

Typische Inkrustierungen in einem ungeschützten
Stahlrohr, DN 150, Alter ca. 60 Jahre

Möglichkeiten und Grenzen von Spülmaßnahmen in der Wasserverteilung

Abb.: IWW

Nicht immer lassen sich der Einsatz von Inhibitoren und Desinfektionsmaßnahmen durch Spülungen des Rohrnetzes ersetzen. Am Beispiel eines Wasserversorgers im Rheinland wird aufgezeigt, dass der Verzicht auf einen Korrosionsinhibitor bei gleichzeitig intensivierten Rohrnetzspülungen nicht immer zum Erfolg führt und möglicherweise Kundenbeschwerden nach sich zieht.

Eine der häufigsten Beschwerden von Verbrauchern betrifft die Trübung oder die Braunfärbung des Trinkwassers. Korrosionsbedingte Trübungsereignisse sind an das Vorhandensein von Stahl- und Gussrohren ohne inneren Korrosionsschutz, z. B. eine Zementmörtelauskleidung, gekoppelt. Diese Rohre wurden bis ca. in das Jahr 1975 eingebaut und bilden noch einen vergleichsweise hohen Bestand in den Trinkwassernetzen der öffentlichen Wasserversorgung. Als Hauptursachen für das Auftreten von Trübungsproblemen können folgende Faktoren angesehen werden:

- das Vorhandensein ungeschützter Stahl- und Gussleitungen (Korrosion),
- das Verbrauchsprofil, die Hydraulik und die Dimensionierung der Leitungen (Stagnation, Remobilisierung),
- die Fahrweise des Wasserwerks/mehrerer Wasserwerke (Stagnation, Remobilisierung, Pendelbetrieb),
- der Partikeleintrag aus der Wasseraufbereitung (Ausgang Wasserwerk, Akkumulation kleinster Mengen in Abhängigkeit der Wasserabgabemengen).

Geeignete Spülmaßnahmen sind daher eine Funktion der Variablen Innenzustand der Rohre, Partikelzusammensetzung und Eigenschaften, Hydraulik und Betrieb der Rohrleitungen.

Das Ziel von Rohrnetzspülungen ist im Wesentlichen der gezielte und effektive Austrag von lockeren, partikulären Ablagerungen aus Trinkwasserverteilungsnetzen zum Zweck der Rohrreinigung. Allerdings ist darauf zu achten, dass Eisendeckschichten korrosionsschützende Eigenschaften aufweisen können und daher nicht entfernt werden müssen [1]. Zudem birgt die Entfernung von Inkrustierungen die Gefahr, dass an den freigelegten Ober-

flächen Korrosionsschichten aufweisen können und daher nicht entfernt werden müssen [1]. Zudem birgt die Entfernung von Inkrustierungen die Gefahr, dass an den freigelegten Ober-



Abb. 1 – Ringsäule mit Stahl-Ringproben und Entwicklung der Eisendeckschichten und Werkstoffoberflächen

flächenbereichen, an denen eine reaktive Eisenoberfläche vorliegt, womöglich verstärkt Korrosionsprozesse einsetzen, die zu einem vermehrten Eintrag von gelöstem Eisen in das Trinkwasser führen können. Das DVGW-Arbeitsblatt W 401 sieht vor, dass Rohrnetze – soweit erforderlich – im Hinblick auf einen ausreichenden Wasseraustausch zur Vorbeugung einer Eintrübung des Wassers und zur Reduzierung der Gefahr einer Verkeimung zu spülen sind [2]. Besonderes Augenmerk ist auf das Spülen unzureichend durchflossener Leitungen zu legen, z. B. in Endsträngen und Ringleitungen mit niedrigen Fließintensitäten.

