

## Zustandsorientierte Spülstrategie für Trinkwassernetze

Bei der Spülung von Trinkwassernetzen sollte der Fokus auf den Austrag loser Ablagerungen gelegt werden. Der vorliegende Artikel beschreibt einen praxisgeeigneten Ansatz, wie Trinkwassernetze zustandsorientiert, d. h. in Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Bildung von Ablagerungen, gespült werden können.

### 1 Einleitung

Allgemein anerkannt ist, dass Trinkwassernetze in bestimmten Zyklen gespült werden sollten, um eine Beeinträchtigung der Wasserbeschaffenheit bei der Verteilung zu vermeiden. Mancherorts werden sogenannte Hygienespülungen bzw. Endstrangspülungen durchgeführt, mit dem Ziel, eine Aufkeimung des Wassers zu vermeiden. Der DVGW hat in den zurückliegenden Jahren mehrere Forschungsprojekte gefördert, um die Prozesse der Aufkeimung zu identifizieren und entsprechende Empfehlungen für die Praxis zu entwickeln. Die Erkenntnisse wurden mit der DVGW-Wasserinformation Nr. 81 praxisgerecht aufgearbeitet. Die Aussagen werden sukzessive in das DVGW-Regelwerk, so z. B. in die W400-1 sowie in die in der Überarbeitung befindliche W 291 übernommen. Zentrale Aussage ist, dass die Verweilzeit des Wassers im Verteilungssystem, inkl. Stagnation sowie Temperaturen bis 20°C keinen Effekt auf die Koloniezahleentwicklung im Trinkwassernetz ausüben. Dementsprechend stellt sich die Frage nach dem Nutzen von Hygienespülungen.

Von erheblicher Relevanz für Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Trinkwassernetz sind in den Leitungen vorhandene lose Ablagerungen. Diese machen sich durch das Auftreten von Braunwasser [1, 2] bemerkbar, zudem können hierdurch mikrobiologische Auffälligkeiten [3] sowie eine Vermehrung tierischer Organismen [4] begünstigt werden. Aus diesem Grund sollte bei der Netzspülung der Fokus auf den Austrag der losen Ablagerungen gelegt werden.

Durch das TZW wurde im Ergebnis mehrerer Forschungsprojekte sowie zahlreicher Untersuchungen bei Wasserunternehmen der Ansatz der zustandsorientierten Netzspülung entwickelt. Hierbei wird das Spülintervall auf Basis der Geschwindigkeit der Bildung von Ablagerungen in den Leitungen definiert. Diese Spülstrategie wird bereits von einer größeren Anzahl von Unternehmen umgesetzt. Nachfolgend werden die Grundlagen der Anreicherung von Ablagerungen, die Schritte der Erarbeitung eines zustandsorientierten Spülplans für das Trinkwassernetz sowie Praxiserfahrungen dargestellt.

## 2 Ursachen der Bildung loser Ablagerungen im Verteilungssystem

Die Bildung von Ablagerungen im Netz wird durch den Eintrag aus dem Wasserwerk, die Korrosion im Netz sowie die Verlagerung bestimmt. Folgende Prozesse spielen hierbei eine maßgebliche Rolle:

- **Eintrag von Partikeln aufgrund einer unzureichenden Aufbereitung.** Bei unzureichender Aufbereitung können z.B. Eisen- oder Aluminiumflocken sowie Algen oder Sand in das Netz eingetragen werden [5]. Maßgeblich hierbei ist die Fracht. Bereits sehr geringe Restgehalte an Eisen oder Trübstoffen können bei entsprechender Fracht zu einer signifikanten Akkumulation von Sediment führen. Die Sedimentation der Partikel erfolgt in Abhängigkeit von deren Eigenschaften und den hydraulischen Bedingungen im Netz.
- **Eintrag gelöster Bestandteile über die Aufbereitung.** Neben dem Eintrag partikulärer Bestandteile können über die Aufbereitung auch gelöste Substanzen wie Eisen, Mangan, Calcium oder organische Verbindungen in das Netz eingetragen werden [6]. Auch in einem solchen Fall kann die Fracht durchaus erheblich sein. Neben der Sedimentation beeinflussen in diesem Fall auch Flockungsvorgänge die Bildung der Ablagerungen.
- **Korrosionsvorgänge in ungeschützten Guss- und Stahlleitungen.** In Netzen mit einem hohen Anteil an ungeschützten Stahl- und Gussleitungen ist die Korrosion, die hauptsächlich durch die Materialbeschaffenheit bestimmt wird, als primärer Eintragungspfad für Ablagerungen anzusehen [7]. Aus den Korrosionsvorgängen freigesetztes Eisen(II) wird unter anderem zu schwerlöslichen Eisen(III)-hydroxiden umgesetzt. Die Bildung der Eisen(III)-hydroxide kann zum einen unmittelbar an der Oberseite der Deckschicht stattfinden, wodurch Ablagerungen unmittelbar auf der Deckschicht akkumulieren. Darüber hinaus kann die Bildung der Eisen(III)-oxide auch im Wasserkörper erfolgen [8], wodurch das Eisen in andere Leitungen verlagert wird.
- **Verlagerung von Sedimenten.** Bei stabilen Randbedingungen kommt es zu einer Ablagerung der Trübstoffe in Abhängigkeit von deren Eigenschaften sowie der hydraulischen Situation [9]. Kommt es infolge einer plötzlichen Änderung der hydraulischen Bedingungen zu einer Remobilisierung von Sedimenten, so können erhebliche Ablagerungsmengen in nachgelagerte Leitungen verschoben werden.

