

Reinigung als Maßnahme zum sicheren Betrieb von Rohrleitungen

Von Norbert Klein und Hans-Gerd Hammann

Bei Sanierung oder Erneuerung von Rohrleitungen stehen vorrangig technische und wirtschaftliche Gesichtspunkte im Vordergrund. Nicht zu vergessen sind allerdings auch hygienische Aspekte bei der Wiederinbetriebnahme von Trinkwasserleitungen sowie Aspekte bezüglich der Reinigung beim künftigen Betrieb von Druckleitungen für Roh-, Brauch- und Abwasser, die zu Ablagerungen neigen und damit den Querschnitt der Rohrleitung verengen. Der Aufsatz informiert zunächst über Reinigungsmaßnahmen, um eine sanierte oder erneuerte Trinkwasserleitung in einen hygienisch einwandfreien Zustand zu bringen. Weiterhin werden Reinigungsmöglichkeiten erläutert, um Rohrleitungen mit verengtem Querschnitt wieder in den hydraulisch geplanten Zustand zurückzuführen. Dieser Aspekt erlangte in letzter Zeit verstärkt an Bedeutung, um einerseits den Bedarf an Rohwasser in den Sommermonaten oder die Entsorgung von Abwasser in Spitzenzeiten sicherzustellen und andererseits auch die Energiekosten im Rahmen zu halten.

GRÜNDE FÜR DIE REINIGUNG

Es gibt verschiedene Gründe, Rohrleitungen zu reinigen. Trinkwasserleitungen müssen sich in einem hygienisch einwandfreien Zustand befinden, um unser Lebensmittel Nr. 1 zu transportieren. Das Trinkwasserrohrnetz übernimmt aber noch weitere Aufgaben. Im Brandfall stellt es Wasser zum Löschen zur Verfügung. Einwandfrei funktionierende Armaturen sind dafür Voraussetzung. Neu gebaute Trinkwasserleitungen enthalten baubedingte Hilfsstoffe und nicht vermeidbare Verunreinigungen, die durch die Reinigung zu entfernen sind. Während des Betriebs können sich je nach Art der Rohrleitung, Art des Wassers sowie Betriebsbedingungen Ablagerungen und Biofilme bilden. Um den hygienisch, aber auch den hydraulisch einwandfreien Zustand, wie er nach der Erstinbetriebnahme bestand, wieder zu erreichen, ist die Reinigung erforderlich.

In vielen Rohwasserleitungen bilden sich während des Betriebs Ablagerungen aus Eisen- oder Manganverbindungen und vermindern den Durchfluss. Erhöhter Durchfluss in Zeiten hohen Wasserbedarfs beispielsweise in Sommermonaten führt zum Mobilisieren lockerer Ablagerungen. Sie trüben das Wasser und führen zu häufigem Rückspülen der Filter im Wasserwerk. Die regelmäßige Reinigung in verbrauchsarmen Zeiten beugt Störungen vor und hilft, auch in Spitzenzeiten genügend Trinkwas-

ser in einwandfreier Beschaffenheit zur Verfügung zu stellen.

Abwasserleitungen und -kanäle benötigen ebenfalls regelmäßige Reinigungsmaßnahmen, um Ablagerungen von Abwasserinhaltsstoffen zu entfernen und die Abwasserentsorgung sicherzustellen. In Abwasserdruckleitungen führen Ablagerungen zur Erhöhung des Strömungswiderstands. Besonders kritisch sind organische Ablagerungen und mikrobiell verursachte Gasentwicklung. Dadurch verschieben sich die Betriebspunkte von Pumpen. Die Folgen sind längere Laufzeiten, geringere Fördermengen und schließlich erhöhte Energiekosten, im Extremfall sogar das vollständige Erliegen der Förderung.

Die Notwendigkeit der Reinigung wurde in den vergangenen Jahren erkannt und im Regelwerk verankert. Während der Titel des im Jahr 1986 erschienenen DVGW-Arbeitsblattes W 291 „Desinfektion von Wasserversorgungsanlagen“ [1] hieß, trägt die zurzeit gültige überarbeitete Ausgabe von März 2000 den Titel „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“, um auf die Wichtigkeit der sorgfältigen Reinigung vor der Desinfektion hinzuweisen. Im Arbeitsblatt selbst erhält die Reinigung Priorität, während die Desinfektion als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme anzusehen ist.