Ein seit Jahrzehnten in der öffentlichen Wasserversorgung mit Erfolg eingesetztes Verfahren zur nachhaltigen Vermeidung von Trübungen und Rostwasserproblemen bei Vorhandensein von ungeschützten Stahl- und Gussrohren in Abhängigkeit von der Wasserbeschaffenheit und den Betriebsbedingungen ist der Einsatz trinkwassergeeigneter Korrosionsinhibitoren auf Phosphat- und Silikatbasis. Die Rahmenbedingungen werden durch das DVGW-Arbeitsblatt W 215, Teile 1 und 2, festgelegt [3]. Ziel der Korrosionsschutzmaßnahme ist einerseits die Ausbildung einer gut schützenden Deckschicht auf der Innenoberfläche der Eisenwerkstoffe, welche die Geschwindigkeit, mit der der Werkstoff korrodiert wird, deutlich herabsetzt. Andererseits wird durch die Einlagerung der Deckschichtkomponenten die Stabilität des wasserseitigen Teils der Deckschicht erhöht, sodass die Menge an mobilisierbaren Partikeln, die teilweise zu einem nicht unerheblichen Anteil aus Deckschichtpartikeln bestehen, minimiert wird.

Wirksamkeitsgrenzen von Netzspülungen gegenüber dem Einsatz von Desinfektionsmitteln und Korrosionsinhibitoren – Praxisbeispiel

Der Wasserversorgungsverband Euskirchen-Swisttal (heute in der Betriebsführung von e-regio GmbH) versorgt aus vier Wasserwerken die Stadt Euskirchen und ein ländliches Versorgungsgebiet im Umfeld. Das bedeutet in der Praxis lange Versorgungswege, schwach durchflossene Bereiche und Stagnation des Wassers im Versorgungsnetz. Aufgrund erhöhter Trübungs- und Eisenwerte, insbesondere in Endsträngen des Netzes, entschloss man sich in den 1980er-Jahren, dem Trinkwasser einen Korrosionsinhibitor auf Basis phosphathaltiger carbonataktivierter Silikate zuzusetzen. Diese Maßnahmen zeigten schnell den gewünschten Erfolg, das heißt, korrosions-

bedingte Trübungen oder Färbungen des verteilten Trinkwassers wurden nicht mehr festgestellt.

Über Jahre wurden umfangreiche Sanierungsmaßnahmen im Verteilungsnetz durchgeführt, insbesondere wurden kritische, überalterte Stahl- und Gussleitungen erneuert. Vor diesem Hintergrund wurden auch die Korrosionsschutzmaßnahmen auf Basis des Minimierungsgebotes der Trinkwasserverordnung auf den Prüfstand gestellt. Denn die Trinkwasserverordnung verpflichtet den Anlagenbetreiber wie folgt: „Aufbereitungsstoffe, die (...) zugesetzt werden und bestimmungsgemäß im Wasser für den menschlichen Gebrauch verbleiben, sind entsprechend dem Minimierungsgebot in den Einsatzmengen der Aufbereitungsstoffe auf das für die Erreichung des Aufbereitungszieles erforderliche Maß zu beschränken“ [4].

Zur Prüfung der aktuellen Situation im Rohrnetz beauftragte der Wasserversorgungsverband im Jahr 2009 Untersuchungen im Versorgungsnetz, inwieweit der Einsatz von Inhibitoren und Desinfektionsmitteln minimiert oder ob auf deren Einsatz vollständig verzichtet werden kann. Schwerpunkte der durchgeführten Untersuchungen waren ein Screening der Ablagerungssituation in ausgewählten Leitungen sowie kontinuierliche Trübungsmessungen an repräsentativen Netzpunkten. Die Untersuchungen kamen zu dem Ergebnis, dass die Trübungsereignisse sowohl auf die Mobilisierung von trübungsrelevanten Partikeln als auch auf Korrosionsprozesse zurückzuführen waren. Als ein Indiz für ablaufende Korrosionsprozesse wurde der Anstieg der Trübung um ca. 0,1 FNU an einzelnen Messpunkten während der Nachtstunden gewertet. Auf Basis der Spülwasseruntersuchungen (bestimmt wurde neben Mangan jeweils Gesamteisen) und der Trübungswerte im Netz, die allerdings bis auf einige Trübungsspitzen unterhalb des Grenzwertes der Trinkwasserverordnung von 1,0 NTU lagen, konnte kein Zusammenhang zwischen der Inhibitor-dosierung und der Trübung des Wassers hergestellt werden. Daher wurde empfohlen, auf die Inhibitor-dosierung zu verzichten. Als Ersatz empfahl man die Entwicklung eines Spülprogrammes, das die Geschwindigkeit der Ablagerungsbildung berücksichtigte [5].