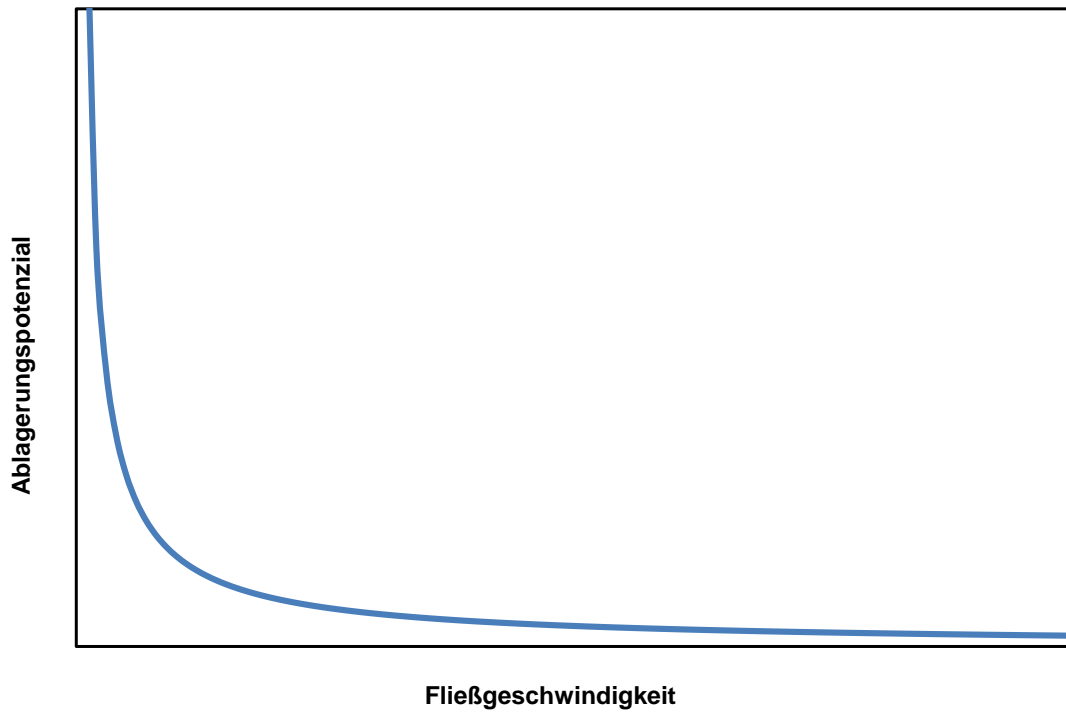
### 3 Bildung und Mobilisierung von Ablagerungen

Jedes Trinkwasser enthält in gewissem Umfang Partikel, die im Netz Ablagerungen bilden können. Ein Austrag der Ablagerungen durch Spülungen kann somit nur eine vorübergehende Wirkung haben. Unmittelbar nach der Spülung setzt die Ablagerungsanreicherung wieder ein, wobei die Geschwindigkeit von der Wasserbeschaffenheit, der Fracht, der Korrosionsgeschwindigkeit ungeschützter Leitungen und der Fließgeschwindigkeit bestimmt wird.

