

Spülverfahren für Trinkwasserleitungen problemspezifisch auswählen

Die **Beseitigung von Ablagerungen** im Versorgungsnetz ist eine wesentliche Maßnahme zur Sicherung der Trinkwasserqualität bei der Wasserverteilung. Im Rahmen eines DVGW-Forschungsprojektes wurde die Leistungsfähigkeit **verschiedener Spülverfahren** bewertet. Der vorliegende Artikel fasst die wesentlichen Ergebnisse des Forschungsprojektes zusammen.

von: Dr. rer. nat. Andreas Korth & Olaf Donath (DVGW-Technologiezentrum Wasser – TZW, Außenstelle Dresden)

Zur Entfernung von Ablagerungen können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden. Im DVGW-Regelwerk werden allgemeine Hinweise zu Spülungen gegeben, problemspezifische Empfehlungen liegen nicht vor. Ziel des DVGW-Forschungsprojektes W6/01/07 war die Entwicklung einer Grundlage für die Praxis, um die Vorgehensweise bei der Spülmaßnahme in Abhängigkeit von der vorliegenden Problemstellung definieren zu können.

Grundprozesse der Spülverfahren

Die Planung des Untersuchungsprogramms erforderte das Verständnis zu den Prozessabläufen bei den Spülverfahren. Nachfolgend werden die Ergebnisse der durchgeführten Literaturrecherche sowie eigener Prozessuntersuchungen zusammengefasst.

Ablagerungen können grundsätzlich nur dann mobilisiert werden, wenn turbulente Strömungsverhältnisse gegeben sind. Bei turbulenter Strömung bildet sich im Bereich der Rohrwand eine sogenannte laminare Grenzschicht aus, in

der laminare Strömungsbedingungen vorliegen. Die Dicke nimmt mit zunehmender Reynoldszahl bzw. steigender Fließgeschwindigkeit ab. Für einen Austrag von Ablagerungen ist es erforderlich, die Dicke der laminaren Grenzschicht so weit zu vermindern, dass diese geringer als die Dicke des Ablagerungsfilms ist. Darüber hinaus muss die auftretende Schleppspannung ausreichend sein, die Adhäsions- und Kohäsionskräfte der Ablagerungen zu überwinden.

Bei der Wasserspülung mit Netzdruck werden die genannten Effekte genutzt, wobei die Bedingungen im Verteilungssystem den maximalen Wasserabschlag und somit die erreichbare Spülgeschwindigkeit bestimmen. Bei dem Verfahren der Saugspülung wird das Wasser zusätzlich mit einer regelbaren Pumpe aus dem Hydranten gesaugt. Zudem können infolge des Impulseeffektes bei intermittierendem Pumpenbetrieb in gewissem Umfang höhere Schleppspannungen erreicht werden.

Bei der Luft-Wasserspülung wird in die zu spülende Strecke Luft eingetragen. Eine dauerhafte Luftzugabe führt gegenüber der Wasserspülung zu keinen zusätzlichen Reinigungseffekten, da die Luft die Leitung am Rohrscheitel passiert und anschließend über den Spülhydranten entweicht. Im Gegensatz dazu wird bei impulsartiger Luftzugabe die Wassersäule in der Leitung durch die Entspannung der Luft beschleunigt, wodurch kurzzeitig eine hohe Fließgeschwindigkeit der Wassersäule und eine dementsprechend hohe Schleppspannung erreicht wird. Wird der Wasserzustrom am Anfang der Spülstrecke gedrosselt, führen die ersten Luftimpulse zu einer Teilentleerung der Leitung, weitere Impulse generieren mit dem Restwasser ein Wasserpaket je Impuls. Bei Untersuchungen am Modellnetz DN 100 (siehe Untersuchungsprogramm) ergaben sich für die generierten Was-

Abb. 1: Modellnetz des TZW DN 100 aus PVC-klar-Rohren



Quelle: TZW

serpakete bei einer Druckdifferenz zwischen Leitungsdruck und Druckluftdosierung von 4 bar Geschwindigkeiten im Bereich von ca. 20 m/s.