Im Januar 2012 erschien der Entwurf des für die Trinkwasser-Installation analogen DVGW-Arbeitsblattes W 557 [4]. Der Weißdruck wird in der zweiten Jahreshälfte erwartet. Dieses Arbeitsblatt geht auf die Reinigung und Reinigungsverfahren noch ausführlicher ein. Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Biofilme in der Trinkwasser-Installation“ untermauern die Wichtigkeit der Reinigung. Sie sind in Thesenform veröffentlicht und stehen im Internet zur Verfügung [6].

Auch im DWA-Regelwerk für Abwasserdruckleitungen findet die Reinigung immer mehr Erwähnung, beispielsweise in DWA A 116 [5] und weiteren Arbeitsblättern, die sich zurzeit noch in Bearbeitung befinden. Hier werden die Ursachen für Ablagerungen, ihre Folgen und die Reinigungsmaßnahmen beschrieben.

REINIGUNGSVERFAHREN

Zum Reinigen von Rohrleitungen stehen je nach Aufgabe verschiedene mechanische Spülverfahren zur Verfügung (Tabelle 1).

Spülverfahren	Kurzbeschreibung
Spülen mit Wasser	Einfaches konventionelles Verfahren
	Wassersaugspülen
Spülen mit Wasser und Luft	Spülen mit Luft/Wasser-Gemisch
	Impulsspülverfahren
Spülen mit Wasser und mechanischen Hilfsmitteln	Spülen mit Wasser und Schwammgummibällen
	Spülen mit Wasser und Kunststoffmolchen
Spezielle Reinigungsverfahren	Hochdruckreinigung
	Reinigung mit Kratzern

Tabelle 1: Mechanische Spülverfahren für Rohrleitungen

Spülen mit Wasser

Das einfachste Reinigungsverfahren ist das Spülen mit Wasser. Für den Erfolg des Spülens ist wesentlich, dass das Wasser in der Rohrleitung eine ausreichende Fließgeschwindigkeit zwischen 2 m/s bis 3 m/s erreicht, um turbulente Strömungen zu erreichen. Das Spülen mit Wasser ist in Rohrleitungen bis DN 150 über Hydranten möglich. Bei größeren Nennweiten sind bedeutende Wassermengen notwendig. **Bild 1** informiert über den Spülwasserbedarf abhängig von der Nennweite. Die entsprechenden Wassermengen sind anschließend zu entsorgen.

Zum Spülen neuer Rohrleitungen ist je nach Rohrleitungsquerschnitt mindestens der drei- bis fünffache Rohrleitungsinhalt vorzusehen. Gefälleleitungen sind grundsätzlich von oben nach unten zu spülen. Auswirkungen auf das benachbarte Leitungsnetz sind zu berücksichtigen. So darf während des Spülens die Versorgung in benachbarten Leitungen nicht durch Druckabfall beeinträchtigt werden. Das Trinkwasser darf sich nicht trüben, wenn sich infolge erhöhter Fließgeschwindigkeit in vorgeschalteten Rohrleitungen Ablagerungen mobilisieren. Beim Ableiten des Spülwassers sind die örtlichen und gesetzlichen Vorschriften zu beachten.

Beim Spülen über Hydranten ist die Leistungsfähigkeit dieser Armaturen zu berücksichtigen. Sie beträgt im Falle von konventionellen Hydranten etwa 110 m³/h und bei Freistromhydranten etwa 150 m³/h. Ihre Leistungsfähigkeit ist bei Nennweiten über DN 150 nicht ausreichend. Deshalb bieten sich hierzu insbesondere bei Nennweiten größer DN 150 moderne Verfahren an.

Die Wirksamkeit lässt sich durch Spülen nach Spülplan verbessern. Eine weitere Steigerung ermöglicht die Wassersaugspülung. Dabei kommt eine effektive, über einen weiten Leistungsbereich variable Saugpumpe am Auslaufhydranten zum Einsatz. Diese kann die Wasserentnahmemengen um 50 % bis 120 % steigern. Weiterhin sind intermittierend unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten möglich. Beides führt zu erhöhten Schlepp- oder Wandschubspannungen und bewirkt verbesserten Austrag von leicht mobilisierbaren Ablagerungen.