Wiederaufnahme der Inhibitor-dosierung zum Schutz des Verteilungsnetzes

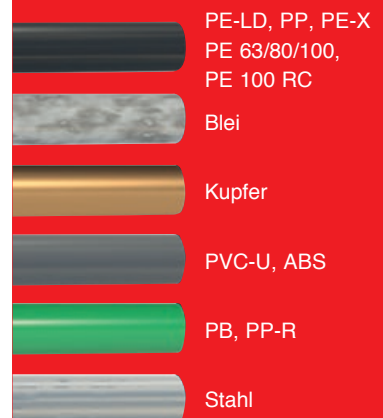
Trotz der intensiven, regelmäßigen Spülmaßnahmen traten im Nachgang des Verzichts auf die Inhibitor-dosierung wieder vermehrt

Universal- kupplung – Eine für Alles!



Serie 19 Universal- kupplungen

... verbinden Rohre
aus gleichen
oder verschiedenen
Rohrmaterialien.



Referenzstrecke ohne Inhibitor			
Vor- korrosion	2 mg o-PO ₄ + 2 mg p-PO ₄	1 mg o-PO ₄ + 1 mg p-PO ₄ + 2 mg SiO ₂	0,5 mg o-PO ₄ + 0,5 mg p-PO ₄ + 2 mg SiO ₂
1 Monat	5 Monate	6 Monate	4 Monate

Abb. 2 – Versuchsdurchführung – Einsatz der Inhibitoren



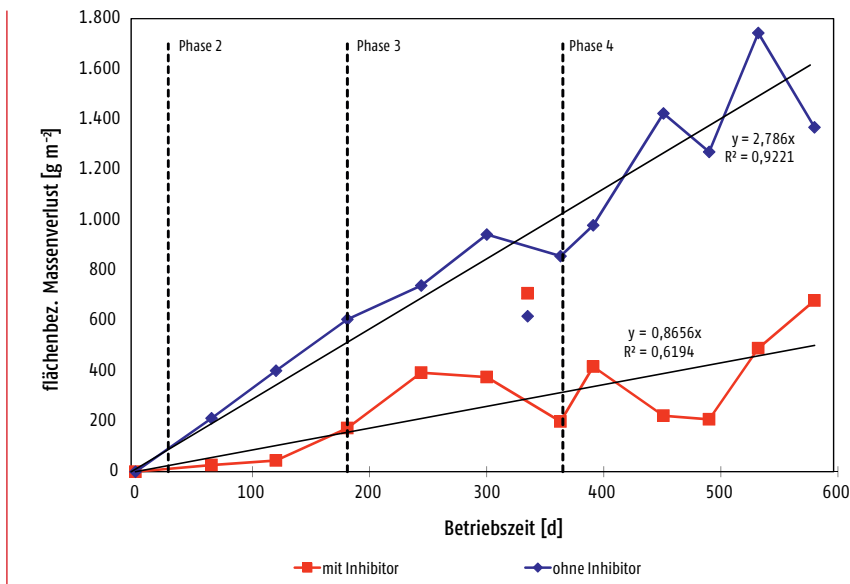


Abb. 3 – Flächenbezogener Massenverlust [g m⁻²]