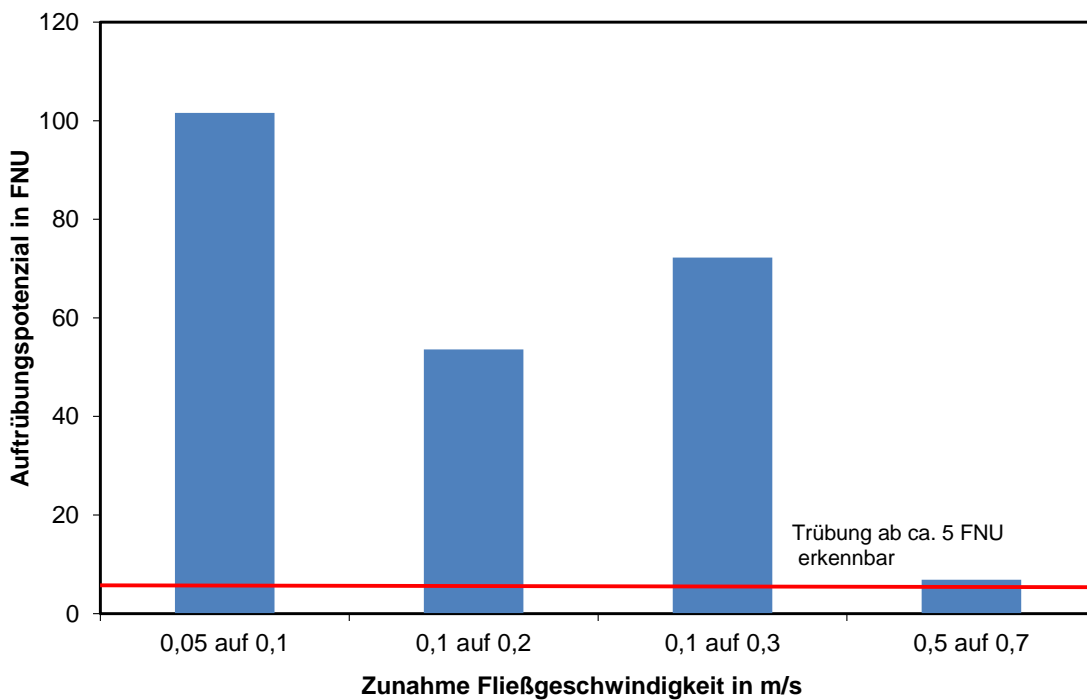
Das Ablagerungspotenzial in Leitungen wird durch die vorliegende Fließgeschwindigkeit bestimmt (Bild 1). Der mathematische Zusammenhang wurde von Richardt et al. [10] identifiziert. Hieraus ist abzuleiten, dass langsam durchflossene Leitungen ein deutlich größeres Potenzial der Bildung von losen Ablagerungen besitzen als jene mit schnellem Durchfluss. Darüber ist aus diesem Zusammenhang auch die Hauptursache von Braunwasserproblemen abzuleiten. Liegt in einer Leitung ein hohes Ablagerungsniveau vor, so führt eine Zunahme der Fließgeschwindigkeit über das sonst übliche Niveau, z.B. infolge einer erhöhten Abnahme, zu einer Mobilisierung jener Ablagerungsmenge, die unter den veränderten hydraulischen Bedingungen „zuviel“ vorhanden ist. Dies verursacht die Auftrübung des Wassers.

Zur Veranschaulichung sind in Bild 2 Beispiele für das Auftrübungspotenzial in Abhängigkeit der Zunahme der Fließgeschwindigkeit dargestellt. Ist in einer Leitung mit einer Fließgeschwindigkeit von 0,05 m/s die maximale Ablagerungsmenge vorhanden und kommt es zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeit auf 0,1 m/s, so kann eine Auftrübung von ca. 100 FNU auftreten. Optisch erkennbar ist eine Trübung ab ca. 5 FNU. Beträgt dagegen die Fließgeschwindigkeit in der Leitung 0,5 m/s und ein Ereignis führt zu einer Erhöhung auf 0,7 m/s, ergibt sich ein Potenzial von ca. 5 FNU. Diese Veränderung ist somit optisch nahezu nicht erkennbar.

Der Ansatz bei der Festlegung der Spülintervalle zielt darauf ab, nur eine bestimmte Ablagerungsmenge zuzulassen, die bei einem vorgegebenen Szenario, wie z.B. Verdopplung der Fließgeschwindigkeit, zu keiner sichtbaren Auftrübung des Wassers führt. Die erläuterten Prozesse wurden mathematisch formuliert und in das Berechnungsprogramm OptFlush implementiert, mit dem die zustandsorientierten Spülintervalle von Leitungen berechnet werden.



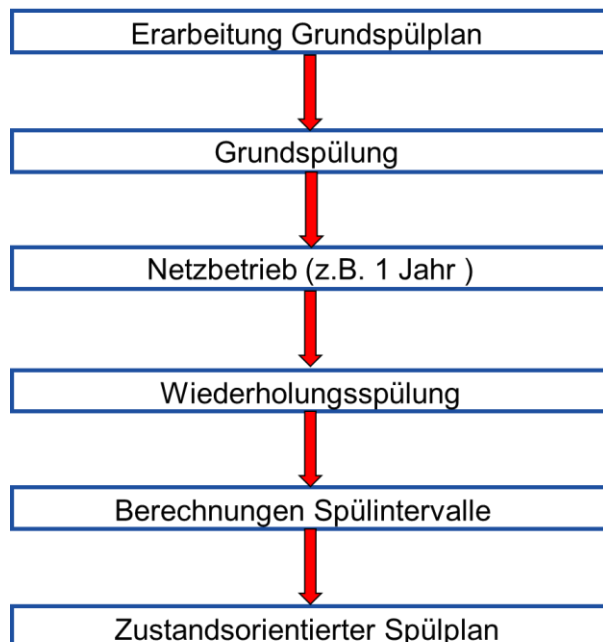
**Bild 1: Zusammenhang zwischen der Fließgeschwindigkeit und dem Ablagerungspotenzial in Leitungen**