Nach einer Luft-Wasserspülung ist die Rohrleitung zu entlüften. Das DVGW-Merkblatt W 334 enthält Angaben zu notwendigen Wasserfließgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von den Randbedingungen. Beispielsweise ist für die Entlüftung einer Leitung DN 100 eine Fließgeschwindigkeit von mehr als 0,5 m/s erforderlich. Die Untersuchungen am Modellnetz DN 100 zeigten eine Abnahme der benötigten Wassermenge mit Zunahme der Fließgeschwindigkeit, wobei in jedem Fall mehr als ein Leitungsvolumen erforderlich ist.

Untersuchungsprogramm

Im Rahmen des Untersuchungsprogramms wurde das Austragsverhalten folgender in Trinkwasserleitungen vorkommender Ablagerungen überprüft:

- lose und haftende Eisenverbindungen
- lose und haftende Manganverbindungen
- Sand

Lose Eisenablagerungen wurden gewonnen, indem Gussrohre aus Trinkwassernetzen unter Wasser gelagert und die gebildeten Korrosionsprodukte aufkonzentriert wurden. Zusätzlich wurden von Wasserversorgern Eisenablagerungen aus Trinkwasserbehältern zur Verfügung gestellt. Zur gleichmäßigen Beladung wurden die Modellnetze mit einer Suspension der Eisenverbindungen über mehrere Tage bei niedriger Fließgeschwindigkeit im Kreislauf betrieben. Hierdurch wird eine gleichmäßige Verteilung der Ablagerungen erreicht. Haftende Beläge aus Eisenkorrosionsprodukten wurden direkt in den Modellnetzen erzeugt. Hierzu wurde ein Leitungsabschnitt aus Stahl mit einer hohen Korrosionsgeschwindigkeit in das Modellnetz integriert und das Netz vor jedem Spülversuch über mehrere Wochen mit hoher Fließgeschwindigkeit im Kreislauf betrieben. Die vom korrodierenden Rohr abgegebenen Korrosionsprodukte bildeten auf der gesamten Innenoberfläche einen gleichmäßigen und haftenden Belag aus Eisenverbindungen.

Für die Untersuchungen von Manganablagerungen wurde ein Mangansalz mit Kaliumpermanganat direkt in einem der Modellnetze zur Reaktion gebracht, wodurch sich lose und haftende partikuläre Manganverbindungen sowie ein stark haftender Manganbelag ausbildeten. Zur Untersuchung des Austragsverhaltens von Sand wurde nahezu monodisperser Sand der Körnungen 0,7 mm, 1,25 mm, 2,5 mm, 4,0 mm und 6,0 mm hergestellt und die zu untersuchende Körnung punktuell, am Anfang der Spülstrecke, in das Modellnetz eingebracht.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden verschiedene Modellnetze konstruiert und mit der erforderlichen Mess- und Regeltechnik ausgestattet. Die Versuchsreihen zum

Austragsverhalten der erläuterten Ablagerungen mit unterschiedlichen Spülverfahren wurden an folgenden Modellnetzen durchgeführt:

- Modellnetz mit 1,5 m Leitung DN 25/ DN 50 (Material: PVC-klar)
- Modellnetz mit 15 m Leitung DN 25/DN 50 (Material: PVC-klar)
- Modellnetz mit 280 m Leitung, DN 100 (Material: PVC-klar, mit praxisüblichen Armaturen, Abb. 1)

Ergebnisse

Lose Eisenablagerungen

Zur Erfassung des Austrags der Ablagerungen eignet sich die kontinuierliche Trübungsmessung, da der Trübstoffgehalt des Wassers online und sensitiv erfasst wird. Die Trübungskurve eines repräsentativen Spülversuches am Modellnetz DN 100 ist in **Abbildung 2** dargestellt. Mit Beginn der Spülung kommt es durch die Mobilisierung der Ablagerungen zur Erhöhung der Trübung. Das nahezu stabile Trübungsniveau im Bereich von 70 FNU (Formazine Nephelometric Unit) resultiert aus der gleichmäßigen Verteilung der Ablagerungen im Modellnetz. Mit dem Austausch des ersten Leitungsvolumens ist eine schnelle Abnahme der Trübung erkennbar, da der überwiegende Teil der Ab-



