

Zustandsbewertung von Rohrleitungen mittels Korrosionskalkulation - Update

Von Dipl.-Ing. Thomas Laier und Dipl.-Ing. (FH) Mike Wollmeiner

Einleitung

Bedingt durch eingeschränkt wirksame Korrosionsschutzmaßnahmen muss an erdverlegten Rohrleitungen aus Stahl, speziell aus älteren Baujahren, mit vorhandenen Korrosionsangriffen gerechnet werden. Dies trifft insbesondere auf Rohrleitungen zu, die längere Zeit ohne Kathodischen Korrosionsschutz (KKS) betrieben wurden.

Zur Erfassung solcher eventuell vorhandener Korrosionsangriffe werden bevorzugt Ultraschall- oder Magnetstreulflussmolche eingesetzt. Für Rohrleitungen die mit solchen Inspektionswerkzeugen nicht befahren werden können, wurde ein Verfahren entwickelt, das es erlaubt, mögliche Wanddickenverminderungen aufgrund von Außenkorrosion zu kalkulieren. Dabei werden verschiedene Einflussfaktoren, räumlich und zeitlich diskret, berücksichtigt. Dieses System befindet sich bei der Westnetz GmbH im produktiven Betrieb, sodass bereits einige Erkenntnisse aus den ersten Bewertungen zu Änderungen an der Bewertungssystematik geführt haben.

Grundlagen und Funktionsweise der Korrosionskalkulation

Die mechanische Stabilität der Rohrleitung ist ein notwendiges Kriterium um die technische Integrität bewerten zu können. Lokale Wanddickenverminderungen, z.B. durch Korrosion hervorgerufen, können diese Stabilität so stark beeinflussen, dass die Leitung nicht mehr sicher betrieben werden kann.

Im Falle von Erdgasleitungen beschränkt sich das relevante Korrosionsgeschehen auf die Rohraußenwand. Innenkorrosion spielt aufgrund des trockenen Mediums nahezu keine Rolle.

Die konsequente Anwendung von aktiven Korrosionsschutzverfahren, in Verbindung mit geeigneten Umhüllungen, kann die Belastung durch Korrosion auf ein technisch vernachlässigbares Minimum reduzieren.

Zeiten ohne ausreichend wirksamen Korrosionsschutz können zu lokalen Korrosionsangriffen führen.

Um eine objektive Aussage zum Zustand der Rohrleitung zu erhalten, ist es notwendig derartige Einflüsse zu bewerten.

Relevante Einflussfaktoren auf das Korrosionsgeschehen sind u.a. die Bodenbeschaffenheit, mögliche Beeinflussungen durch Streuströme oder Hochspannungen und Sonderbauwerke wie z.B. Mantelrohre, Düker oder grabenlos

verlegte Leitungsabschnitte. Zusammenhänge zwischen diesen Einflussfaktoren und den daraus anzunehmenden Korrosionsvorgängen wurden in der Studie [1] definiert. Dabei wurden Erkenntnisse aus Regelwerken, Literatur und Laboruntersuchungen genauso berücksichtigt wie Praxiserfahrungen. Während der Plenarsitzung CEOCOR 2012 in Luzern wurde die Korrosionskalkulation bereits vorgestellt und die Funktionsweise näher erläutert.

Im Folgenden sollen weitergehende Informationen genannt werden, die zum Teil eine Weiterentwicklung des Systems darstellen und aus bereits gemachten Betriebserfahrungen resultieren.

Einbindung der Korrosionskalkulation in ein Pipeline Integrity Management und damit in einen Instandhaltungsprozess

Die Aufgabenstellung der Korrosionskalkulation besteht also darin, relevante Wanddickenverminderungen zu identifizieren und deren Auswirkung auf die technische Integrität der Rohrleitung zu bewerten. Die Notwendigkeit einer theoretischen Betrachtung dieser Wanddickenverminderung liegt darin begründet, dass häufig eingesetzte Inspektionsverfahren (Molchung) aufgrund konstruktiver Beschaffenheit einiger Rohrleitungen nicht eingesetzt werden können. Nicht vorhandene Molchschleusen, zu kleine Radien bei Richtungsänderungen, Nennweitensprünge oder zu geringe Drücke lassen eine Inline-Inspektion oft nicht zu.