Spülen mit Wasser und Luft

Im Gegensatz zum Spülen mit Wasser stellen diese Arbeiten hohe verfahrens- und sicherheitstechnische Anforderungen und lassen sich nur von erfahrenen Fachkräften ausführen. Zum Einsatz in Roh- und Trinkwasserleitungen darf nur gereinigte Luft kommen. Sie muss ölfrei sowie partikel- und keimarm sein. Das Verhältnis Spülwasser/Spülluft beträgt zwischen 1:1 bis 1:3.

Die Zugabe von Luft verbessert die Reinigungsleistung. Dieser Effekt kann aber, wenn sich Luftblasen am Rohrscheitel sammeln, nur auf die

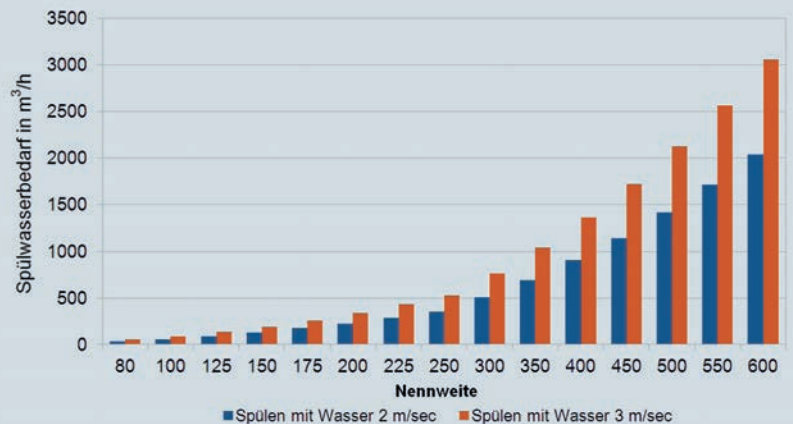


Bild 1: Wasserbedarf bei Spülen mit Wasser

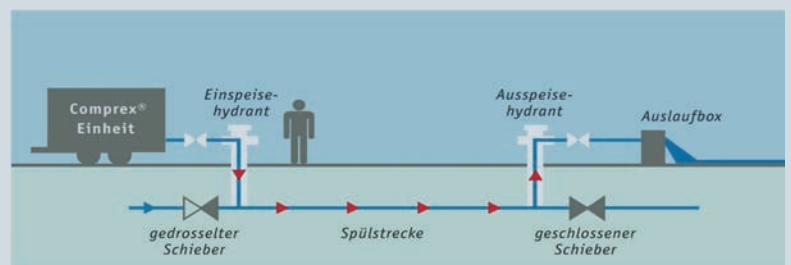


Bild 2: Prinzip des Impulsspülverfahrens bei bestehenden Rohrleitungen < DN 400

Impulsspültechnik	Neue Leitungsstrecke	Strecke in bestehender Leitung
Kleine Nennweiten (DN ≤ 400) Ein- und Ausspeisung über Hydranten Auslauf über Auslaufbox oder Spülsack		
Große Nennweiten (DN > 400) Ein- und Ausspeisung über T-Stücke freier Auslauf		
Legende	1 Wasserleitung in Betrieb 2 zu reinigender Leitungsabschnitt 3 Standrohr mit Zapfstelle 4 Sicherungsarmatur 5 Lufteinpeisung 6 Kompressor mit Luftaufbereitung	7 Auslaufbox/Spülsack (a) offen (b) geschlossen (c) gedrosselt 8 Absperrarmatur 9 freier Auslauf

Bild 3: Impulsspültechnik bei neu errichteten und bestehenden Rohrleitungen

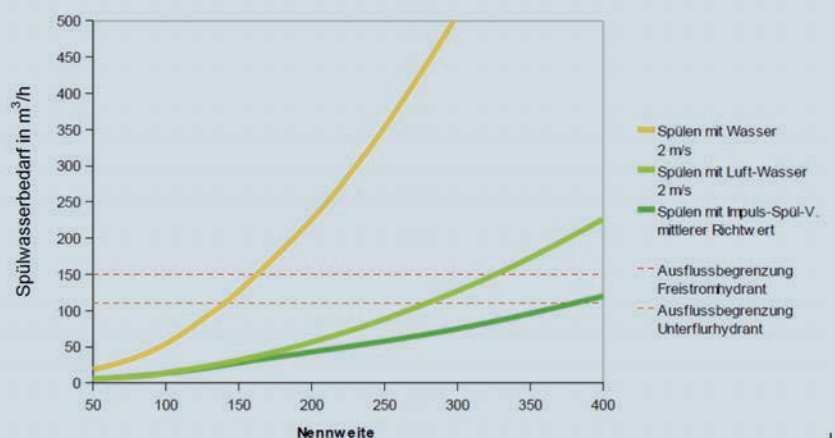


Bild 4: Vergleich des Spülwasserbedarfs



Bild 5: Ausspeisung beim Reinigen mit dem Impulsspülverfahren

Rohrsohle beschränkt sein. Unkontrollierte Druckstöße können Rohrbrüche verursachen.