Mit dem Winter kommen die Leckagen! Wasserleckstellen schnell finden



Intelligente Geräuschlogger Phocus3

- nur 40 mm Ø, passt in jede Kappe
- das Geräusch mit dem Smart Recorder vor Ort abhören
- Kommunikation per Infrarot oder Funk
- PC-Software zur Datenverwaltung

Esders GmbH
Hammer-Tannen-Str. 26-28 • 49740 Haselünne
Telefon: 0 59 61/95 65 0 • Fax: 0 59 61/95 65 15

info@esders.de • www.esders.de

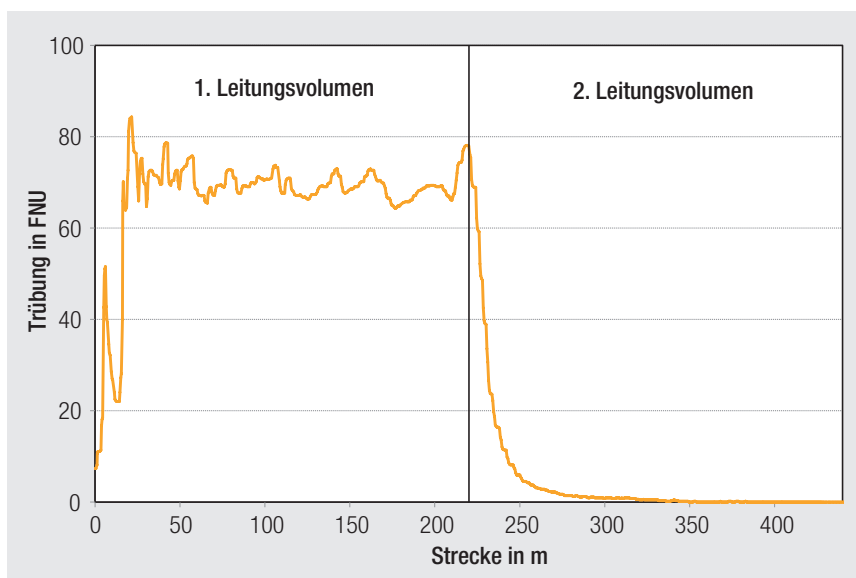


Abb. 2: Austragskurve für lose Ablagerungen bei einer Spülgeschwindigkeit von 1 m/s

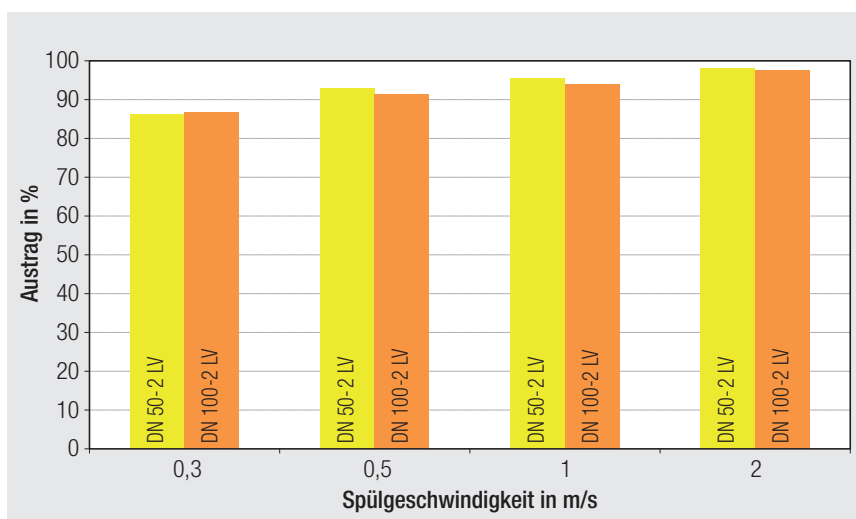


Abb. 3: Austrag von losen Ablagerungen nach zwei Leitungsvolumina in Abhängigkeit von der Spülgeschwindigkeit für die Dimensionen DN 50 und DN 100