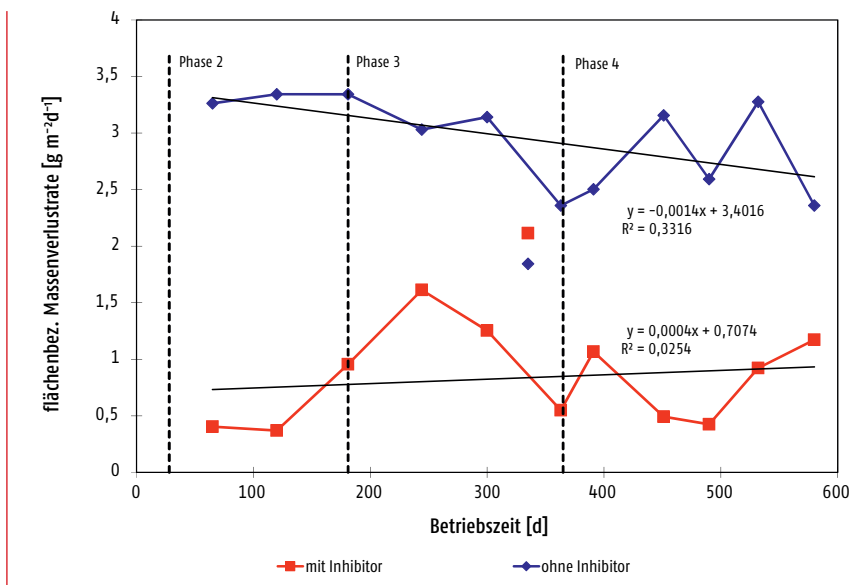


Abb. 4 – Flächenbezogene Massenverlustrate [g m⁻² d⁻¹]

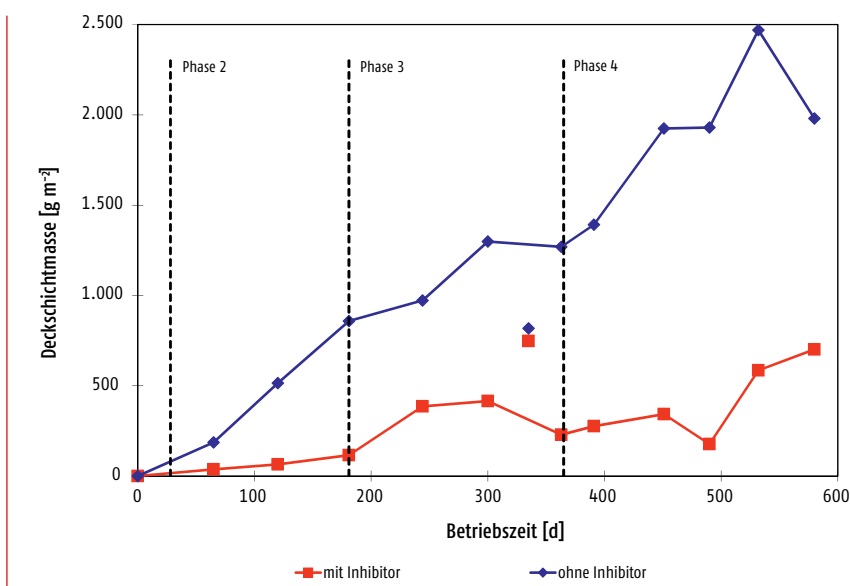


Abb. 5 – Oberflächenbelegung mit Korrosionsprodukten und Komponenten aus Wasserinhaltsstoffen

Verbraucherbeschwerden über getrübbtes Trinkwasser auf. Daher entschloss sich der Wasserverband, die Inhibitor dosierung zum Korrosionsschutz der Stahl- und Gussrohre wieder in Betrieb zu nehmen. Allerdings sollte diese Wiederaufnahme der Dosierung mit einer Optimierung der Zusammensetzung und der Menge des Inhibitors gekoppelt werden.