Die Korrosionskalkulation ist aus diesem Grund ein integraler Bestandteil des bei Westnetz vorhandenen Pipeline Integrity Management Systems (PIMS) zur Bewertung der technischen Integrität von Rohrleitungen.

Sie dient, unter Zuhilfenahme verschiedenster Dokumentationsunterlagen, betrieblicher Befunde und Messwerten, der Bestimmung von möglichen Restwanddicken entlang der Rohrleitung.

Nach der anschließenden Bewertung ist es dann möglich, kritische Einflussgrößen zu identifizieren und damit gezielte Inspektionsmaßnahmen zu initiieren oder direkt Maßnahmen zur Sicherstellung der Standsicherheit der Rohrleitung einzuleiten. Entsprechend ist das PIMS in den bestehenden Instandhaltungsprozess eingebunden.

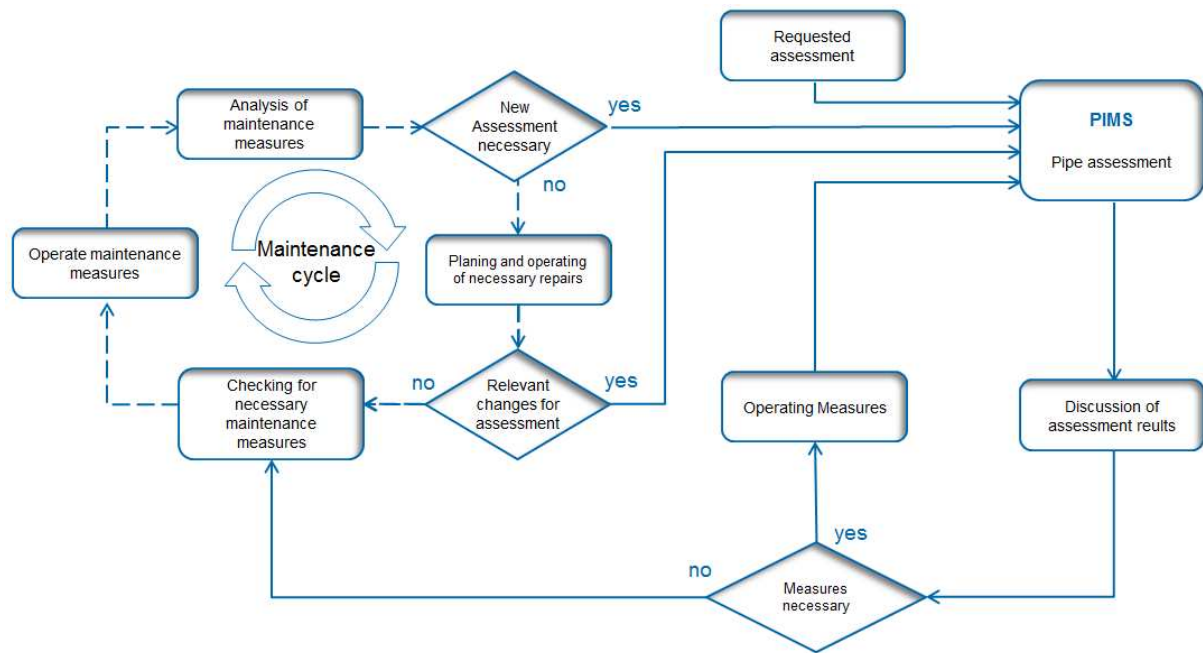


Abbildung 2: Einbindung des PIMS in einen Instandhaltungsprozess

Abbildung 2 zeigt die Übersicht des Instandhaltungsprozesses, der das Pipeline Integrity Management als integralen Bestandteil enthält.

Dabei kann eine Bewertung aufgrund einer Einzelanforderung, durchgeführter Maßnahmen oder in zyklischen Wiederholungen angestoßen werden.

Wurden an der Leitung Maßnahmen durchgeführt, die Auswirkungen auf den technischen Zustand der Leitung haben, so kann es notwendig werden, die neuen Erkenntnisse in einer Bewertung zu berücksichtigen. Diese Maßnahmen können dabei sowohl Instandsetzungen als auch gezielte Inspektionen zur Erkundung von Bewertungseinflussfaktoren sein.

Wiederholungsbewertungen können in festen Zyklen erfolgen oder von erwarteten Veränderungen relevanter Einflussgrößen abhängig gemacht werden. In jedem Fall werden die Zeiträume typischerweise > 5 Jahre sein.