Impulsspülverfahren

Eine Variante des Spülens mit Wasser und Luft ist das Impulsspülverfahren. Dabei wird innerhalb eines definierten Spülabschnittes aufbereitete komprimierte Luft impulsartig zugegeben, ohne den Netzruhedruck zu überschreiten (**Bild 2** und **Bild 3**). Es bilden sich Luftblasen definierter Größe, die im Wasserstrom eine Kette von raumfüllenden Wasser- und Luftblöcken bilden. Die raumdeckende turbulente Strömung bewirkt örtlich hohe Kräfte zum Mobilisieren von Ablagerungen.

Gegenüber dem Spülen mit Wasser reduziert sich der Wasserbedarf drastisch (**Bild 4**). Dadurch lassen sich die Beeinträchtigungen in benachbarten Netzen und vorgeschalteten Rohrleitungen weitgehend vermeiden.

Das Impulsspülverfahren diene zunächst der Reinigung von Netzen der Trinkwasserverteilung. Dabei ergeben sich gegenüber dem konventionellen Wasserspülen folgende Vorteile:

- » intensivere Reinigung
- » bis zu 90 % geringerer Wasserbedarf
- » keine Eintrübung und Druckabfälle im vorgeschalteten Netz
- » Aufrechterhalten der Wasserversorgung außerhalb des Spülabschnittes
- » Verbessern der Funktion von Armaturen

Spülen mit Wasser und Molchen

Wie in **Tabelle 1** aufgeführt, kommen Schwammgummibälle oder Kunststoffmolche zur Anwendung. In beiden Fällen sind Einrichtungen zum Ein- und Ausschleusen der Molche erforderlich. Für Schwammgummibälle eignen sich Hydranten, vorzugsweise Freistromhydranten. Bei häufig zu reinigenden Rohrleitungen wie z. B. für Roh- oder Betriebswasser sind Schleusenformstücke empfehlenswert. Schwammgummibälle dienen zur Reinigung von Rohrleitungen bis DN 150.

Während sich beim Spülen mit Schwammgummibällen locker anhaftende Ablagerungen und Sedimente mobilisieren und austragen lassen, können mit speziellen Molchen auch fest anhaftende Ablagerungen entfernt werden.

Schwammgummibälle bestehen aus einem weichen, fein- bis mittelporigen Werkstoff mit einer Dichte von etwa 0,16 g/cm³. Der Durchmesser des Gummiballs ist abgestimmt auf den Durchmesser des zu reinigenden Abschnittes der Rohrleitung. Die Reinigung erfolgt durch Reibung an der Rohrwand, hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Ringspalt und Verwirbelungen an schwer zugänglichen Hohlräumen z. B. Muffenverbindungen, Überschiebern, Schieberdomen. Im Gegensatz zu Schwammgummibällen können Kunststoffmolche so beschaffen sein, dass sie festanhaftende Ablagerungen und Inkrustationen entfernen. Dabei werden Innenflächen blank und benötigen bei metallischen Werkstoffen in der Regel einen Korrosionsschutz.

Während des Reinigens sind Vorkehrungen zu treffen, dass die Molche nicht im Reinigungsabschnitt stecken bleiben, beispielsweise durch Molche mit kleineren Durchmessern als die der Rohrleitung. Dadurch fließt Wasser durch den Zwischenraum und dient dem Abtransport der mobilisierten Ablage-

rungen aus dem zu reinigenden Rohrleitungsabschnitt. Bei der Handhabung und Lagerung von Molchen und Schwammgummibällchen für Trinkwasserleitungen ist auf Sauberkeit zu achten.

Spezielle Reinigungsverfahren

In speziellen Fällen kommen die Hochdruckreinigung und die Reinigung mit Kratzern zum Einsatz.