**Bild 2: Auftrübungspotenzial infolge einer der Zunahme der Fließgeschwindigkeit**

## 4 Arbeitsablauf

Für die Entwicklung eines zustandsorientierten Spülplans für ein Versorgungsgebiet wurde ein spezifischer Arbeitsablauf entwickelt, der schematisch in Bild 6 dargestellt ist. Im ersten Schritt wird basierend auf einem zuvor erarbeiteten systematischen Spülplan eine Grundspülung durchgeführt. Nach einem definierten Betriebsintervall wird die systematische Spülung wiederholt. Die bei der Spülung gewonnenen Spüldaten werden zur Berechnung der Spülintervalle genutzt und abschließend auf Basis der Berechnung der praxisgeeignete zustandsorientierte Spülplan entwickelt. Die Arbeitsschritte werden nachfolgend erläutert.



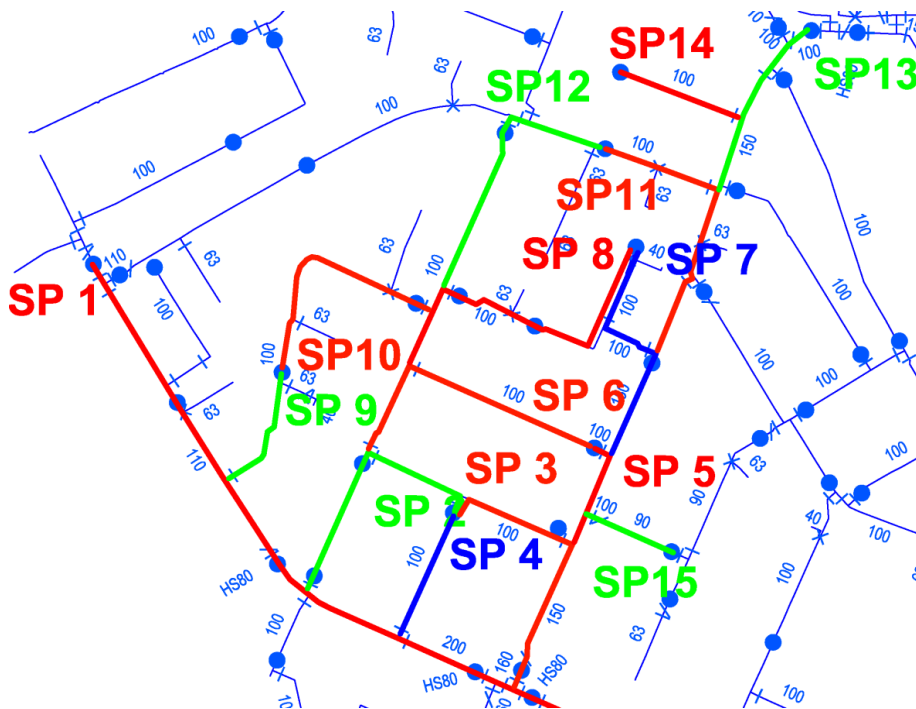
**Bild 3: Arbeitsablauf für die Entwicklung eines zustandsorientierten Spülplans**

### 4.1 Systematischer Spülplan

Die Spülung sollte grundsätzlich mit klarer Wasserfront (unidirektional) mit eindeutiger Vorgabe der Fließrichtung durchgeführt werden. Hierfür ist in den meisten Fällen die Erarbeitung eines Spülplans erforderlich. Der Spülplan beinhaltet die Reihenfolge der zu spülenden Leitungen sowie die zu verändernden Schieberstellungen. Bild 4 zeigt anhand eines kleinen Beispielgebietes die definierte Reihenfolge der Spülstrecken. Bei der Festlegung der einzelnen Strecken sollte auf

Konformität von Material und Durchmesser geachtet werden. Für die Umsetzung der Spülungen ist die Erarbeitung eines Schieberplans je Spülstrecke vorteilhaft. Spülpläne könnten grundsätzlich für alle Trinkwassernetze entwickelt werden. Am TZW liegen Erfahrung für die Aufstellung von Spülplänen für Netze mit einer Leitungslänge von > 1000 km vor.