Bodenkarten des Geologischen Dienstes zur Bestimmung der Korrosionsgefährdung

Wurde bisher zur Bestimmung der Korrosionsgefährdung einer Rohrleitung aufgrund der Bodenbeschaffenheit der spezifische Bodenwiderstand des umgebenen Erdreichs herangezogen, so sollen nun alternative Bestimmungsmöglichkeiten diskutiert werden. War es bisher erforderlich, die spezifischen Bodenwiderstände vor Ort messtechnisch zu erfassen, so können die erforderlichen Informationen unter Umständen auch aus Bodenkarten von z.B. geologischen Diensten abgeleitet werden. Hier muss nicht zwangsläufig der Umweg über den spezifischen Bodenwiderstand gegangen werden. Vielmehr soll die Korrosionsgefährdung anhand der Bodenzusammensetzung und der Durchfeuchtung abgeleitet werden.

Solche Bodenkarten werden aus der Auswertung einer Vielzahl von durchgeführten Bohrungen erstellt, die eine Aussage über die Zusammensetzung der jeweiligen Böden liefern. Dabei sind die Bodenzusammensetzungen prinzipiell bis in eine Tiefe von 5 m bestimmbar. Für die hier beschriebenen Zwecke ist es ausreichend, die Bodenbeschaffenheit in einer durchschnittlichen Verlegetiefe von ca. 1,5 bis 2 m zu bestimmen.

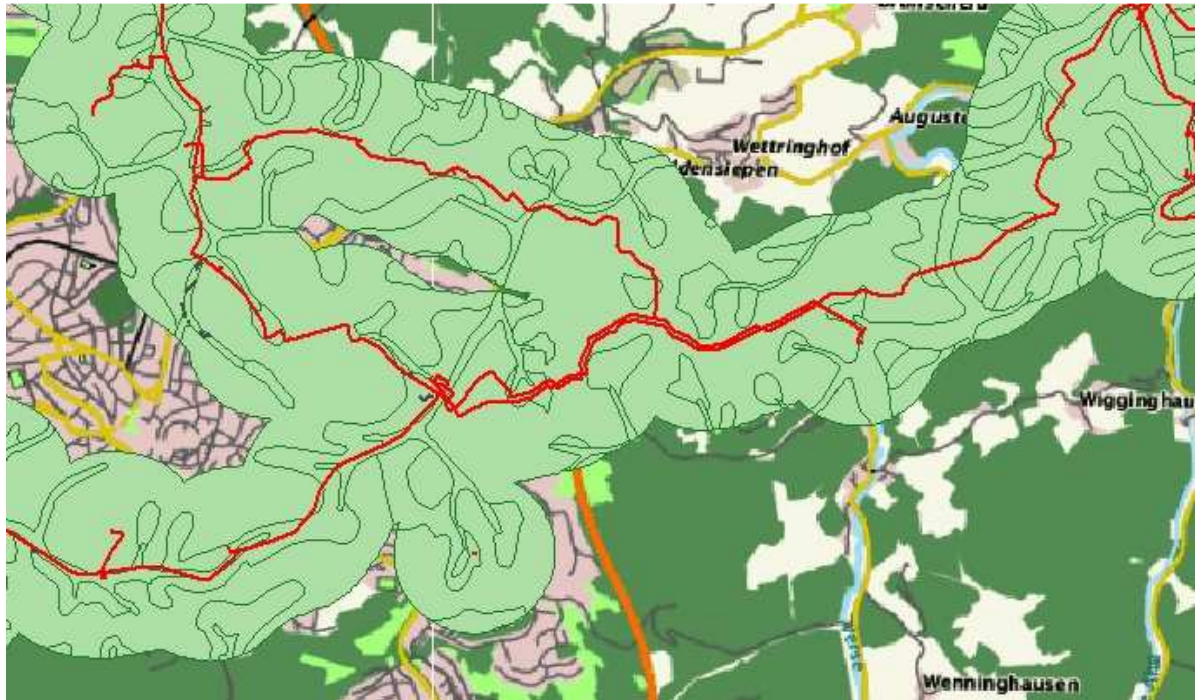


Abbildung 3: Bodenkarten des geologischen Dienstes (© GD NRW, Openstreetmap)

Abbildung 3 zeigt Leitungsverläufe und die Bodenkarten, wie sie in ein geographisches Informationssystem (GIS) eingebunden wurden.