Da schon jahrzehntelange Erfahrungen mit der Dosierung von Korrosionsinhibitoren vorlagen, entschied sich der Wasserverband, Untersuchungen unter Einsatz der Ringsäulenmethode durchzuführen (Abb. 1). Diese Methode beruht darauf, dass zwölf speziell präparierte Stahlrohrringe gleicher Geometrie und Innenoberfläche (inhibierend gebeizt, gewogen und nummeriert) mithilfe von Kunststoff-Zwischenstücken zu einer Säule zusammengefügt werden. Die Rohrproben werden mit dem jeweiligen Prüfwasser entweder kontinuierlich oder intermittierend durchflossen. Nach einem definierten Zeitraum (in der Regel alle vier bis sechs Wochen) werden Rohrproben entnommen und untersucht, sodass eine Bewertung der zeitlichen Entwicklung des Korrosionsverhaltens möglich ist.

Ziel solcher Versuche ist es, den optimalen Inhibitor und/oder die Mindest-Dosiermenge zu ermitteln. Es können mehrere Prüfstrecken parallel betrieben werden, wobei die Prüfstrecken mit verschiedenen Inhibitoren (z. B. Integrations-Verfahren, Silikat/Phosphat-Kombinationen, carbonataktiviertes Silikat, verschiedene Phosphate) behandelt werden können. Die folgenden Ausführungen enthalten beispielhaft die Ergebnisse von Korrosionsuntersuchungen im Wasserwerk Heimerzheim.

Inhibitoroptimierung

Im Wasserwerk Heimerzheim wurden zwei Prüfstrecken aufgebaut und über einen Zeitraum von ca. 1,5 Jahren betrieben. Der Wasserdurchfluss wurde in den Prüfstrecken auf 300 l/h eingeregelt, die Ringsäulen wurden kontinuierlich durchflossen. In regelmäßigen Abständen baute man jeweils eine Rohrprobe aus und untersuchte diese. Abbildung 2 zeigt das Versuchskonzept anhand der eingesetzten Inhibitoren.

Die Rohrproben, die mit dem Trinkwasser mit Inhibitor beaufschlagt werden sollten, wurden zur Vermeidung einer Passivierung der Werkstoffoberfläche zunächst für einen Zeitraum von vier Wochen unter Einsatz des nicht inhibierten Wassers vor-korrodieren (Versuchsphase 1). Bei den eingesetzten Inhibitoren handelte es sich in

Phase 2 um eine Mischung aus Ortho- und Polyphosphaten (Mischungsverhältnis 50:50), die Gesamtphosphatkonzentration im Wasser der Prüfstrecke betrug 4 mg/l PO_4 . In den Phasen 3 und 4 wurde die Gesamtphosphatkonzentration um jeweils 50 % verringert. In Phase 2 wurde zusätzlich 50 % der Phosphatkonzentration durch ein hochvernetztes Silikat ersetzt (TVS-Verfahren), das heißt, die natürliche Silikatkonzentration des Trinkwassers wurde um 2 mg/l SiO_2 erhöht. In Phase 4 betrug die Phosphatkonzentration nur noch 1 mg/l Gesamtphosphat.

Die im Folgenden angewendeten Auswertemethoden entsprechen den Vorgaben von DIN 50905-2 [6]. Abbildung 3 zeigt den durch Wägung bestimmten flächenbezogenen Massenverlust [g m^{-2}]. Der Massenverlust ist die durch Reaktion des Werkstoffes mit dem Wasser unter Bildung von Korrosionsprodukten umgewandelte Masse der Rohrprobe. Die Bestimmung des Massenverlustes erfolgt durch Wägung der jeweils inhibierend gebeizten Rohrprobe vor und nach dem Betrieb in der jeweiligen Prüfstrecke; aus dem Massenverlust errechnet sich unter Berücksichtigung der Rohrproben-Innenfläche der flächenbezogene Massenverlust.

