbetons zu erwarten.

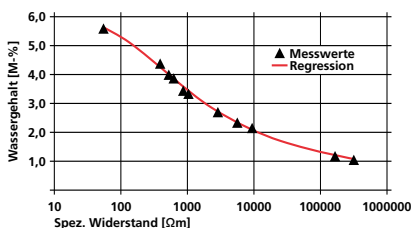
Einfluss darauf haben unter anderem der Kunststoffanteil des PCC-Mörtels, Unterschiede zwischen der Mörtel- und der Betonzusammensetzung, verschiedene Porenradienverteilungen und nicht zuletzt der Chloridgehalt des Umgebungsbetons.

Zur Abschätzung der Feuchte des PCC-Mörtels werden Sorptionsisothermen bestimmt. Diese stellen die Mörtelfeuchte in Abhängigkeit der Luftfeuchte dar.

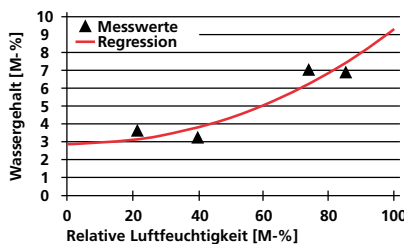
Wesentlich aussagekräftiger ist eine Musterfläche am Objekt. Eine Probeapplikation mit Anode, Anodeneinbettmörtel, Instandsetzungs- und Oberflächenschutzsystem liefert, über einen hinreichend langen Zeitraum beobachtet, wertvolle Informationen über die Entwicklung der Feuchtegehalte und der elektrischen Widerstände. Dieses Zeitfenster steht in der Praxis nicht immer zur Verfügung.



Bestimmung des Elektrolytwiderstandes (Prüfbericht StoCrete TG 114, ibac Aachen)



Feuchte-Widerstandsbeziehung (Prüfbericht StoCrete TG 114, ibac Aachen)



Desorptionsterme (Prüfbericht StoCrete TS 203, ibac Aachen)



**Herstellung von Prüfkörpern mit Anode (ibac Aachen)**

### Systemprüfung

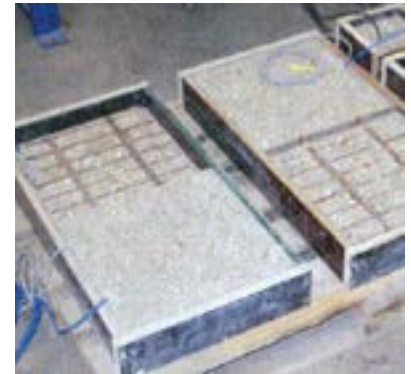
Die Systemprüfung findet unter Laborbedingungen an bewehrten Systemprüfkörpern mit Anodengitter und Referenzelektrode statt. Zur Simulation unterschiedlicher Bestandsbetone variiert man den Wasserzementwert. Dem Beton werden vier Gewichtsprozent Chlorid bezogen auf den Zementgehalt zugegeben und so die Korrosion der Bewehrung ausgelöst. Die zusätzliche Veränderung der Betondeckung bildet unterschiedliche Situationen im Altbestand ab. Eine Aussparung bis zur Bewehrung simuliert eine Reparaturstelle. Auf die vorbereiteten Grundkörper wird das Gesamtsystem inklusive Anodengitter aufgebracht.

Parallel zu den Systemprüfkörpern erfolgt die Herstellung von würfelförmigen Referenzkörpern mit eingebetteter Multiringelektrode. Der Aufbau ist bis auf das fehlende Anodengitter und die fehlende Armierung mit den Systemprüfkörpern identisch. Mit der Multiringelektrode wird tiefengestaffelt der Elektrolytwiderstand der Mörtel und der Betone gemessen. Dies

liefert Rückschlüsse auf das Trocknungsverhalten des Gesamtsystems und somit auf die zu erwartende Veränderung der Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Bauteilfeuchte.

Die KKS-Funktionsprüfung ist so ausgelegt, dass sie einen großen Bereich der in der Praxis vorkommenden Randbedingungen und Bestandsbetone abdeckt. Sind die Eigenschaften des Bestandsbetons und die zu erwartende Bauteilfeuchte innerhalb der Nutzungsdauer bekannt, können die zum Bauteil passenden Instandsetzungs- und Anodeneinbettmörtel ausgewählt werden.