Die Bodenkarten enthalten Informationen zu verschiedensten Kriterien. Dazu zählen unter anderem:

- Sandgehalt, Feststeingehalt und weitere Bestandteile
- Grundwasser und Stauwasserbelastung
- Elektrolytleitfähigkeiten

Folgende Annahmen dienen dann zur Bewertung der Bodenbeschaffenheit [2]:

- Die Durchlüftung des Bodens senkt die Korrosionswahrscheinlichkeit stark:
Als Maß für die Durchlüftung dient die Luftkapazität (respektive Sandgehalt)
- Hohe und insbesondere wechselnde Wassergehalte erhöhen die Korrosionswahrscheinlichkeit stark:
Grundwasser- und Staunässestufen beschreiben die korrosionsfördernde Wirkung der Bodenfeuchte

- Saure Bodenlösungen erhöhen die Korrosionswahrscheinlichkeit stark:
Das Vorliegen organischen Materials (Humus, Torfe) begründet die Annahme meist (stark) saurer Bodenbedingungen
- Ionenreiche Bodenlösungen erhöhen die Korrosionswahrscheinlichkeit:
Potentielle Kationenaustauschkapazität (respektive Ton- und Schluffgehalte) machen eine ionenreiche Bodenlösung wahrscheinlich

Stellvertretend kann über den Sandgehalt und die Grundwasser- und Stauwassereinflüsse eine Korrosionsgefährdung abgeleitet werden.

Tabelle 1 zeigt eine mögliche Festlegung der Korrosionsgefährdungen für verschiedene Bodenbeschaffenheiten.

Tabelle 1: Festlegung der Korrosionsgefährdung anhand des Sandgehaltes und der Feuchtigkeit [2]

Sandgehalt	wasserfrei	feucht	nass
> 75 %	sehr gering	gering	mittel
> 25 %	gering	mittel	hoch
< 25 %	mittel	hoch	hoch

Anhand dieser Korrosionsgefährdungen lassen sich dann mögliche Korrosionsgeschwindigkeiten aus [1] festlegen.

Inwieweit eine Korrelation der Korrosionsgefährdung mit spezifischen Bodenwiderständen (respektive der Bodenklasse (vgl. [2])) vorliegt, soll zukünftig untersucht werden. Tabelle 2 zeigt eine mögliche Zuordnung.

Tabelle 2: Festlegung der Korrosionsgefährdung anhand des Sandgehaltes und der Feuchtigkeit [2]

Korrosionsgefährdung	Bodenklasse	Spez. Bodenwiderstand
sehr gering	1a	> 500 Ωm
gering	1b	> 150 Ωm
mittel	2	> 30 Ωm
hoch	3	< 30 Ωm

Betrachtung von Mantelrohren und anderen Verlegearten in der Korrosionskalkulation

Für Rohrleitungen wird im Allgemeinen angenommen, dass sie in offener Bauweise ins Erdreich eingebracht worden sind. Für die offene Verlegung gilt dabei die Korrosionskalkulation, wie sie in [1] beschrieben ist.

Es existieren jedoch zwei Ausnahmen, die hier betrachtet werden sollen.

Dies sind zum einen Mantelrohre und zum anderen die grabenlose Verlegung von Rohrleitungen.

Verlegung in Mantelrohren

Mantelrohre beeinflussen eine Bewertung der Rohrleitung insoweit, dass nicht ohne Weiteres auf die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes innerhalb eines Mantelrohres geschlossen werden kann. Dieser Nachweis muss dann anhand geeigneter Bewertungssystematiken erbracht werden. Hierzu wird die AfK-Empfehlung Nr.1 [3] empfohlen, die sich mit der Wirksamkeit des Kathodischen Korrosionsschutzes innerhalb von Mantelrohren beschäftigt.

Anhand einer solchen Bewertung lässt sich der Nachweis, ob der Korrosionsschutz für das Rohrstück innerhalb des Mantelrohres wirksam ist, erbringen.

