

# Die Rolle des kathodischen Korrosionsschutzes (KKS) bei der Instandhaltung und Rehabilitationsplanung von erdverlegten Rohrleitungen

The contribution of cathodic corrosion protection (CCP) systems to the maintenance and rehabilitation planning of buried pipelines

Von Rainer Deiss und Dr. Gerald Gangl

*Der Artikel beschreibt, wie eine zustandsorientierte Instandhaltungsstrategie und Rehabilitationsplanung erdverlegter Rohrleitungen auf der Basis von KKS-Messwerten funktionieren kann und wie diese sinnvoll mit der klassischen Rehabilitationsplanung verknüpft werden kann.*

*This article examines the condition-based maintenance and rehabilitation planning of buried pipelines on the basis of CCP data, and how this can be rationally combined with classical rehabilitation planning.*

## Einleitung

Es hat sich mittlerweile herumgesprochen, dass der KKS nicht nur ein reines Schutzsystem, sondern auch ein Überwachungssystem ist. Mit Hilfe von KKS-Messdaten, besonders dann, wenn diese von KKS-Fernüberwachungssystemen tagesaktuell zur Verfügung gestellt werden, können z. B. moderne zustandsorientierte Instandhaltungsstrategien verwirklicht werden.

Allerdings stellt das noch nicht das Ende der Möglichkeiten dar. KKS-Messdaten liefern einen entscheidenden Beitrag zur Zustandsbewertung von Rohrleitungen und können deshalb auch als wichtige Grundlage für die Festlegung von Rehabilitationsstrategien dienen.

## Instandhaltungsstrategien

Für Wasser- und Gasleitungen, aber auch für Stromkabel gilt, dass sie oft über einen längeren Zeitraum im Erdreich verlegt sind und deren Zustand daher nicht direkt erhoben werden kann. Daher bedarf es anderer indirekter Mittel, den Zustand entsprechend

zu beschreiben, um darauf eine Instandhaltungsstrategie aufzubauen.

Die Instandhaltung dient dem Ziel, bestimmte Eigenschaften von Anlagen und Betriebsmitteln sicherzustellen. Diese Eigenschaften sind daher als Kenngrößen im Unternehmen zu definieren, da sie zum Einen die Erfüllung des Versorgungsauftrages der Kunden garantieren sollen und zum Anderen das wirtschaftliche Ergebnis des Versorgers wesentlich beeinflussen.

Die Regelwerke und technischen Richtlinien in den Bereichen Wasser [1], Gas [2] und Strom [3] teilen die Instandhaltungsarten in folgende grundsätzliche Gruppen ein:

- Ereignisorientierte, reaktive Instandhaltung, Ausfallstrategie
- Vorbeugende, präventive Instandhaltung, Präventivstrategie
- Zustandsorientierte Instandhaltung, Inspektionsstrategie
- Prioritätenorientierte Instandhaltung

Die Analyse von Instandhaltungsergebnissen sowie der Störungs- und Schadensstatistik kann zur Kosten-Nutzen-Kontrolle und zur Identifizierung von Einsparpotenzialen ver-

wendet werden. Die Erkenntnisse können allerdings erst mit Zeitverzögerung in einen Optimierungsprozess einfließen, wenn z. B. das Betriebsverhalten durch zusätzliche Alterungseffekte beeinflusst wird.

Neben der Möglichkeit, in Stromnetzen Teile der Betriebsmittel (z. B. Freileitungen) und Anlagen (z. B. Trafostationen, Schaltanlagen) direkt zu inspizieren, können bei unterirdisch verlegten Leitungen großteils nur indirekte Inspektionsverfahren angewendet werden. Zustandsdaten, wie jene aus der Überwachung kathodisch geschützter Leitungen, erhöhen die Qualität der entwickelten Instandhaltungsstrategie deutlich.

## Zustandsbewertung von Rohrleitungen mit Hilfe von KKS-Messdaten

**Tabelle 1** verdeutlicht, welche Quellen in Abhängigkeit von den jeweiligen Rohrleitungstypen für die Zustandsbewertung zugänglich sind:

Bei der Betrachtung von Schadensfällen an erdverlegten Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen und deren Beurteilung fällt auf, dass Korrosion häufig als Schadensursache bezeichnet wird. Die Klärung der Tatsache, ob die Korrosion an erdverlegten Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen tatsächlich als Schadensursache bezeichnet werden kann, ist entscheidend für die Entwicklung eines Zustandsbewertungskonzepts mittels KKS-Messdaten. Grundsätzlich muss deshalb folgendes festgehalten werden:

- Korrosion ist bei metallischen- aber auch bei Kunststoffwerkstoffen möglich.