Die Auswertung der grafischen Darstellung zeigt, dass der Massenverlust bei Kontakt der Stahlproben mit dem Prüfwasser mit Inhibitor deutlich geringer ist als bei Kontakt der Proben mit dem Referenzwasser ohne Inhibitor. Das heißt, die anodische Auflösung des Werkstoffes

Wasser deutlich langsamer korrodiert wird als bei Kontakt mit dem Referenzwasser. Bei Kontakt der Rohrproben mit dem Versuchswasser mit Inhibitoren kann in Phase 3 eine Zunahme der Geschwindigkeit festgestellt werden, mit der Proben korrodiert werden (die Rate steigt an). Dieser Trend setzt sich aber in Phase 4 nicht fort. Betrachtet man die Absolutwerte, liegt die Massenverlustrate um den Faktor 2,5 unterhalb der Rate, die für die Proben aus der Referenzanlage berechnet wurden. Damit zeigen die mit Inhibitor betriebenen Proben ein deutlich günstigeres Korrosionsverhalten – trotz der Abweichung von dem idealen Hyperbelverlauf der Kurve – als die Proben aus der Referenzanlage.

Als Deckschichtmasse m_{DS} wird die Masse der nach dem Ausbau auf der Innenoberfläche der Rohrprobe befindlichen Korrosionsprodukte einschließlich der darin eingebauten Komponenten aus Wasserinhaltsstoffen bezeichnet. Die Deckschichtmasse entspricht der positiven Massenänderung der nach dem Ausbau getrockneten Rohrprobe vor dem inhibierenden Beizen. Aus der Massenzunahme wird unter Berücksichtigung der Rohrproben-Innenfläche die flächenbezogene Deckschichtmasse m_{aDS} bestimmt.

Abbildung 5 zeigt die Oberflächenbelegung mit Korrosionsprodukten und Komponenten aus Wasserinhaltsstoffen. Der Vergleich der Kurven zeigt, dass bei Kontakt der Rohre mit dem Referenzwasser eine signifikante Zunahme der Deckschicht über den Versuchszeitraum zu verzeich-

» Der Einsatz von trinkwassergeeigneten Korrosionsinhibitoren ist ein schon lange mit Erfolg eingesetztes Verfahren zur Vermeidung von Trübungen und Rostwasserproblemen. «


während der Korrosionsreaktion ist bei Zusatz der Inhibitoren deutlich gehemmt, was auf eine gute Schutzfunktion der sich unter diesen Bedingungen ausbildenden Deckschicht zurückzuführen ist. Auch die Optimierung der Inhibitorzusammensetzung mit einer deutlichen Verringerung der Phosphatkonzentration führt über den betrachteten Zeitraum nicht zu einer ungünstigen Veränderung des Korrosionsverhaltens des Eisenwerkstoffes. Die größere Variationsbreite der Daten aus der Referenzanlage am Ende der Versuche weist auf eine Zunahme lokaler Korrosionsprozesse hin.

Abbildung 4 zeigt die flächenbezogene Massenverlustrate [$\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$], die aus dem Massenverlust der in den Ringsäulen eingebauten Stahlrohrproben unter Berücksichtigung der Betriebsdauer der Rohrproben in der Versuchsanlage berechnet wird.

Die Gegenüberstellung der Daten zeigt, dass der Eisenwerkstoff bei Kontakt mit inhibiertem

nen ist. Demgegenüber weist der Verlauf der Kurve bei Kontakt der Rohrproben mit dem inhibierten Prüfwasser darauf hin, dass sich ein quasi-stationärer Zustand einstellt, bei dem sich die Prozesse des Wachstums, der Auflösung und der Umbildung der Deckschichten entsprechen sollten.