Hier werden zwei Fälle unterschieden:

- Bewertung nicht erfolgt oder „kritisches“ Mantelrohr:
Es wird davon ausgegangen, dass das Rohrstück innerhalb des Mantelrohres nicht ausreichend geschützt ist und war, sodass die Korrosionskalkulation (seit Baujahr) von einem nicht wirksamen Korrosionsschutz ausgeht.
- Bewertung weist die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes nach:
Es wird davon ausgegangen, dass das Rohrstück bis heute einen wirksamen Korrosionsschutz erfahren hat. Die Korrosionsgeschwindigkeit liegt demnach im Bereich des technisch vernachlässigbaren Wertes von $< 10\mu\text{m p.a.}$.

Grabenlose Verlegearten

Grabenlose Verlegearten (wie z.B. Horizontal Directional Drilling (HDD) und Microtunneling) haben die Eigenschaft, dass üblicherweise während der Einbringung des Rohres das Bohrloch mit einem niederohmigen Spülmittel befüllt wird, das innerhalb des Bohrloches verbleibt.

Diese niederohmigen Bereiche der Rohrleitung würden dann während der Korrosionskalkulation als Bereiche mit stark erhöhter Korrosionsgefährdung (vgl. [1]) berechnet. Dies ist aufgrund der üblichen PH-Werte der Bohrspülungen jedoch nicht wahrscheinlich.

Aktuelle Untersuchungen haben gezeigt dass, entgegen dem Verhalten von sogenannten Flüssigböden, diese Bohrspülungen ihre Eigenschaften langfristig behalten. Eine Angleichung relevanter Eigenschaften an den umgebenden Boden konnte nicht festgestellt werden.

Entsprechend können für die Korrosionskalkulation geringe Korrosionsgeschwindigkeiten angenommen werden.

Annahmewerte für die Korrosionskalkulation

Grundlage der Korrosionskalkulation sind vollständige Daten. Fehlen Daten, so erschwert oder verhindert dies die Durchführung der Korrosionskalkulation. Es müssen deshalb qualifizierte Annahmen getroffen werden um Datenlücken zu schließen. Vorrangig ist es dabei schwierig etwaige Daten des kathodischen Korrosionsschutzes zu ermitteln, da vielfach ältere Unterlagen nicht mehr vorhanden sind. Im Folgenden soll erläutert werden, wie mit einigen Daten für die Korrosionskalkulation verfahren werden kann, wenn diese nicht oder nur unzureichend vorhanden sind.

Startdatum Korrosionskalkulation

Geht man davon aus, dass Korrosion nur dann auftreten kann, wenn die Umhüllung beschädigt ist, so ist es sinnvoll Untersuchungsmethoden anzuwenden, die einen Umhüllungsfehler nahezu ausschließen. Korrosion unter abgelöster Umhüllung soll dabei vorerst vernachlässigt werden.

Wurden solche Untersuchungen durchgeführt und wurde die Fehlstellenfreiheit nachgewiesen, so kann für die Korrosionskalkulation angenommen werden, dass vor der Untersuchung keine bzw. eine technisch vernachlässigbare Korrosion aufgetreten ist. Für Zeiten nach dieser Untersuchung gilt jedoch nach dem Worst-Case-Szenario die Vermutung, dass Korrosion jederzeit auftreten kann wenn KKS nicht vorhanden oder eingeschränkt wirksam ist.

Folgende Untersuchungen oder Maßnahmen sind hier relevant.

- **Nachumhüllung:**
Bei einer durchgeführten Reparatur der Umhüllung wird davon ausgegangen, dass relevante Wanddickenminderungen dokumentiert oder beseitigt wurden. Die Qualität der Nachumhüllung ist i. d. R. mindestens gleichwertig bzw. besser als die Umhüllung zum Zeitpunkt des Baus der Leitung (Alter, Qualität der Ausführung, Weiterentwicklung des Materials, etc.), aus diesem Grund wird das Startdatum der Korrosionskalkulation in diesem Fall gleich dem Zeitpunkt der Nachumhüllung gesetzt
- **Intensivmessung:**
Wird durch eine Intensivmessung für einen Leitungsabschnitt die Umhüllungsfehlstellenfreiheit nachgewiesen, so ist das Datum der Intensivmessung das Startdatum der Korrosionskalkulation. Grundsätzlich wird die Fehlstellenfreiheit bis zu einem Potentialgradienten von 1,1 mV angenommen. Kleinere Potentialgradienten, die im Rahmen einer Intensivmessung aufgenommen werden, werden somit aufgrund der Messungenauigkeit als fehlstellenfrei interpretiert.