**Tab. 1:** Quellen für Zustandsbewertung je Rohrtyp

**Table 1:** Sources for condition evaluation, by pipe type

Leitungsart	Intelligente Molchung	Bauakten	Schadensstatistik	KKS	Kalibrierte Netzberechnung
Gasversorgungsleitungen aus PE	I.d.R. nicht möglich	Bei neueren Leitungen vorhanden, bei älteren Leitungen häufig unvollständig	I.d.R. aussagekräftig	Kein KKS	I.d.R. aussagekräftig
Gasversorgungsleitungen aus Stahl	I.d.R. nicht möglich	Bei neueren Leitungen vorhanden, bei älteren Leitungen häufig unvollständig	I.d.R. aussagekräftig	KKS teilweise vorhanden	I.d.R. aussagekräftig
Wasserversorgungsleitung aus Grauguss, duktilem Guss oder PE	I.d.R. nicht möglich	Bei neueren Leitungen vorhanden, bei älteren Leitungen häufig unvollständig	I.d.R. aussagekräftig	Kein KKS	I.d.R. aussagekräftig
Wassertransportleitungen aus Stahl	In vielen Fällen (betrieblich) nicht möglich	Bei neueren Leitungen vorhanden, bei älteren Leitungen häufig unvollständig	I.d.R. aussagekräftig	KKS teilweise vorhanden	I.d.R. aussagekräftig
Gashochdruckleitungen aus Stahl	Nicht in allen Fällen möglich	I.d.R. vorhanden	Wenig aussagekräftig da vergleichsweise wenig Schäden	KKS grundsätzlich vorhanden	I.d.R. aussagekräftig

**Tab. 2:** Attribute der Zustandsbewertung kathodisch geschützter Zubringerwasserleitungen

**Table 2:** Attributes of condition evaluation of cathodically protected water pipelines

Nummer	Attribut
1	Spezifischer Umhüllungswiderstand
2	Bewertung KKS-Überwachungsmessungen nach GW 10 inkl. Bewertung der Beeinflussungssituation durch Streuströme
3	Wechselspannungsbeeinflussung
4	Anzahl kritischer Mantelrohre gem. AfK-Empfehlung Nr. 1
5	Bewertung KKS-Inbetriebnahmemessung, KKS-Nachmessung, KKS-Intensivmessungen, KKS-Fehlerortungen und KKS-Sondermessungen
6	Zeit in der galvanische Elemente mit niederohmig geerdeten elektrochemisch edleren metallischen Objekten, z.B. mit Stahl im Beton über Potentialausgleich wirksam waren, ausgenommen Mantelrohre (die Summe aller Zeitabschnitte mit wirksamen galvanischen Elementen wird addiert)
7	Zeit ohne kathodischen Schutz (die Summe aller Zeitabschnitte ohne KKS wird addiert)
8	Zeit, in der der KKS nur teilweise wirksam war (die Summe aller Zeitabschnitte mit Teilschutz wird addiert)
9	Aufgrabungsbefunde
10	Korrosionsgefährdung durch sulfatreduzierende Bakterien
11	Art der Umhüllung

- Der zugrunde liegende Korrosionsmechanismus an erdverlegten Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen ist grundsätzlich elektrochemischer Natur.
- Der elektrochemische Korrosionsprozess an erdverlegten Rohrleitungen ist niemals Schadensursache sondern stets das Ergebnis von Fremdeinwirkungen.
- Schadensursache ist stets eine Verletzung der Rohrleitungsumhüllung, welche durch Fremdeinwirkungen wie z. B. Baufahr-

zeuge, Erder, Steine in der Rohrleitungsbettung oder lokales Versagen der Rohrleitungsumhüllung verursacht wird.

Während die elektrochemische Korrosion mit Hilfe des KKS auf technisch vernachlässigbare Korrosionsraten reduziert werden kann, sind vergleichbar sichere und nachprüfbar Verfahren bei den Korrosionsmechanismen, die beispielsweise Kunststoffleitungen betreffen können, nicht bekannt.