Die Hochdruckreinigung ist unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit anwendbar. Allerdings sind die Reinigungsdüse, der Druck und der Abstand zur Wand auf die Art der Oberfläche abzustimmen, um Beschädigungen zu vermeiden. Warmes Wasser kann die Reinigung verbessern. Weiterhin lässt sich Desinfektionsmittel gezielt und sparsam einsetzen. Besonders dabei sind Maßnahmen zu ergreifen, um die Spülwässer sachgerecht zu entsorgen oder aufzubereiten.

Bei nicht begehbaren Rohrleitungen kommen Spüllanzens mit rückwärts gerichtetem Strahl und freiem Ausfluss des Spülwassers zum Einsatz. In begehbaren Rohrleitungen lassen sich kurze Abschnitte manuell reinigen. Dabei ist es möglich, besonders stark verschmutzte Stellen gezielt zu reinigen. Auf jeden Fall sind die Sicherheitsvorschriften zu beachten.

Die Reinigung mit Kratzern entfernt festhaftende Ablagerungen, Inkrustationen und Korrosionsprodukte. Dieses Reinigungsverfahren kommt z. B. vor der Sanierung alter Guss- oder Stahlrohrleitungen mit Zementmörtel zum Einsatz. Hinweise gibt das DVGW-Arbeitsblatt W 343 [2].

Neue Entwicklungen beim Impulsspülverfahren

Die Firma Hammann entwickelte aus dem Impulsspülverfahren das noch leistungsfähigere Complex-Verfahren. Mittlerweile ist es auch möglich, große Transportleitungen von mehreren Kilometern Länge und Nennweiten bis DN 1200 zu reinigen. Auch in der Trinkwasser-Installation hat sich das Impulsspülverfahren bewährt. Hier lassen sich unerwünschte Biofilme und Ablagerungen mobilisieren und austragen. In Zirkulationsleitungen ist erst dadurch ein hydraulischer Abgleich möglich, so dass an den Zapfstellen die erforderliche Warmwassertemperatur wieder erreichbar ist. Somit kann bei Kontaminationen mit Legionellen das Impulsspülverfahren einerseits die Einnistungsmöglichkeit der Mikroorganismen reduzieren und andererseits den nach dem Regelwerk erforderlichen Zustand der Anlage wiederherstellen. Weitere Entwicklungen, häufig im Rahmen von Forschungsprojekten, hatten das Ziel, die Reinigungsleistung zu steigern, weniger Wasser zu verwenden und gleichzeitig den Spülwasseranfall zu reduzieren. So gelingt es nun, durch verbesserte Prozesssteuerung Wasserblöcke mit Fließgeschwindigkeiten von 15 m/s bis 20 m/s durch Rohrleitungsabschnitte zu schießen und die Schleppspannung an den Innenoberflächen erheblich zu erhöhen. Untersuchungen an einer Versuchsanlage bestätigen diese Optimierung der Reinigungsleistung. Bei hartnäckigen Verunreinigungen lässt sich die Reinigungsleistung durch Zudosieren von Eisstücken oder inerten Feststoffen weiter steigern.

Die jüngsten Erfahrungen zeigen, dass die Gestaltung der Ausspeisung einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Reinigung hat. Während bei Rohrleitungen kleiner Nennweiten eine Spülbox ihren Dienst erfüllt, ist es bei Rohrleitungen DN 250 bis DN 400

angebracht, über mehrere Hydranten und Spülboxen auszuspeisen (**Bild 5**). Bei Rohrleitungen über DN 400 ist ein freier Auslauf notwendig (siehe auch „Faszination Technik“ auf Seite 882).

Biofilme können mehrzelligen Tieren wie Wasserasseln Unterschlupf und Nahrung bieten. Erste Reinigungsmaßnahmen mit dem Impulsspülverfahren zeigen die Wirksamkeit, Biofilme mitsamt den Tieren effizient aus Rohrleitungen auszutragen und dadurch die Population von Metazoen nachhaltig zu reduzieren [7].

In Rohwasserleitungen dient das Impulsspülverfahren nicht nur dazu, hygienisch einwandfreie Verhältnisse zu schaffen, sondern eröffnet auch Einsparpotenziale für den Betreiber [8, 9].

Ablagerungen und Verockerung führen zu verringerten Rohrleitungsquerschnitten und zu unregelmäßigen oder rauen Oberflächen. Durch erhöhten Druck brauchen Pumpen mehr Strom. Die Pumpzeit dauert infolge des verringerten Förderstroms länger. Schließlich sinkt der Wirkungsgrad der Pumpen, weil sie nicht auf diese Situation ausgelegt sind (**Bild 6**).