- Molchung:
Bei einer intelligenten Molchung wird i.d.R. nicht der Umhüllungszustand der Rohrleitung nachgewiesen. Es werden allerdings die Wanddicken vermessen. Werden dabei keine relevanten Wanddickenverminderungen festgestellt, wird auch hier das Startdatum auf das Datum der Molchung gesetzt.

Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes

Geht man davon aus, dass ein wirksamer kathodischer Korrosionsschutz die zu erwartende Korrosion auf ein technisch vernachlässigbares Maß reduziert, so ist die Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes ein wichtiges Datum für die Korrosionskalkulation. Da jedoch insbesondere aus Zeiten vor 1980 kaum Aufzeichnungen über die Wirksamkeit vorhanden sind, soll in diesem Abschnitt ein Ansatz für Annahmewerte erläutert werden. Zudem soll berücksichtigt werden, dass zu unterschiedlichen Zeitpunkten die normengerechte Schutzwirkung des kathodischen Korrosionsschutzes aus heutiger Sicht auch unterschiedliche Qualitätsstandards beinhalteten.

In den ersten Jahren der Anwendung des KKS galt die Schutzwirkung als gegeben, wenn an den Messstellen ein Einschaltpotential von $U_{CSE} \leq -850$ mV ermittelt wurde. Später wurde das gleiche Kriterium auf die Ausschaltpotentiale angewendet. Da an möglichen Umhüllungsfehlstellen zwischen zwei Messstellen unter Umständen kritische Werte vorherrschen konnten, wurde in späteren Zeiten ein Grenzwert von $U_{CSE} \leq -950$ mV eingeführt. Erst mit der Neuauflage des DVGW Arbeitsblattes GW10 im Jahre 2000 wurde der Nachweis der Schutzwirkung des KKS an allen vorhandenen Umhüllungsfehlstellen unmissverständlich gefordert.

Je nach der angewandten Beurteilung bzw. Bewertungsgrundlage wird die ermittelte Korrosionsgeschwindigkeit ohne KKS ganz (Faktor 0) oder teilweise (Faktor < 1) reduziert. Ist der KKS unwirksam wird mit der unverminderten Korrosionsgeschwindigkeit gerechnet.

Vor diesem Hintergrund werden die Wirksamkeitsattribute wie folgt definiert [4]:

- Wirksam nach GW 10 (2000) (Faktor 0)
- Wirksam nach dem Kriterium $U_{CSE} \leq -950$ mV (Faktor 0,3)
- Wirksam nach dem Kriterium $U_{CSE} \leq -850$ mV (Faktor 0,5)
- Wahrscheinlich wirksam nach dem Kriterium $U_{CSE} \leq -850$ mV (Faktor 0,8)
- Fraglicher oder nicht wirksamer kathodischer Korrosionsschutz (Faktor 1)

Diese Wirksamkeitseinteilung wird dabei nur angesetzt, wenn Messwerte in regelmäßigen zeitlichen Mindestabständen vorliegen. Es werden dazu neben der regelmäßigen Überwachung vor Ort auch weitere Daten aus Fernüberwachung, Funktionskontrollen oder Intensivmessungen herangezogen.

Ist der Abstand zwischen ermittelten Messwerten größer als 3 Jahre, so kann keines der vorliegenden Attribute für diesen Zeitraum mit ausreichender Sicherheit angenommen werden.

Deuten die entsprechenden Messwerte aber auf einen wirksamen kathodischen Korrosionsschutz hin, so gilt für einen maximalen Zeitraum von 10 Jahren das Attribut „Wahrscheinlich wirksam nach dem Kriterium $U_{CSE} \leq -850 \text{ mV}$ “.

Für größere Zeiträume gilt der kathodische Korrosionsschutz in jedem Fall als fraglich oder nicht wirksam.

Fehlzeiten des kathodischen Korrosionsschutzes werden erst ab einem Zeitraum $> 0,5$ Jahren berücksichtigt [4].

Fremdobjekt – Beeinflussung durch statische Potentialgradienten

Statische Potentialgradienten werden von zeitlich konstanten Streustromquellen hervorgerufen. Dies können Fremdobjekte wie Stahlbetonbauwerke oder fremde KKS-Anlagen sein. Sie können dabei die betrachtete Leitung unzulässig beeinflussen. Im Rahmen der Korrosionskalkulation werden einige dieser Objekte pauschal berücksichtigt [4].