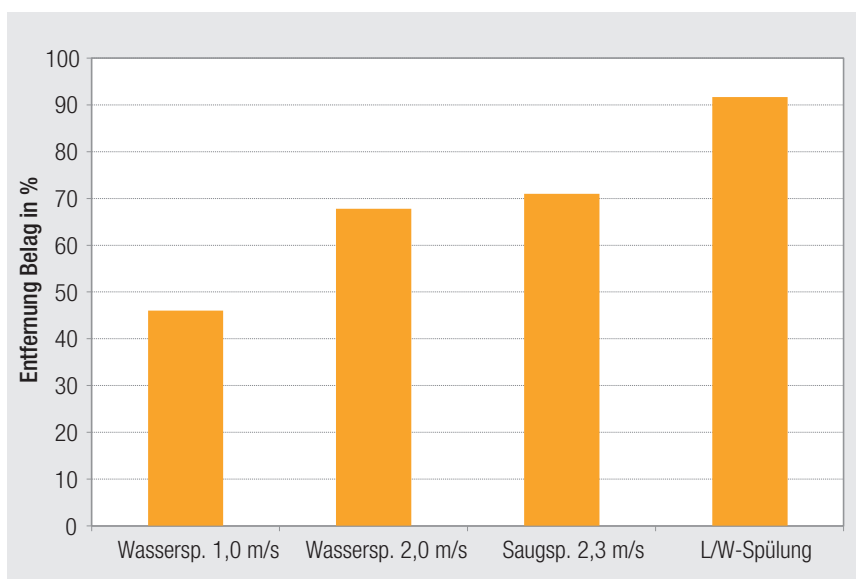


Abb. 4: Austrag haftender Eisenablagerungen in Abhängigkeit von der Spülgeschwindigkeit bzw. dem Spülverfahren

lagerungen mit dem ersten Leitungsvolumen ausgetragen wird. Ein Trübungsniveau < 1 FNU wurde nach ca. 1,5 Leitungsvolumen erreicht. Nach jedem Spülversuch wurden die Leitungen mit einem Schaumstoffball gereinigt, um Rückstände vollständig auszutragen und somit die Entfernungseistung bei der jeweiligen Spülgeschwindigkeit berechnen zu können. Die Berechnungen erfolgten über die Integration der aufgezeichneten Trübungskurve.

Die Ergebnisse der Wasserspülungen für die Leitungsdimension DN 50 und DN 100 sind in **Abbildung 3** zusammengefasst, wobei der Austrag bei zwei Leitungsvolumina bezogen auf die vollständige Reinigung mit einem Schaumstoffball berechnet ist. Es zeigte sich, dass bei einer Spülgeschwindigkeit von 0,3 m/s bereits mehr als 85 Prozent der Ablagerungen ausgespült werden. Bei einer Spülgeschwindigkeit von 0,5 m/s erhöhte sich der Austrag auf ca. 90 Prozent, die weiteren Spülstufen von 1,0 bzw. 2,0 m/s bewirkten nur noch eine geringe Zunahme des Austrags auf 93 bzw. 97 Prozent.

Haftende Eisenablagerungen

Bei den haftenden Eisenablagerungen bewirkte eine Spülgeschwindigkeit von 0,5 m/s keinen wesentlichen Austrag, mit 1,0 und 2,0 m/s wurden 45 bzw. 68 Prozent des Belags entfernt (**Abb. 4**). Bei der durch einen Dienstleister durchgeführten Saugspülung wurde eine maximale Spülgeschwindigkeit von 2,3 m/s erreicht. Mit dem zusätzlichen intermittierenden Pumpenbetrieb kam es zu einem Austrag von 71 Prozent der haftenden Eisenablagerungen. Die Luft-Wasserspülung erreichte mit 92 Prozent die höchste Entfernungseistung.

Lose und haftende Manganablagerungen

Die Untersuchungen zum Austrag der Manganablagerungen waren aufgrund der aufwendigen Herstellung nur im Modellnetz DN 50 mit 1,5 m Strecken realisierbar. Bei den Spülversuchen wurde die Spülgeschwindigkeit schrittweise von 0,2 m/s auf 0,5 m/s, 0,8 m/s, 1,0 m/s, 1,5 m/s und 2,0 m/s erhöht.

Die Bewertung des ausgetragenen Mangananteils erfolgte visuell, da das tief-schwarze Mangan aufgrund der Licht-absorption über die Trübungsmessung nur unzureichend erfasst wird.