Als Schlussfolgerung aus diesen Prämissen ergibt sich, dass bei einer Zustandsbewertung erdverlegter Rohrleitungen mit Hilfe des KKS sowohl die Wirksamkeit des KKS als auch die Entwicklung des Ausbreitungswiderstands die entscheidenden Attribute sind. Allerdings sind für eine fundierte Zustandsbewertung noch weitere Attribute von Interesse. **Tabelle 2** zeigt beispielhaft die KKS-Attribute, die im Hause EnBW bei der Zustandsbewertung von kathodisch geschützten Zubringerwasserleitungen verwendet werden.

Neben den Attributen, welche die Themen Rohrleitungsausbreitungswiderstand und Nachweis der Wirksamkeit des KKS behandeln, sind Informationen aus der Betriebshistorie (Zeiträume ohne bzw. nur mit teilweise wirksamem KKS, längerfristig wirksame galvanische Elemente mit niederohmig geerdeten Fremdobjekten sowie Aufgrabungsbefunde), Wechselspannungsbeeinflussung und die Anzahl kritischer Mantelrohre gem. AfK-Empfehlung Nr. 1 [4] von Bedeutung.

Die Aufstellung einer solchen Bewertungsmatrix stellt nur den ersten, wenn auch sehr wichtigen Schritt zur Zustandsbewertung dar. Noch entscheidender ist allerdings die Bewertung der einzelnen Attribute.

**Zeitliche Aktualität der Attribute**

Die Attribute in Tabelle 2 sind in drei Gruppen eingeteilt. Die Werte der Attribute 1 – 4 verändern sich vergleichsweise häufig, bei Verwendung einer KKS-Fernüberwachung nach GW 16 [5] Kategorie 2b und 2c stehen diese Werte sogar tagesaktuell zur Verfügung. Insofern stehen diese Attribute im Zentrum der Zustandsbewertung.

Die Attribute 5 – 9 verändern sich im Vergleich dazu deutlich seltener, während die Attribute 10 – 11 Bestandsdaten sind und praktisch unverändert bleiben.

### Bewertung und Gewichtung der Attribute

In Abhängigkeit der jeweiligen Werte werden Punkte pro Attribut vergeben. Da nicht jedes Attribut im Hinblick auf die Zustandsbewertung der Rohrleitung gleich wichtig ist, müssen diese zusätzlich noch gewichtet werden. Erst dann ist es möglich, Rohrleitungsabschnitte mit einer so genannten Zustandsbewertungszahl zu versehen.

Abschließend muss festgelegt werden, welcher Zustand des Rohrleitungsabschnitts in Abhängigkeit der jeweiligen Zustandsbewertungszahl vorliegt.

### Klassische Rehabilitationsplanung

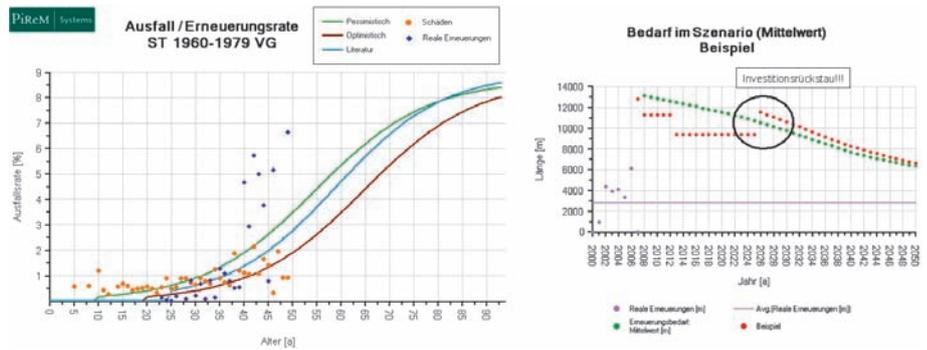
Eine Möglichkeit, den Zustand eines Versorgungsnetzes zu beschreiben besteht in der Auswertung aufgezeichneter Schadensereignisse. In der Literatur gibt es zahlreiche Publikationen über die Auswertung von Schadensaufzeichnungen und dazu angepasste mathematische Modelle, um die bisherige Schadenseentwicklung zu beschreiben bzw. die zukünftigen Entwicklungen im Netz zu prognostizieren (siehe [6], **Bild 1** zeigt Beispiele hierzu). Diese Herangehensweise trifft in der Regel auf städtische Versorgungsnetze zu.