Das Impulsspülverfahren versetzt die Rohwasserleitung wieder in den Zustand, für den die Pumpen geplant sind. Der Aufwand für die Reinigung ist durch nennenswerte Energieeinsparungen rasch amortisiert. Ähnliche Aufgaben sind in Abwasserdruckleitungen zu lösen. Die Reinigung kann hier online erfolgen. Während der Förderung des Abwassers bei gedrosselter Pumpenleistung sorgt die Steuerung der Impulsspültechnik für Druckluftblöcke in der Rohrleitung. Die abgelösten Ablagerungen gelangen zur Entsorgung entweder direkt in die Kläranlage oder in einen Kanal. Durchflussmessungen zeigen, dass durch die Reinigung einerseits erhebliche Energieeinsparungen möglich sind und andererseits die Entsorgungssicherheit bei erhöhtem Abwasseranfall wieder erreichbar ist.

Im industriellen Bereich überzeugt das Impulsspülverfahren durch seine Einfachheit und Wirksamkeit. Außer den bereits erwähnten Einsatzbereichen kommen hier Reinigungsaufgaben bei Wärmeübertragern hinzu. So lassen sich komplexe Kühl- oder Heizsysteme ohne Demontage reinigen [10].

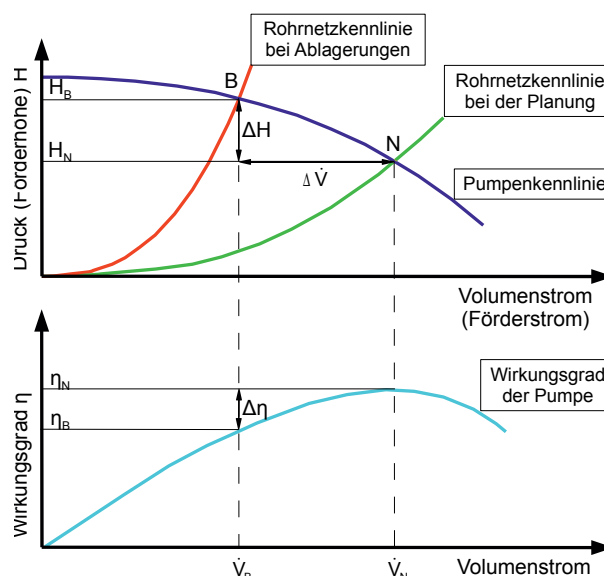


Bild 6: Rohrleitungs-, Pumpenkennlinie und Wirkungsgrad

Auch aus Produktleitungen lassen sich ggf. durch Zusatz von Feststoffen Ablagerungen effizient entfernen. Die Reinigung von Feuerlöschleitungen dient der Sicherheit für den Brandfall.

Eine weitere Entwicklung ist die Armatureninspektion und -ertüchtigung in Kombination mit der Rohrnetzreinigung [11, 12]. So lassen sich die Kosten für die Rohrnetzreinigung durch die Verlängerung der Nutzungsdauer der ertüchtigten Schieber kompensieren. Damit ergeben sich weitere Vorteile:

- » hygienisch und hydraulisch einwandfreier Zustand des Rohrnetzes
- » Überprüfung aller Schieber im Rohrnetz auf Funktion
- » Ertüchtigung schlecht oder nicht schließender Schieber zu 50 % bis 70 %
- » erhöhte Sicherheit bei Störfällen durch Absperren betroffener Bereiche
- » Dokumentation der defekten Schieber und Kennzeichnung vor Ort
- » Reduzierung der Anzahl auszutauschender Schieber
- » Reduzierung von Tiefbaumaßnahmen infolge des Schieberaustausches
- » weitere Armatureninspektion nach DVGW-Arbeitsblatt W 392 [3] möglich
- » kleine Reparaturmaßnahmen während der Reinigung und Armatureninspektion möglich
- » Kostenoptimierung durch Verlängerung der Nutzungsdauer des Rohrnetzes einschließlich Armaturen insbesondere der Schieber