Ab einer Fließgeschwindigkeit von 0,2 m/s wurde ein Teil der losen Manganpartikel auf der Rohrsohle vorwärtsbewegt und nur zum geringen Teil ausgetragen. Die Spülgeschwindigkeit von 0,5 m/s führte zu einem Austrag des Großteils der losen Partikel. Die verbliebenen stärker haftenden Manganablagerungen wurden mit den weiteren Geschwindigkeitsstufen zunehmend entfernt. Ein vollständiger Austrag war bei einer Spülgeschwindigkeit von 2,0 m/s gegeben.

Die Untersuchungen zur Entfernung des stark haftenden Manganbelags wurden in der Versuchsanlage DN 25 mit 1,5 m langen Leitungen umgesetzt, da die Erzeugung des Manganfilms nur unter Laborbedingungen möglich war. Auch bei diesem Untersuchungsansatz wurde die Spülgeschwindigkeit stufenweise erhöht, wobei maximal 3 m/s erreicht wurden. Nach Abschluss der Wasserspülung wurde eine Luft-Wasserspülung mit mehreren Luftimpulsen durchgeführt. Zur abschließenden Reinigung erfolgte der Einsatz eines Schaumstoffballs. Die Bewertung des Manganaustrags erfolgte, wie bereits erwähnt, visuell. Es zeigte sich, dass der Manganfilm selbst bei der maximalen Wasserspülgeschwindigkeit nur unwesentlich entfernt wurde. Einen deutlicheren Reinigungseffekt erreichte die Luft-Wasserspülung. Ein nahezu vollständiger Austrag lag nur nach dem Einsatz des Reinigungsballs vor.

Sand

Bei den Untersuchungen zum Austragsverhalten von Sand zeigte sich, dass die Position des Sandes bei Spülgeschwindigkeiten von weniger als 0,35 m/s unverändert bleibt. Bei Überschreitung dieser Geschwindigkeit geht der Sand in eine dünenähnliche Bewegung auf der Rohrsohle über, ab einer Fließgeschwindigkeit von ca. 1,0 m/s zerfällt

die Düne zu einer Spur auf der Sohle. Eine Resuspension tritt erst bei einer Spülgeschwindigkeit von 2,0 m/s ein.

Die Untersuchungen beinhalteten auch den Effekt der Position des Hydranten (Anbindung oben oder seitlich) auf den Austrag. Die Spülversuche mit Sand wurden nach maximal zehn Leitungsvolumina beendet. Bei der Anbindung des Hydranten am Rohrscheitel kam es bis zu einer Spülgeschwindigkeit von 0,7 m/s nur zu einem geringen Austrag des Sandes (Abb. 5). Bei einer Spülge-

schwindigkeit von 1 m/s wurden nur die kleinen Körnungen weitgehend entfernt. Ein nahezu vollständiger Austrag aller Körnungen trat bei einer Spülgeschwindigkeit von 2 m/s ein. Mit seitlicher Anbindung des Hydranten wurden im Vergleich dazu alle Körnungen bereits bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,7 m/s nahezu vollständig ausgespült (Abb. 6). Entsprechend der Ergebnisse hat die Position des Hydranten einen deutlichen Effekt auf die erforderliche Spülgeschwindigkeit für den Austrag von schweren Partikeln.