Folgende Objekte können in einem Worst-Case-Szenario relevant sein:

- Stahlbetonfundament
- Gebäude mit Erder (umlaufende Erder), auch größere Bauwerke z. B. Brücken mit Erder
- KKS-/LKS-geschützte Objekte

Folgende Objekte werden als nicht relevant klassifiziert:

- Kanäle (i. d. R. nicht elektrisch durch verbunden)
- Kabel (i. d. R. keine Elementbildung)
- Leitungen (z. B. Wasserleitungen (Material unbekannt/bekannt und nicht KKS-geschützt → i. d. R. keine relevanten Elementströme)
- Sonstige Objekte in Leitungsnähe

Bekannte Objekte werden in Abhängigkeit des Abstandes ($< 5 \text{ m}$) lokal mit einem statischen Spannungstrichter von $U_{\text{statisch}} = 0,3 \text{ V}$ [1] berücksichtigt.

Bei der Betrachtung von KKS-/LKS-geschützten Fremdobjekten in Leitungsnähe kann kein pauschaler Wert für einen Potentialgradienten angenommen werden, da diese deutlich höhere Werte als $0,3 \text{ V}$ annehmen können. Aus diesem Grund ist eine Bewertung des Sachverhaltes durch den verantwortlichen KKS-Sachkundigen zwingend notwendig.

Als erste Annahme werden bekanntermaßen oder wahrscheinlich kathodisch geschützte Objekte als nicht beeinflussungsrelevant angenommen, wenn folgende Bedingungen vorliegen:

- Parallelverlauf/Kreuzung von KKS-geschützten Objekten im gleichen Schutzsystem wie die betrachtete Leitung,
- KKS-/LKS-geschützte Objekte mit einem Abstand $x > 15$ m

Fazit

Die Korrosionskalkulation ist ein Ansatz zur Bestimmung möglicher Altkorrosionen in einem Leitungsnetz, das nicht molchbar ist. Dabei besteht große Flexibilität im Rahmen der Bewertung von Einzelfällen. Dies erfordert die Festlegung und Dokumentation von entsprechenden Freiheitsgraden als Annahmewerte.

Das Bewertungssystem hat Einzug in das deutsche Regelwerk gefunden und wird im technischen Merkblatt GW18 des DVGW als Ansatz zur Zustandsbewertung von kathodisch geschützten Rohrleitungen der Gas- und Wasserversorgung aufgeführt [5]. Ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess soll sicherstellen, dass die Bewertungslogik mit den entsprechenden Algorithmen den aktuellen Kenntnis- und Untersuchungsstand widerspiegeln.

Literaturhinweise:

- [1] Martin GmbH: Methodologie zur Korrosionsbewertung als Basisparameter für ein Pipeline Integrity Managementsystem im Auftrag der RWE Westfalen-Weser-Ems Netzservice GmbH und der Thyssengas GmbH, 2010
- [2] Veröffentlichung geologischer Dienst NRW: „Korrosionswahrscheinlichkeit von Stahl- und Gussrohren zur Wasser- und Gasversorgung“; Stand: Februar 2008
- [3] AfK-Empfehlung Nr. 1: Kathodischer Korrosionsschutz in Mantelrohren im Kreuzungsbereich mit Verkehrswegen – Produktrohre aus Stahl im Vortriebsverfahren; November 2006
- [4] Lemkemeyer, M.; Ruhe, M.; Wollmeiner, M.; Handbuch Pipeline Integrity Management - Korrosionskalkulation; 2014
- [5] DVGW Arbeitsblatt GW 18: Zustandsbewertung von kathodisch geschützten Rohrleitungen der Gas- und Wasserversorgung; 2013

Autoren:

Dipl.-Ing. Thomas Laier

Westnetz GmbH
Florianstraße 15 - 21
44139 Dortmund

Tel.: +49 231 438-6247
E-Mail: Thomas.Laier@westnetz.de
Internet: www.westnetz.de

Dipl.-Ing. (FH) Mike Wollmeiner

Westnetz GmbH
Florianstraße 15 - 21
44139 Dortmund

Tel.: +49 231 438-3583
E-Mail: Mike.Wollmeiner@westnetz.de
Internet: www.westnetz.de