Vorteil der systematischen Vorgehensweise nach Spülplan ist die Generierung hoher Spülgeschwindigkeiten, zudem wird die Mobilisierung von Ablagerungen in anderen Leitungen vermieden. Für die Abnehmer besteht an der zu spülenden Leitung nur kurzzeitig Risiko von Braunwasser. Bei einer Spülgeschwindigkeit von 1 m/s werden für den Austrag des ersten Rohrvolumens, welches das höchste Braunwasserrisiko darstellt, bei einer Strecke von ca. 300 m nur 5 Minuten benötigt.



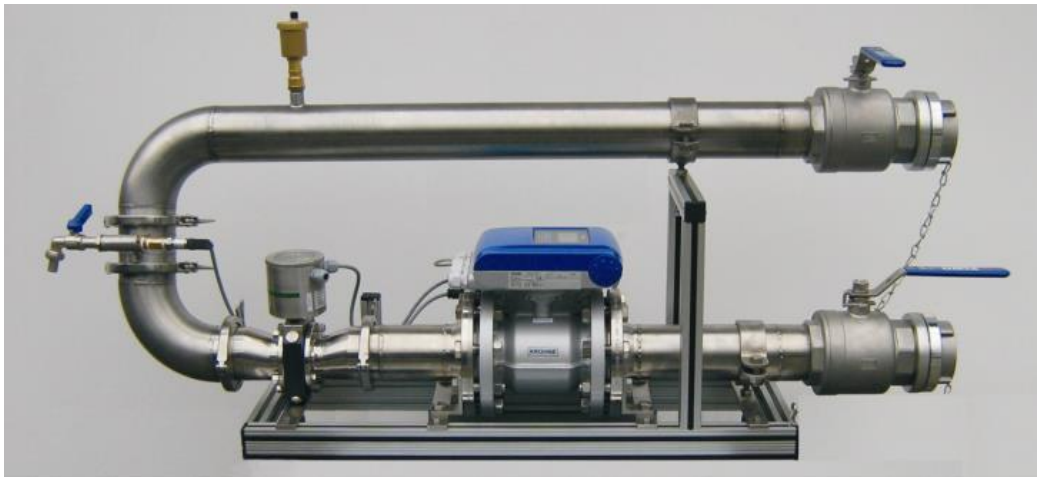
**Bild 4:** Beispiel für die Definition der Spülstrecken für eine kleine Versorgungszone (SP X: Spülstreckennummer; zusätzlich wird für jede Spülstrecke ein Schieberplan erarbeitet)

#### 4.2 Durchführung der Spülung

Die Spülungen werden als Wasserspülungen mit dem vorhandenen Netzdruck durchgeführt. Für den Austrag von losen Eisenverbindungen, welche das Hauptrisiko

für Gütebeeinträchtigungen des Trinkwassers darstellen, sind in der Regel relativ niedrige Spülgeschwindigkeiten von 0,5 m/s ausreichend [11]. Diese Spülgeschwindigkeit kann für Leitungen bis DN 200 über einen Hydranten realisiert werden. Bei größeren Dimensionen werden bei der Entwicklung des Spülplans mehrere Hydranten oder die Nutzung anderer Abschlagsmöglichkeiten vorgesehen.

Zentraler Punkte der Spülung ist die Gewinnung der entsprechenden Daten für eine weitergehende Auswertung. Hauptparameter sind die Trübung im Spülwasser, die Spülgeschwindigkeit und der Fließdruck. Für die Generierung dieser Daten wurde im Rahmen eines BMBF-Forschungsprojektes [11] in Zusammenarbeit mit der Firma FAST der Spülstand FlushInspect entwickelt (Bild 5). Dieser wird bereits von mehreren Wasserversorgern eingesetzt.