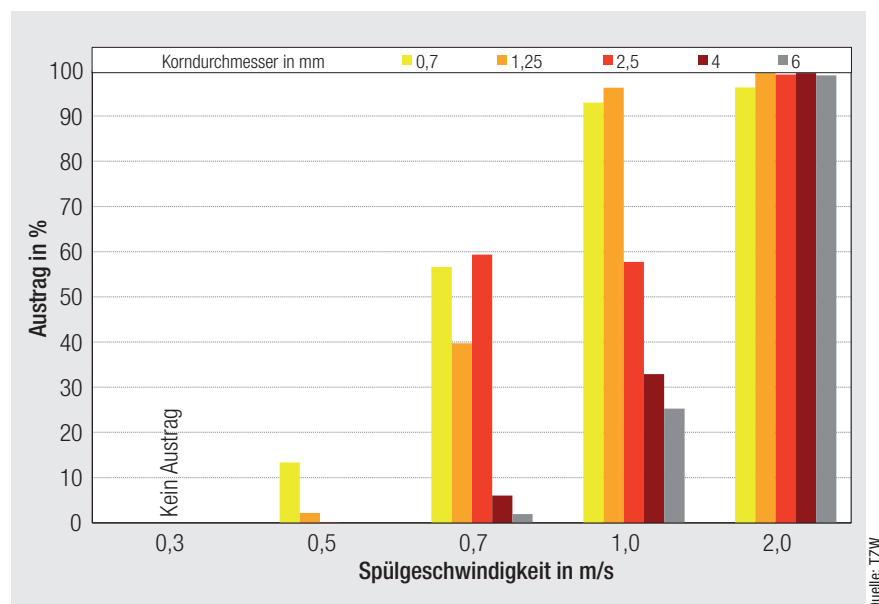


Abb. 5: Austrag von Sand unterschiedlicher Körnungen in Abhängigkeit von der Spülgeschwindigkeit bei Anbindung des Hydranten am Rohrscheitel

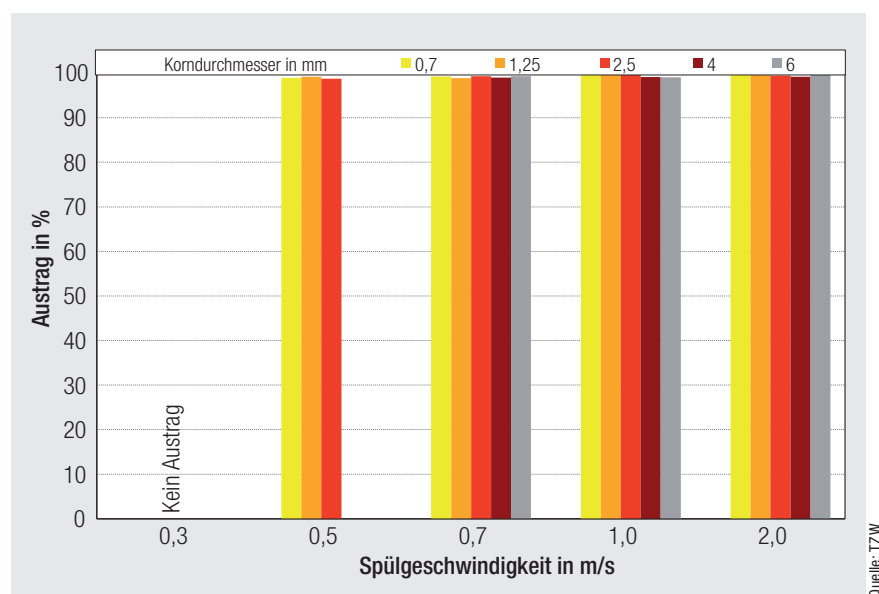


Abb. 6: Austrag von Sand unterschiedlicher Körnungen in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit bei seitlich angebundenem Hydranten

Abb. 7: Matrix zur Auswahl geeigneter Spülverfahren für Trinkwasserleitungen in Abhängigkeit von der Zielstellung

Entfernung	Wasserspülung			Saugspülung			L-W-Impuls-spülung
	0,5 m/s	1 m/s	≥ 2 m/s	0,5 m/s	1 m/s	≥ 2 m/s	
lose Ablagerungen							5, 6
Sand oder Ähnliches		1	2		1	2	4, 5, 6
haftende Beläge			3			3	4, 5, 6
Anmerkungen							
1: bei seitlich installiertem Hydrant, 2: bei oben installiertem Hydrant, 3: kein vollständiger Austrag möglich, 4: Eintrag von Sand in den Bereich hinter dem Hydrant möglich, 5: Entlüftung erforderlich, 6: Stabilität von Deckschichten in ungeschützten Leitungen prüfen							

Quelle: TZW

Bei der Luft-Wasserspülung wird der Sand durch die hohe Geschwindigkeit der Wasserpakete mit jedem Impuls resuspendiert und transportiert. Nach dem Abklingen des Impulseffektes lagerte sich der Sand wieder auf der Rohrsohle ab. Bei der Hydrantenposition auf dem Rohrscheitel wurde Sand mit einem Korndurchmesser von 0,7 mm nahezu vollständig ausgetragen. Ein geringer Anteil wurde in den Bereich hinter dem Hydrant verlagert. Die anderen Körnungen wurden bei den vorliegenden Randbedingungen zu ca. 90 Prozent ausgetragen. Mit zunehmender Korngröße war eine geringe Abnahme des Austrags zu verzeichnen, was aus der Verlagerung des Sandes in den Bereich hinter dem Hydranten resultierte.