Neben der reinen Schadensbetrachtung spielen auch eine Vielzahl von Randbedingungen (externe Faktoren) sowie wirtschaftliche Überlegungen in der Rehabilitationsplanung eine Rolle. Erst wenn das System „Leitung – umgebende Infrastruktur“ und die zugrunde liegenden Informationsquellen in Form eines Netzmanagements zusammengefasst betrachtet werden [7], lässt sich eine effiziente und vorausschauende Rehabilitationsplanung und somit ein langfristiger Werterhalt der Infrastruktur umsetzen.

### Rehabilitationsplanung mit Hilfe von KKS-Messwerten

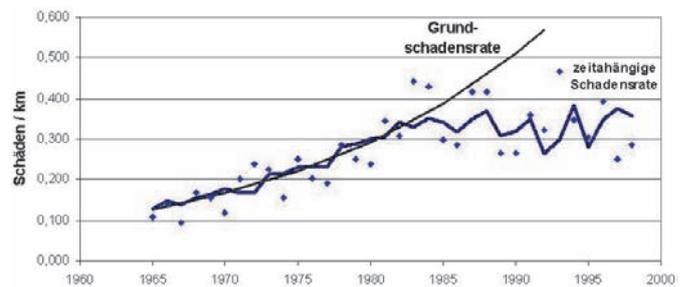
Die im vorigen Kapitel dargestellte klassische Rehabilitationsplanung ist nur bei Versorgungsnetzen anwendbar. Für Zubringerleitungen und sonstige Leitungen mit besonderer versorgungstechnischer Bedeutung sind Schadensraten kleiner 10 % gegenüber der Richtgröße für Versorgungsnetze anzusetzen [1], bei Gashochdruckleitungen liegt die mittlere Schadensrate sogar nur bei 0,5 Schäden pro Jahr und 1000 km.

Für Stahlleitungen in der Gasversorgung mit einem Betriebsdruck über 4 bar ist ein kathodischer Korrosionsschutz vorgeschrieben.



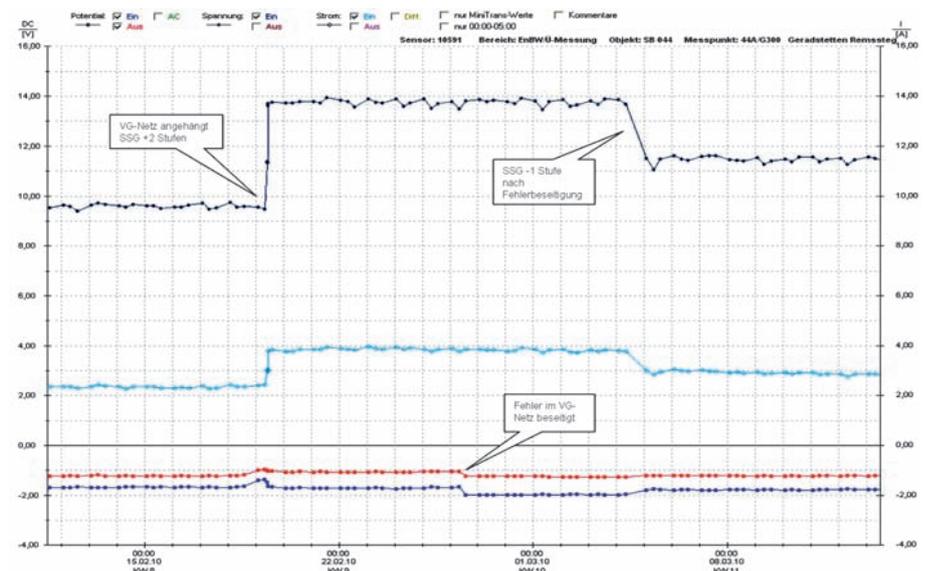
**Bild 1:** Rehabilitationsbedarfsprognose durch Anpassung an Schadensereignisse  
**Fig. 1:** Forecasting of rehabilitation needs via adaptation to damage events

**Bild 2:** Einfluss eines nachträglich installierten KKS auf die Schadensrate [8]  
**Fig. 2:** The influence of a retroinstalled CCP on rate of damage [8]