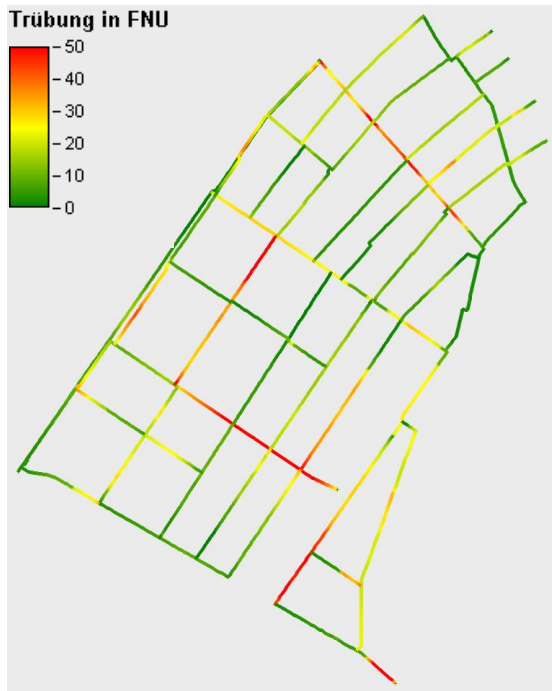


**Bild 5: Spülstand FlushInspect zur Aufnahme der Spüldaten**

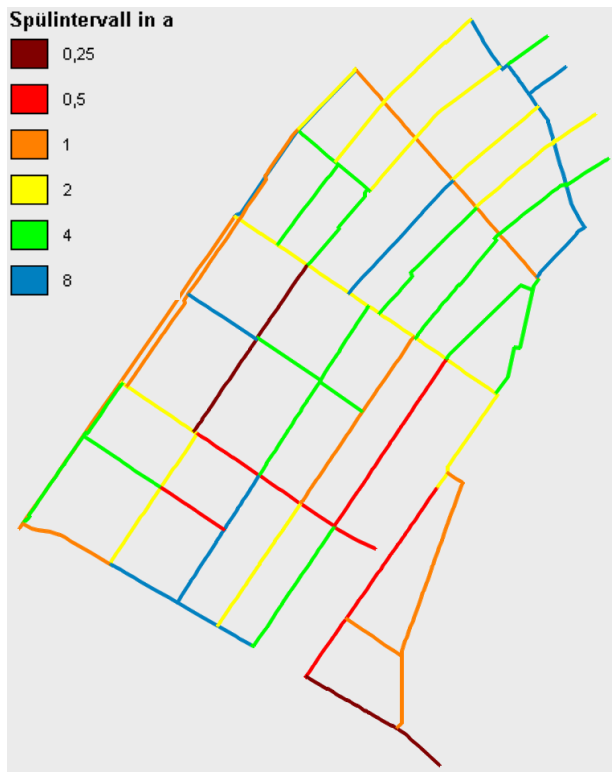
### 4.3 Verwertung der Spüldaten

Bei der unidirektionalen Wasserspülung werden die Ablagerungen entsprechend der Position in der Leitung ausgetragen. Durch die Verknüpfung der Online-Trübungsdaten aus dem Spülstand mit den geografischen Daten der Leitungen wird die Ablagerungssituation visualisiert. Basierend auf den Trübungsdaten der Wiederholungspülung nach dem definierten Betriebsintervall werden mit dem Berechnungsprogramm OptFlush die zustandsorientierten Spülintervalle berechnet. Ein Beispiel für die Visualisierung der Ablagerungssituation und die sich daraus ergebenden Spülintervalle für eine kleine Versorgungszone sind in den Bildern 6 und 7 dargestellt.





**Bild 6: Beispiel für die Visualisierung der Ablagerungssituation durch Verknüpfung von Online-Trübungsdaten der Spülungen mit den Leitungskoordinaten**