REINIGUNG UND DESINFEKTION

Sauberkeit ist oberstes Gebot vor allem beim Bau von Trinkwasserleitungen. Sind alle Anforderungen bezüglich der vorbeugenden Maßnahmen erfüllt, genügt oft ein Spülen mit Wasser, um die mikrobiologische Prüfung zu bestehen und die Rohrleitung in Betrieb nehmen zu können. In diesen Fällen kann auf die Desinfektion verzichtet werden. Es kann aber vorkommen, dass beim Bauen unbeabsichtigt Schlamm oder andere Verunreinigungen in einen Rohrleitungsabschnitt gelangen. In diesem Fall hilft nur intensives Reinigen beispielsweise mit dem Impulsspülverfahren weiter [13]. Desinfektion ohne vorherige Reinigung ist nicht zielführend. Die Desinfektion kann nicht die Reinigung ersetzen. Dies zeigen nicht nur jahrelange Erfahrungen, sondern auch die Untersuchungen im Rahmen von Forschungsprojekten. Mehrmalige Desinfektionsmaßnahmen, wo möglich noch mit erhöhten Desinfektionsmittelkonzentrationen, schaden vielen Werkstoffen und führen zu verkürzter Nutzungsdauer. Darauf verweisen auch die neuen technischen Regeln wie das DVGW-Arbeitsblatt W 557. [4]

EINPLANEN VON REINIGUNGSMASSNAHMEN BEI PLANUNG UND BAU

In vielen Rohrleitungen und vor allem Anlagen steht bei der Planung der Betrieb im Vordergrund. Häufig wird die Reinigung zur Instandhaltung vergessen. Während des Betriebs sind Ein- und Ausspeisemöglichkeiten sehr schwierig, oft nur bei Stillstandszeiten anzubringen. Es ist viel einfacher, schon

vor dem Bau neuer Rohrleitungen und Anlagen oder vor der Sanierung die Instandhaltung mit einzuplanen. Dadurch wird die Reinigung als Maßnahme zum sicheren Betrieb entweder in regelmäßigen Zeitabständen oder zustandsorientiert möglich.

LITERATUR

- [1] DVGW W 291 (A) „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“
- [2] DVGW W 343 (A) „Sanierung von erdverlegten Guss- und Stahlrohrleitungen durch Zementmörtelauskleidung – Einsatzbereiche, Anforderungen, Gütesicherung und Prüfungen“
- [3] DVGW W 392 (A) „Rohrnetzinspektion und Wasserverluste – Maßnahmen, Verfahren und Bewertungen“
- [4] DVGW W 557 (A) „Reinigung und Desinfektion von Trinkwasser-Installationen“
- [5] DWA-A 116 „Besondere Entwässerungsverfahren, Teil 2: Druckentwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden; Teil 3: Druckluftgespülte Abwassertransportleitungen“
- [6] http://www.biofilm-hausinstallation.de/dokumente/Thesenpapier_2_0.PDF
- [7] Berghoff, S.: Effektivität einer Biofilmreduktion auf den Metazoenbefall im Trinkwasserleitungsnetz; gwf-Wasser|Abwasser (2012) Nr. 6, S. 681-682
- [8] Hammann, H.-G.: Moderner Netzbetrieb nutzt Einsparpotenziale; bbr (2008) Nr. 2, S. 18-22
- [9] Klein, N.; Hammann, H.-G.: Reinigen der Rohwasserleitungen sichert die Trinkwasserversorgung; energie, wasser-praxis (2008) Nr. 6, S. 24-30
- [10] Klein, N.: Impulsspülverfahren für Industrieenanwendungen; 3R international 49 (2010) Nr. 1, S. 34-40
- [11] Klein, N.; Hammann, H.-G.: Rohrnetzreinigung mit Schieberertüchtigung; 3R international (2010) Nr. 12, S. 712-715
- [12] Klein, N.; Hammann, H.-G.: Schieberertüchtigung in Kombination mit Rohrnetzreinigung; Industriearmaturen (2011) Nr. 1, S. 53-56
- [13] Klein, N.: Reinigung, Desinfektion und Armatureninspektion; 3R (2011) Nr. 12, S. 860-863

AUTOREN



DR. NORBERT KLEIN
 Hammann GmbH, Annweiler am Trifels
 Tel. +49 6346 3004-42
 E-Mail: n.klein@hammann-gmbh.de



DIPL.-ING. HANS-GERD HAMMANN
 Hammann GmbH, Annweiler am Trifels
 Tel. +49 6346 3004-44
 E-Mail: hg.hammann@hammann-gmbh.de