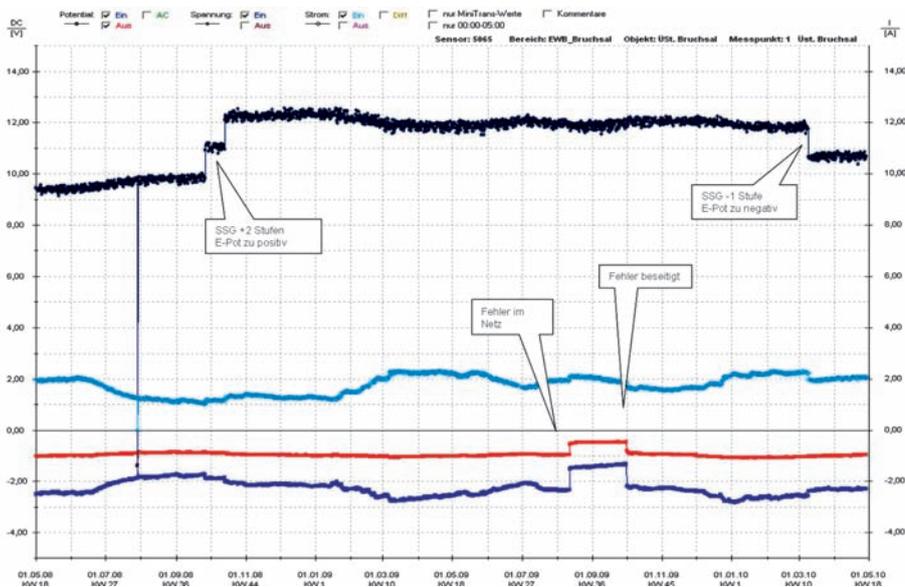


Ein wirksamer KKS reduziert die korrosive Abtragsrate auf ein technisch vernachlässigbares Minimum, wodurch Korrosionsschäden an diesen Leitungen praktisch vermieden werden. Die klassische Vorgehensweise der Anpassung von Alterungsfunktionen an aufgezeichnete Schäden ist daher nicht möglich.

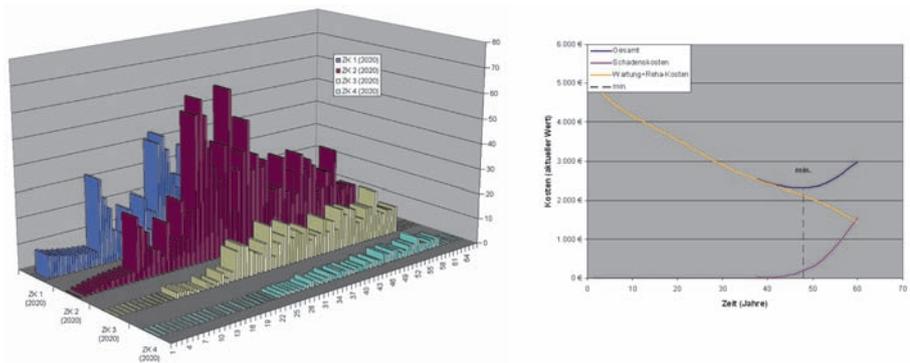
Die Auswirkung eines wirksamen kathodischen Korrosionsschutzes ist in **Bild 2** dargestellt. Durch die Mitte der 1980er Jahre nachträglich erfolgte Einrichtung des KKS konnte die Schadensrate der zwischen 1950 und 1970 verlegten Rohrleitung signifikant reduziert werden [8].



**Bild 3:** Anpassung der KKS-Betriebswerte auf neue Referenzwerte nach Schutzbereichserweiterung  
**Fig. 3:** Adjustment of CCP operating data to new reference values following expansion of the protected system



**Bild 4:** Durch die KKS-Fernüberwachung ermittelte jahreszeitliche Schwankungen der Potentiale an einer Messstelle  
**Fig. 4:** Seasonal fluctuations in potentials at one measuring point, determined by means of remote CCP monitoring



**Bild 5:** Wirtschaftlicher Inspektionszeitpunkt auf Basis einer Zustandsprognose  
**Fig. 5:** Cost-efficient inspection timing on the basis of condition forecasting

Für kathodisch geschützte Rohrleitungen ist gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 10 [9] in bestimmten zeitlichen Abständen die Durchführungen von Vor-Ort-Messungen zum Nachweis der Wirksamkeit des KKS vorgeschrieben. Durch Einsatz einer KKS-Fernüberwachung nach DVGW-Arbeitsblatt GW 16 [5] ergibt sich in Abhängigkeit der jeweiligen Kategorie ein mehr oder weniger ausgeprägter Informationsgewinn, da KKS-Messwerte tagesaktuell zur Verfügung stehen.