Zur Bewertung der Morphologie der sich auf der Innenoberfläche der Rohrproben ausbildenden Deckschichten wurden die Rohrproben nach Ausbau aus der Testanlage nach vollständigem Trocknen fotografiert. Nach dem Entfernen der Deckschicht durch Beizen der Rohrprobe mit Säure (10 % HCl mit Inhibitor) wurde der Zustand der Werkstoffoberfläche erneut fotografisch dokumentiert und die Korrosionsform (Flächenkorrosion, Muldenkorrosion, Lochkorrosion, Spaltkorrosion) visuell bewertet.

Abbildung 6 zeigt einen visuellen Vergleich der Deckschichtenmorphologie. Diese Bilder verdeutlichen, dass der Betrieb der Rohre 

PLASSON



PLASSON GmbH

Krudenburger Weg 29

46485 Wesel

Telefon: 0281 / 952 72-0

Telefax: 0281 / 952 72-27

E-Mail: info@plasson.de

Internet: www.plasson.de

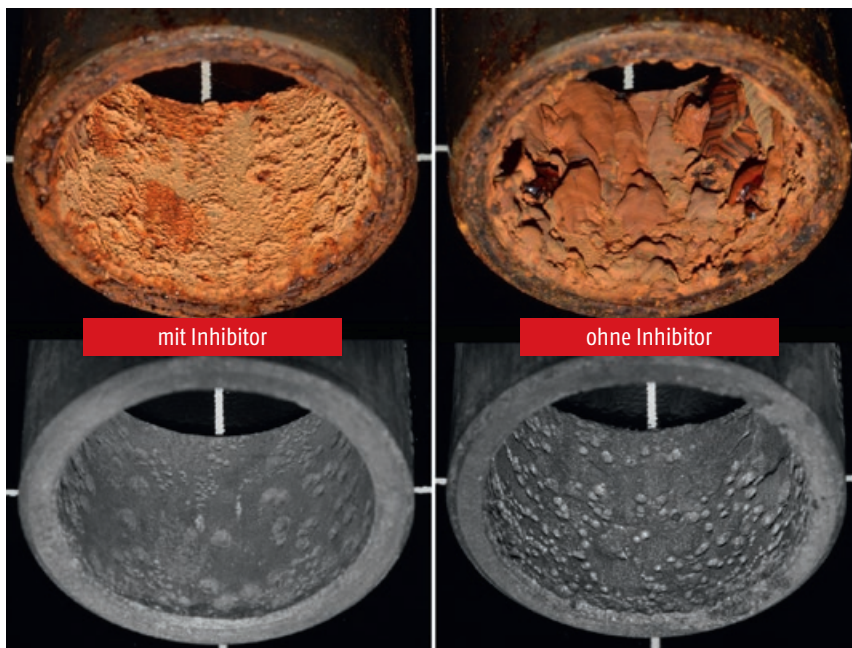


Abb. 6 – Dokumentation von Deckschichtmorphologie und Werkstoffoberfläche, Betriebszeitraum 15 Monate, 6-Uhr-Lage

im Wasser mit Inhibitoren zu einer deutlichen Vergleichmäßigung der Deckschichten führt, die einen ausreichend guten Korrosionsschutz aufweisen. Dies wird durch die Massenverluste bestätigt (Abb. 3).

Die im Referenzwasser ausgebildeten Deckschichten sind zwar dick und kompakt, aber durchzogen mit massiven Korrosionspusteln und zeigen einen relativ leicht zu erzeugenden Partikelabrieb am wasserseitigen Teil der Deckschicht. Sie entsprechen visuell einem Typ von Eisendeckschichten, die die Korrosionsgeschwindigkeit aufgrund einer unzureichenden Schutzwirkung nicht ausreichend verringern. Diese Einschätzung wird durch die Betrachtung der Werkstoffoberfläche bestätigt. Während bei Kontakt der Rohre mit dem mit den Inhibitoren versetzten Prüfwasser eine weitgehend gleichmäßige Flächenkorrosion erfolgt, weist die Oberfläche der Rohre bei Kontakt mit dem Referenzwasser deutlich lokalisierte Korrosionsangriffe auf.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Optimierung der Inhibitor dosierung, die mit einer deutlichen Verringerung der Phosphatkonzentration im Trinkwasser durch Ersatz eines Teils des Phosphates durch hochvernetztes Silikat verbunden war, nicht zu einer ungünstigen Veränderung der wasserseitigen Korrosionsbedingungen geführt hat. Dies gilt auch für die großtechnische Umsetzung innerhalb des Versorgungsgebietes. Nach Wiederaufnahme und sukzessiver Opti-