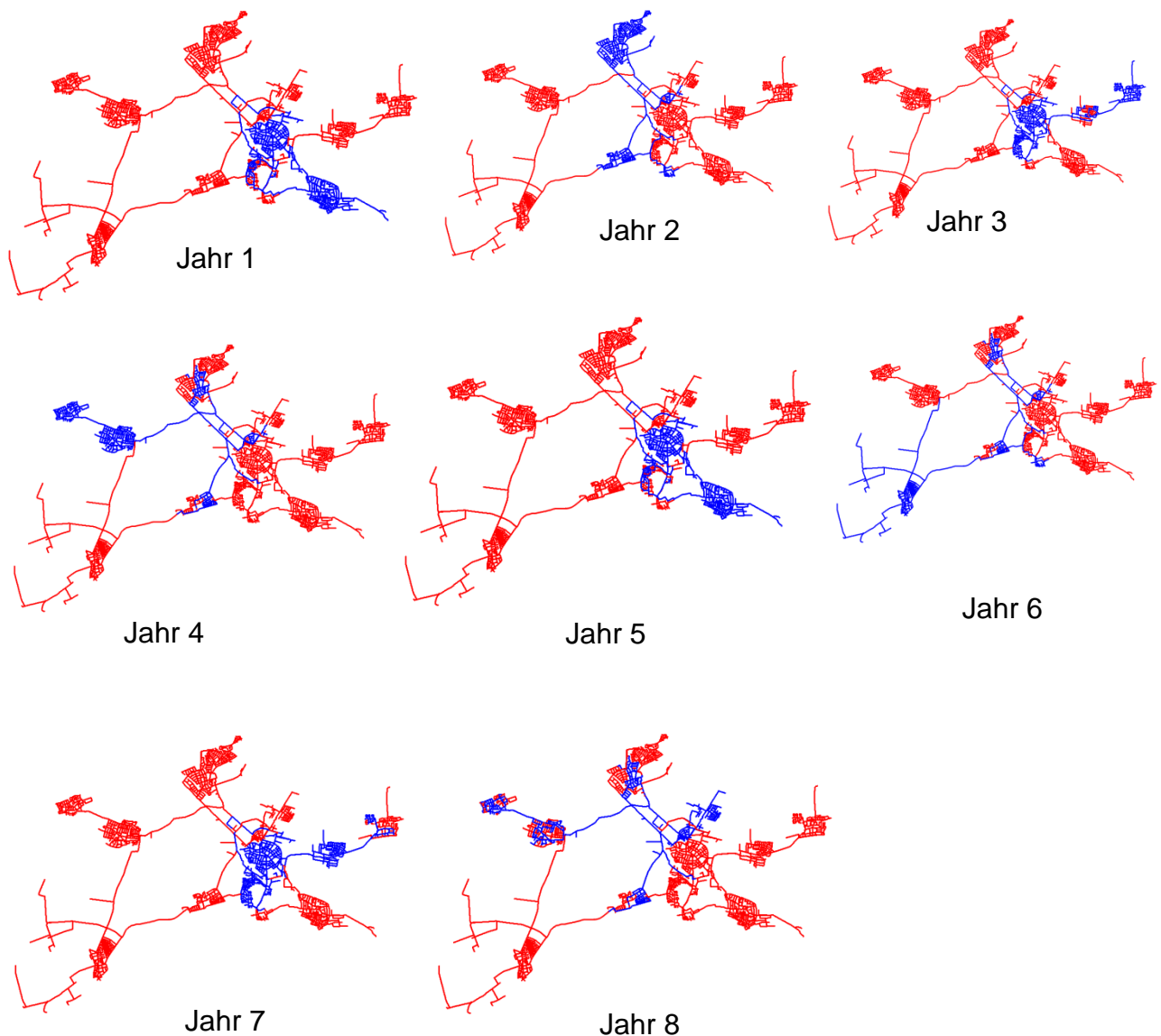




## **Bild 7: Beispiel für Berechnung zustandsorientierter Spülintervalle (Angabe in Jahren)**

### **4.3 Entwicklung des zustandsorientierten Spülplans**

Die Ergebnisse der Berechnung der Spülintervalle für eine Versorgungszone zeigt in vielen Fällen eine heterogene Situation. Um hieraus einen praxistauglichen Spülplan zu entwickeln, werden Spülzonen definiert und diesen ein Spülintervall zugewiesen. Hierbei werden verschiedene Spezifika, wie die berechneten Spülintervalle, die verfügbaren Kapazitäten im Unternehmen sowie das Mobilisierungsrisiko aufgrund der Netz- und Kundenstruktur berücksichtigt. Abschließend wird der zuvor entwickelte Grundspülplan entsprechend der definierten Zonen angepasst. Das Beispiel in Bild 8 zeigt ein Verteilungssystem mit einer Gesamtlänge von 330 km. In einem achtjährigen Turnus sind jährlich ca. 80 km Leitung zu spülen, woraus sich ein jährlicher Zeitbedarf von ca. 6 Wochen ergibt.



**Bild 8: Zustandsorientierter Spülplan für ein Netz mit einer Länge von 330 km (blau: zu spülender Bereich, rot: nicht zu spülender Bereich)**

## 5 Praxiserfahrungen

Das TZW hat den Aufbau der zustandsorientierten Spülstrategie bei diversen Wasserversorgern unterstützt, wobei sich folgender Ablauf bewährt hat:

- Auswahl einer Pilotzone mit häufigeren Braunwasserproblemen, wobei z. B. andere Spülstrategien und Spülverfahren nicht nachhaltig waren

- Durchführung des gesamten Arbeitsprozesses in dieser Pilotzone
- Bewertung der Maßnahme
- Ableitung der Vorgehensweise zur Umsetzung der Spülstrategie in weiteren Bereichen bzw. für das gesamte Versorgungssystem

Da bereits von einer größeren Anzahl von Wasserversorgungsunternehmen die zustandsorientierte Netzspülung implementiert wurde, bzw. sich derzeit mit der Implementierung befassen, wurde im Juni 2018 am TZW ein Diskusstag veranstaltet, um Umsetzungskonzepte aus Praxissicht zu präsentieren und diskutieren. Die wesentlichen Aussagen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Von den meisten Unternehmen, die ihre Erfahrungen präsentierten, wird das zuvor erläuterte Konzept der zustandsorientierten Netzspülung umgesetzt
- Mit der Etablierung der zustandsorientierten Spülstrategie wird die Endstrang- bzw. Hygienespülung abgelöst
- Mit der zustandsorientierten Spülstrategie können Braunwasserprobleme deutlich besser beherrscht werden als mit zuvor durchgeführten Spülstrategien
- Die „Blackbox“ Rohrnetz wird hinsichtlich der Prozesse der Bildung und Mobilisierung von Ablagerungen „durchsichtig“ und somit verständlich, wodurch gezielte Maßnahmen, wie z. B. Rehabilitationsentscheidungen unterstützt werden können
- Der Aufwand für die Rohrnetzpflege ist definiert und kann bei der Planung der Arbeitsprozesse berücksichtigt werden
- Bei fortschreitender Datenaufnahme bei den Spülungen kann die Spülstrategie mit sich verändernden Randbedingungen im Verteilungssystem nachjustiert werden
- Die bei Ausschleberung der Spülstrecken gewonnenen Information können für die Funktionskontrolle der Schieber herangezogen werden
- Durch den Einsatz weiterer Messtechnik bei der Durchführung der Spülungen können Daten für hydraulische Berechnungen gewonnen werden