Zusammenfassung

Unter dem Gesichtspunkt der Bewertung der Spülverfahren lassen sich die Ergebnisse folgendermaßen zusammenfassen:

Wasserspülung:

- Lose Eisenablagerungen wurden zu 90 Prozent bei einer Spülgeschwindigkeit von 0,5 m/s ausgetragen. Höhere Spülgeschwindigkeiten bewirkten eine weitergehende Entfernung, wobei bei 2 m/s ein nahezu vollständiger Austrag gegeben ist.
- Haftende Eisenablagerungen wurden bis zu einer maximal realisierbaren Spülgeschwindigkeit von 2 m/s mit ca. 65 Prozent nur unvollständig entfernt. Ursache ist, dass die erreichte Schleppspannung für ein vollständiges Ablösen des Belags nicht ausreichend war.
- Bei der Saugspülung wurde am Modellnetz eine um ca. 10 Prozent höhere maximale Spülgeschwindigkeit als bei der Spülung mit Netzdruck erreicht. Durch den zusätzlichen intermittierenden Betrieb der Pumpe wurden ca. 70 Prozent des haftenden Eisenbelags entfernt.
- Lose Manganablagerungen wurden bei Spülgeschwindigkeiten von ≥ 0,5 m/s nahezu

vollständig ausgetragen. Bei haftenden Manganpartikeln lag ein weitgehender Austrag bei 2 m/s vor. Stark haftende Manganbeläge wurden selbst bei Spülgeschwindigkeiten von 3 m/s nicht vollständig entfernt.

- Sand bewegt sich bei der Wasserspülung ab einer Fließgeschwindigkeit von 0,35 m/s dünenähnlich über die Rohrsohle. Das Austragsverhalten von Sand wird durch die Position des Hydranten beeinflusst. Bei Anbindung auf dem Rohrscheitel kam es erst bei Spülgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s und nach einem mehrfachen Austausch des Leitungsvolumens zu einem weitgehenden Austrag. Die erforderliche Spülgeschwindigkeit steigt mit zunehmender Korngröße des Sandes an. Bei seitlicher Hydrantenposition wird Sand ab einer Spülgeschwindigkeit von 0,7 m/s, unabhängig von der Korngröße, vollständig ausgetragen.

Luft-Wasserspülungen mit impulsartiger Luftzugabe:

- Haftende Beläge aus Eisenverbindungen wurden zu 90 Prozent entfernt. Die gegenüber der Wasserspülung höhere Entfernung resultiert aus der größeren Schleppspannung.
- Stark haftende Manganbeläge wurden ebenso aufgrund der höheren Schleppspannung stärker als bei der Wasserspülung abgelöst.
- Sand wird infolge der hohen Geschwindigkeit der Wasserpakete resuspendiert und für die Dauer des Impulses transportiert. In Abhängigkeit von der Leitungslänge sind somit mehrere Luftimpulse für den Austrag von Sand erforderlich. Ein geringer Teil des Sandes wurde in den Bereich hinter den Hydranten eingetragen.

Empfehlungen

Aus den Untersuchungen leiten sich zum Einsatz der Spülverfahren folgende Empfehlungen ab: Für eine Entfernung leicht mobilisierbarer Ab-

lagerungen aus Trinkwasserleitungen sollten Spülgeschwindigkeiten von $\geq 0,5$ m/s erreicht werden, wobei der Austausch von 1,5 bis 2 Leitungsvolumina erforderlich ist. Erfahrungsgemäß werden bei der systematischen Wasserspülung, mit Ausschleierung der Spülstrecken, Spülgeschwindigkeiten von $\geq 0,5$ m/s erreicht. Neben der Spülung mit Netzdruck kann die Saugspülung sowie die Luft-Wasser-Impulsspülung eingesetzt werden. Grundsätzlich sind bei einem Lufteinsatz die Leitungen nachfolgend zu entlüften.