mierung der Zugabe des Inhibitors wurden keine Verbraucherbeschwerden hinsichtlich der Trübung des Wassers mehr festgestellt.

Fazit

Trübungs- bzw. Rostwasserprobleme, die auf aktiv ablaufende Korrosionsvorgänge zurückzuführen sind, können durch Spülmaßnahmen (Rohrnetzpflege) nur temporär verringert, aber mit vertretbarem Aufwand nicht nachhaltig behoben oder vermieden werden. Spülmaßnahmen berücksichtigen den Innen-Korrosionszustand der Rohre bzw. die Eigenschaften der Eisendeckschichten in der Regel nicht ausreichend, was nicht zuletzt darin begründet ist, dass keine abgestimmten Methoden für eine Beurteilung im Vorfeld vorhanden sind. Korrosionsschutz durch Inhibitoren – Voraussetzung ist eine Abstimmung von Zusammensetzung und Menge in Abhängigkeit von der örtlichen Trinkwasserbeschaffenheit – führt über die Deckschichtbildung sowohl zu einer Minimierung des Eintrags von gelöstem Eisen in das Trinkwasser als auch über die Verfestigung der Deckschicht zu einer Minimierung des Eintrags von Partikeln (Minimierung der zur Verfügung stehenden Ablagerungsmenge im Hinblick auf die Mobilisierung). Zur Ableitung einer geeigneten Problemlösungsstrategie ist die Unterscheidung zwischen den Eisen(II)- und Eisen(III)-Fraktionen des Spülwassers und deren trübungsrelevanter Einfluss notwendige Voraussetzung.

Literatur

- [1] DVGW-Arbeitsblatt W 291: Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen.
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W 400-1: Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWW): Teil 1: Planung.
- [3] DVGW-Arbeitsblatt W 215: Zentrale Dosierung von Korrosionsinhibitoren. Teil 1: Phosphate, Teil 2: Silikat-Mischungen.
- [4] Umweltbundesamt: Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung, 19. Änderung (Stand: Dezember 2017).
- [5] Überprüfung der Möglichkeit der Außerbetriebnahme der Inhibitor dosierung in den Wasserwerken Heimerzheim, Ludendorf und Arloff. TZW Dresden, unveröffentlichter Abschlussbericht 2010.
- [6] DIN 50905: Korrosion der Metalle. Korrosionsuntersuchungen. Teil 1: Grundsätze, Teil 2: Korrosionsgrößen bei gleichmäßiger Flächenkorrosion, Teil 3: Korrosionsgrößen bei ungleichmäßiger und örtlicher Korrosion ohne mechanische Belastung.

Autoren

Frank Klinkhammer
e-regio GmbH & Co. KG
Rheinbacher Weg 10
53881 Euskirchen
Tel.: 02251 708-421
frank.klinkhammer@e-regio.de
www.e-regio.de

Peter Schmidt
Kurita Europe GmbH
Niederheider Str. 22/Y20
40589 Düsseldorf
Tel.: 02174 6719708
ps@aquakorin.de
www.kurita.eu/de

Dr. Angelika Becker
Timo Jentzsch
IWW Zentrum Wasser
Moritzstr. 26
45476 Mülheim an der Ruhr
Tel.: 0208 40303-260, -262
a.becker@iww-online.de
t.jentzsch@iww-online.de
www.iww-online.de