## 6 Zusammenfassung

Rohrnetzspülungen sind eine wichtige Maßnahme zur Sicherung der Wasserqualität im Verteilungssystem. In den zurückliegenden Jahren wurde vom TZW auf Basis der Entschlüsselung der Prozesse der Bildung und Mobilisierung loser Ablagerungen der Ansatz der zustandsorientierten Netzspülstrategie entwickelt. Der Arbeitsprozess zur Implementierung dieser Spülstrategie ist etabliert und hat sich in der Praxis bewährt. Eine größere Anzahl von Unternehmen nutzt die zustandsorientierte Spülstrategie zur nachhaltigen Beherrschung von Auffälligkeiten durch Braunwasser. Darüber hinaus ergeben sich aus der systematischen Vorgehensweise weitere Informationen für eine Optimierung des Netzbetriebs.

## 7 Literatur

[1] *Powell, J. und Brandt, M.* (2003): Identification of discoloration risk, AWWA Water quality Technology Conference and Exhibition, Proceedings, New Orleans.

[2] *Böhler, E., Hofmann, D. und Tränckner, J.* (2004): Spülung von Wasserversorgungsnetzen zur Vermeidung von Rostwasser. Schriftenreihe des TZW, Band 27.

[3] *Besner, M.C., Gauthier, V., Morssette, C., Prévost, M.* (2002): Identification of the main causes of total coliforms in a distribution system. Proceedings of the AWWA WQTC, Seattle, Wa, USA. Nov. 10-14.

[4] *Schreiber, H.* (1996): Invertebraten in Wasserversorgungsanlagen: Eine Bestandsaufnahme unter hygienischen Aspekten. Dissertation an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn (1996)

[5] *Slaats* (2002): Processes involved in generation of discolored water, AWWA Research Foundation / KIWA, The Netherlands.

[6] *Sly, L.I., Hodgkinson, M.C. und Arunpairojana V.* (1990): Deposit of Manganese in Drinking Water Distribution System. Applied and Environmental Microbiology 56 (3): 628-639.

[7] *Boxall, J.B. Skipworth, P.J. und Saul, A.J.* (2003): Aggressive Flushing for discoloration event migration in water distribution networks. Water Science and Technology: Water Supply 3 (1-2): 179-186.

- [8] *Kuch, A. (1984): Untersuchungen zum Mechanismus der Aufeisung in Trinkwasserverteilungssystemen. Dissertation, Universität Karlsruhe.*
- [9] *Vreeburg, J. (2007): Discoloration in potalbe water distribution systems: a particular approach. Dissertation an der Technischen Universität Delft.*
- [10] *Richardt, S., Korth, A., Wricke, B. (2009): Minimierung sedimentbürtiger Gütebeeinträchtigungen durch modellgestützten Rohrnetzbetrieb. Abschlußbericht BMBF- (02WT0618) und DVGW-Forschungsvorhaben (W 6/03/05).*
- [11] *Korth, A., Donath O. (2015): Spülverfahren für Trinkwasserleitungen problemspezifisch auswählen. Energie- und Wasser-Praxis 01/2015.*
- [12] *Korth, A., Donath O. (2013): Abschlussbericht zum BMBF-Forschungsprojekt „Entwicklung eines marktfähigen Messstands für die Spülung von Trinkwassernetzen - FlushInspect“. BMBF Förderkennzeichen 02WQ1195.*

#### **Autoren:**

Dr. rer. nat. Andreas Korth  
DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW) Karlsruhe, Außenstelle Dresden  
Wasserwerkstr. 2  
01326 Dresden  
Tel: 0351 8521154  
Fax: 0351 8521110  
Mail: andreas.korth@tzw.de

M.Sc. Olaf Donath  
DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW), Außenstelle Dresden  
Wasserwerkstr. 2  
01326 Dresden  
Tel: 0351 8521140  
Fax: 0351 8521110  
Mail: olaf.donath@tzw.de