In **Bild 3** ist dargestellt, wie mit Hilfe einer KKS-Fernüberwachung und unter Einbindung von fernwirktechnisch steuerbaren Schutzstromgeräten nach einer Schutzbe-  
 reichserweiterung (ein neu in den Schutz

genommenes Gasniederdrucknetz wurde angehängt) die KKS-Betriebswerte vom Büro aus auf die entsprechenden Referenzwerte eingestellt wurden. Im Rahmen dieser Maßnahme wurde auch erkannt, dass der KKS dieses Gasniederdrucknetzes fehlerbehaftet war. Innerhalb kürzester Zeit konnte dieser Fehler gefunden und behoben werden.

**Bild 4** zeigt jahreszeitliche Schwankungen der Potentiale an einer Messstelle, die mit Hilfe einer KKS-Fernüberwachung ermittelt wurde und die in einigen Zeitabschnitten dazu führen, dass die Referenzwerte nicht erreicht werden. Mit Hilfe von fernwirktechnisch steuerbaren Schutzstromgeräten wurde dann der Ausgangsstrom der Schutzanlage entspre-

chend so angepasst, dass die Referenzwerte wieder erreicht werden. Weiterhin ist auch hier das Auftauchen eines Fehlers des KKS sichtbar, der nach kurzer Zeit behoben werden konnte.

Die Zustandsbewertung mit Hilfe des KKS ergibt somit einen fließenden Übergang zwischen einer einmaligen temporären Zustandsbewertung (Kapitel 3) hin zu einem zeitlichen Verlauf und der zeitnahen Abbildung einer Zustandshistorie, die direkt in einer Rehabilitationsplanung berücksichtigt werden kann.

Neben Informationen über die hydraulische Leistungsfähigkeit einer Rohrleitung und möglicherweise der Informationen über eine intelligente Molchung stellt also vor allem der KKS eine verlässliche Informationsquelle dar, um laufend die altersbedingte Zustandsveränderung eines Leitungsabschnitts zu prüfen. Eine zeitliche Veränderung (Verschlechterung) kann dann nach Vorliegen einer Zustandsbewertungszahl in weiterer Folge über Zustandsübergangsmatrizen abgebildet werden. Mit Hilfe solcher Prognosevarianten, die auf dem aktuellen Zustand aufsetzen und nicht auf Schadensereignisse, wie in Kapitel 4 beschrieben, kann eine effiziente wirtschaftliche Berechnung durchgeführt werden [10], [11].

In **Bild 5** ist eine Prognose über den wirtschaftlich optimalen Inspektionszeitraum dargestellt, die auf einer definierten Erneuerungsstrategie aufsetzt. Aus einem Kostenvergleich und einer Risikobetrachtung, abgeleitet aus einer Zustandsbewertungszahl, lässt sich je Abschnitt jener Zeitpunkt berechnen, in dem eine vertiefte Prüfung bzgl. der weiteren Vorgehensweise (Erneuerung oder Reparatur) durchgeführt werden sollte. Diese Entscheidungsfindung kann mit Hilfe der laufend aktualisierten Messwerte aus einer KKS-Fernüberwachung sehr effizient unterstützt werden.

**Resümee**

Rohrleitungen mit besonderer Relevanz (z.B. Gashochdruckleitungen oder Wassertransportleitungen) oder Rohrleitungen, die umweltgefährdende Inhaltstoffe transportieren, sollten hinsichtlich ihrer Schadensanfälligkeit möglichst keine bis sehr geringe Schadensraten aufweisen. Somit müssen hier andere Methoden verwendet werden, um eine vorausschauende und nachhaltige Instandhaltungs- und Rehabilitationsstrategie zu entwickeln. Der kathodische Korrosionsschutz spielt dabei eine tragende Rolle, da über den KKS Informationen, bei Verwendung einer KKS-Fernüberwachung sogar tagesaktuell, verfügbar sind, die den tatsächlichen Zustand eines Leitungsabschnitts widerspiegeln. Über die Verknüpfung mit ergänzend zur Verfügung stehenden Informationen kann somit eine Zustandsbewertungszahl definiert und über geeignete Prognosemethodiken eine optimierte Rehabilitationsstrategie entwickelt werden.