Bei haftenden Belägen aus Eisen- bzw. Manganverbindungen besteht eine Korrelation zwischen der Wasserspülgeschwindigkeit und der Entfernungseistung. Wird durch die Saugspülung gegenüber der Spülung mit Netzdruck eine höhere Spülgeschwindigkeit erreicht, resultiert dies in einer besseren Entfernung, die zudem durch einen intermittierenden Pumpenbetrieb unterstützt werden kann. Die Luft-Wasserspülung mit impulsartiger Luftzugabe weist aufgrund der hohen Geschwindigkeit der generierten Wasserpakete die beste Reinigungsleistung bei haftenden Belägen auf.

Zur Entfernung von Sand oder Manganpartikeln aus Leitungen sind bei am Rohrscheitel angebrachten Hydranten Spülgeschwindigkeiten von ≥ 2 m/s sowie der Austausch von mehr als zwei Leitungsvolumina erforderlich. Bei seitlicher Position des Hyd-

ranten sind Fließgeschwindigkeiten im Bereich von $\geq 0,7$ m/s für einen vollständigen Austrag ausreichend. Die erforderlichen Leitungsvolumina für einen Austrag verringern sich grundsätzlich mit zunehmender Spülgeschwindigkeit. Bei der Anwendung der Saugspülung gelten die gleichen Randbedingungen, wie bei der Spülung mit Netzdruck. Die Luft-Wasser-Impulsspülung ist auch für einen Austrag von Sand bzw. Manganpartikeln geeignet. Transport und Austrag erfolgen durch die generierten Wasserpakete.

Zusätzlich zu den Empfehlungen für die Spülverfahren ist im Hinblick auf die Spülstrategie anzumerken, dass Wasserspülungen systematisch und unidirektional (von vorn nach hinten) mit klarer Wasserfront durchgeführt werden sollten. Durch Veränderungen von Schieberstellungen werden bei dieser Vorgehensweise definierte Spülstrecken sowie Spülrichtungen geschaffen, sodass das Wasser dem Spülhydranten nur aus einer Richtung zuströmen kann. Insbesondere in vermaschten Netzbereichen werden in den Spülstrecken höhere Spülgeschwindigkeiten erreicht als ohne Ausschleierung. Gleichzeitig wird das Risiko von Braunwasser in umliegenden Netzbereichen minimiert. Im Vorfeld sind die Erarbeitung eines Spülplans sowie die Planung des Ablaufs der Spülarbeiten erforderlich. Die Einsatzmöglichkeiten der Spülverfahren

in Abhängigkeit vom Ziel der Maßnahme sind in **Abbildung 7** in Form einer Matrix zusammengefasst.

Danksagung

Das TZW bedankt sich beim DVGW für die Förderung sowie bei der DREWAG, den Kommunalen Wasserwerken Leipzig, der Energie in Sachsen, Energie und Wasser Potsdam, vonRoll hydro, AVK Mittelmann, der Keulahütte und WTL Halle für die Unterstützung beim Aufbau der Modellnetze und der Durchführung der Untersuchungen. ■

Die Autoren

Dr. rer. nat. Andreas Korth ist Leiter der Arbeitsgruppe Wasserverteilung.

Olaf Donath, M.Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter.

Kontakt:

Dr. rer. nat. Andreas Korth
Olaf Donath, M.Sc.

DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW)
Außenstelle Dresden

Wasserwerkstr. 2

01326 Dresden

Tel.: 0351 85211-54/-40

E-Mail: andreas.korth@tzw.de

olaf.donath@tzw.de

Internet: www.tzw.de



Die Januarausgabe der bbr (1/2015) enthält ein Spezial zum 29. Oldenburger Rohrleitungsforum und Fachbeiträge u. a. zu folgenden Themen:

Themen im Heft:

Aufbau eines Fernkältenetzes in der Münchner Innenstadt – Technische Umsetzung, Vorzüge und Herausforderungen

Technologische Aspekte der grabenlosen Verlegung von Fernwärmeleitungen

Praktische Durchführung von Tracergastests zur Erkundung von Undichtigkeiten an Brunnen

Kostenloses Probeheft unter info@wvgw.de