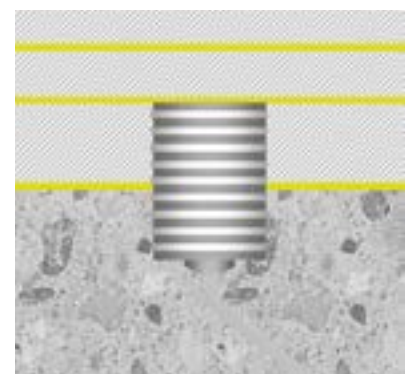
Mit den so gewonnenen Informationen wird im Rahmen eines objektbezogenen Gutachtens die Leistungsfähigkeit des Anodensystems über die vorgesehene Nutzungsdauer am Bauwerk beurteilt. Dieses Gutachten verbunden mit den erforderlichen Nachweisen dient als Basis für die Erteilung einer objektbezogenen Zustimmung im Einzelfall durch die zuständige Bauaufsichtsbehörde.



**Bewehrte Systemprüfkörper (Prüfbericht StoCrete TG 114, ibac Aachen)**



**Musterfläche StoCrete TG 114, Helbling Beratung + Bauplanung AG**



**Referenzkörper mit Multiringelektrode**

**StoCretec GmbH**

Gutenbergstraße 6  
65830 Kriftel (bei Frankfurt a. M.)

**Zentrale**

Telefon 06192 401-0  
Telefax 06192 401-325

**Technisches InfoCenter**

Telefon 06192 401-104  
Telefax 06192 401-105  
stocretec@sto.com  
www.stocretec.de

**Vertriebsregionen Deutschland****Sto SE & Co. KGaA****Vertriebsregion****Baden-Württemberg**

August-Fischbach-Straße 4  
78166 Donaueschingen  
Telefon 0771 804-230  
Telefax 0771 804-226  
vr.bw.de@sto.com

**Sto SE & Co. KGaA****Vertriebsregion Mitte**

Ullsteinstraße 98–106  
12109 Berlin-Tempelhof  
Telefon 030 707937-100  
Telefax 030 707937-130  
vr.mitte.de@sto.com

**Sto SE & Co. KGaA****Vertriebsregion****Nordrhein-Westfalen**

Marconistraße 12–14  
50769 Köln-Feldkassel  
Telefon 0221 70925-123  
Telefax 0221 70925-148  
vr.nrw.de@sto.com

**Sto SE & Co. KGaA****Vertriebsregion Bayern**

Magazinstraße 83  
90763 Fürth  
Telefon 0911 76201-21  
Telefax 0911 76201-48  
vr.bayern.de@sto.com

**Sto SE & Co. KGaA****Vertriebsregion Nord**

Am Knick 22-26  
22113 Oststeinbek  
Telefon 040 713747-100  
Telefax 040 713747-120  
vr.nord.de@sto.com

**Sto SE & Co. KGaA****Vertriebsregion Rhein-Main**

Gutenbergstraße 6  
65830 Kriftel  
Telefon 06192 401-411  
Telefax 07744 57-4116  
vr.rheinmain.de@sto.com

Die komplette Übersicht unserer rund 90 Sto-VerkaufsCenter finden Sie im Internet unter [www.sto.de](http://www.sto.de)

**Hauptsitz****Sto SE & Co. KGaA**

Ehrenbachstraße 1  
79780 Stühlingen  
Telefon 07744 57-0  
Telefax 07744 57-2178  
infoservice@sto.com  
www.sto.de

**Tochtergesellschaften der Sto SE & Co. KGaA im Ausland**

Österreich

**Sto Ges.m.b.H.**

Richtstraße 47  
A-9500 Villach  
Telefon +43 4242 33133  
Telefax +43 4242 34347  
info@sto.at  
www.sto.at

Schweiz

**Sto AG**

Industriestrasse 17  
CH-4553 Subingen  
Telefon +41 32 6744141  
Telefax +41 32 6744151  
sto.ch.subingen@sto.com  
www.stoag.ch

Der Lieferservice für StoCretec erfolgt durch die Sto SE & Co. KGaA.

Informationen über internationale Vertriebspartner erhalten Sie unter:  
Telefon +49 7744 57-1131