Über die zur Verfügung stehenden KKS-Messwerte können im Minimum Aussagen über die Wirksamkeit des KKS sowie den Zustand der Rohrleitungsumhüllung getroffen werden. Letzteres ist jedoch auch ein wichtiger Hinweis in Bezug auf den Alterungsprozess einer Rohrleitung. Im Unterschied zu den klassischen Methoden lassen sich mit Hilfe des KKS Zustandsprognosen in die Zukunft laufend kalibrieren und entsprechend davon abgeleitete Aussagen verifizieren.

## Literatur

- [1] DVGW W 400-3 (2006) Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen Teil 3: Betrieb und Instandhaltung, www.dvgw.de
- [2] DVGW G 401 (2009) Erfassung und Auswertung von Daten zum Aufbau von Instandhaltungsstrategien für Gasverteilungsstrategien, www.dvgw.de
- [3] VDN (2006) Technische Richtlinie für die Instandhaltung von Betriebsmitteln und Anlagen in Elektrizitätsversorgungsnetzen, Verband der Netzbetreiber e.V. beim VDEW, www.vdn-berlin.de

- [4] AfK 1 (2006) Kathodischer Korrosionsschutz in Mantelrohren im Kreuzungsbereich mit Verkehrswegen Produktrohre aus Stahl im Vortriebsverfahren, www.dvgw.de
- [5] DVGW GW 16 (2008) Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) erdverlegter Lagerbehälter und Rohrleitungen aus Stahl – Fernüberwachung, www.dvgw.de
- [6] Gangl, G. (2008) Rehabilitation von Trinkwassernetzen; Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft, Band 53, ISBN 978-3-85125-007-7 Graz
- [7] Gangl, G., Deiss, R. (2010) Netzmanagement in der Praxis, gwf 4/2010, S. 214-218, ISSN 0016-4909
- [8] Kleiner, Y. Rajani, B. (2004) Quantifying Effectiveness of Cathodic Protection in Water Mains: Theory, Journal of Infrastructure Systems Volume 10/2, p. 43-51
- [9] DVGW-Arbeitsblatt GW 10 (2008) Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) erdverlegter Lagerbehälter und Rohrleitungen aus Stahl – Inbetriebnahme und Überwachung, www.dvgw.de
- [10] Black, M., Brint A. T., Brailsford J. R. (2005) A semi-Markov approach for modelling asset deterioration, Journal of the Operational Research Society (2005) 56, 1241-1249. doi:10.1057/palgrave.jors.2601967

- [11] Kleiner Y. (2001) Scheduling inspection and renewal of large infrastructure assets; Journal of Infrastructure Systems, Volume 7/4, pp. 136-143

## Autoren:

### Dipl.-Phys. Rainer Deiss

EnBW Regional AG, Stuttgart



Tel. +49 711 289-47414

E-Mail: r.deiss@enbw.com

### Dr. Gerald Gangl

RBS wave GmbH, Stuttgart



Tel. +49 711 128-48414

E-Mail: g.gangl@rbs-wave.de



**Steffel**  
Kathodischer Korrosionsschutz

## Bei Korrosions-Gefahr: Rundum-Schutz macht sich bezahlt. Immer.



Gerade bei wertvollen Metall-Konstruktionen im Erdreich und im Wasser lohnt es sich immer, wirksam gegen Korrosions-Schäden vorzubeugen. Durch unser Know-how im Kathodischen Korrosionsschutz sorgen wir für diese Sicherheiten. Bei Fernleitungen z.B., bei Stadtnetzen oder zum Tank-Innenschutz. Rundum – mit **Beratung, Planung, Bau und Wartung**. Reden wir doch einfach mal über die passende KKS-Anlage als perfekten „Schutzpanzer“ für Ihre Anlagen.

Steffel KKS GmbH  
Im Bulloh 6, D-29331 Lachendorf  
Telefon: (0 5145) 98 91-0, Fax: 98 91-90  
www.steffel.com, kks@steffel.com



Steffel