

Hygienische Sicherheit im Verteilungsnetz – Teil 2:

# Erkennen und Beseitigen der Ursachen mikrobiologischer Güteveränderungen

Quelle: DJ\_38 – iStock.com

Das technische Regelwerk des DVGW beinhaltet Anforderungen, die bei **Planung, Bau und Betrieb** von Wasserverteilungsanlagen zu berücksichtigen sind. Ziel ist es, das Risiko des Eintretens von Gefährdungen zu eliminieren oder zu minimieren und damit die hygienische Sicherheit zu gewährleisten. In Teil 1 des Beitrags (Ausgabe 10/2016 der „DVGW energie | wasser-praxis“) wurden die wesentlichen Anforderungen zusammenfassend dargestellt und mögliche Auswirkungen erläutert, falls die allgemein anerkannten Regeln der Technik nicht beachtet werden. Der vorliegende Teil 2 des Beitrags befasst sich mit dem **Erkennen und Beseitigen der Ursachen** mikrobiologischer Güteveränderungen und gibt damit Hinweise, wie im konkreten Fall bei einer Beeinträchtigung vorgegangen werden sollte.

von: Dr. Burkhard Wricke & Dr. Andreas Korth (beide: TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser)

Werden im Verteilungsnetz mikrobiologische Veränderungen der Wasserbeschaffenheit festgestellt, gilt es, neben der gegebenenfalls erforderlichen Einleitung von Sofortmaßnahmen zur Gewährleistung der hygienischen Sicherheit schnellstmöglich die Ursachen zu erkennen und zielgerichtete Maßnahmen zu deren Beseitigung sowie zur Verhinderung künftiger Störfälle durchzuführen. Voraussetzung hierfür sind Detailkenntnisse zu den im Verteilungsnetz ablaufenden

komplexen Prozessen. Die hierzu vorliegenden aktuellen Erkenntnisse werden erläutert und daraus Empfehlungen für die Ursachenfindung und -beseitigung abgeleitet.

## Kontamination mit *Escherichia coli* (*E.coli*) und Enterokokken

Bei den *Escherichia coli* handelt es sich um Bakterien, die im Darm von Menschen und warmblütigen Tieren vorkommen. Der Nachweis von *E. coli* im

Trinkwasser ist deshalb ein direkter Hinweis darauf, dass eine fäkale Kontamination stattgefunden hat. Enterokokken werden ebenfalls als Fäkalindikator betrachtet. Aufgrund der im Vergleich zu *E. coli* längeren Überlebensdauer in der Umwelt werden sie als Indikator für eine zurückliegende Kontamination angesehen. Enterokokken kommen jedoch nicht nur im Darm von Menschen und Tieren vor. Sie gehören auch zur Flora von Insekten und anderen Invertebraten, wie

z. B. Schnecken [1–4]. Einige Enterokokken-Arten können auch auf pflanzlichem Material wie z. B. Hanffasern vorkommen. Hanf wird im Trinkwasserbereich nach wie vor häufig als Dichtmaterial bei der Verschraubung von Rohrleitungen eingesetzt. Großflächige Belastungen von Enterokokken im Trinkwasser in Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg wurden durch Mücken verursacht, die in Trinkwasserbehälter eingedrungen waren [3, 5, 6]. Die Untersuchungen zeigten Belastungen von > 100.000 Enterokokken pro Mücke. Die in den Mücken nachgewiesene Enterokokken-Art *Enterococcus rotei* wurde bisher nicht im Darmtrakt von Warmblütern nachgewiesen.

Im Fall des Nachweises von *E. coli* und Enterokokken sind gemäß den Leitlinien zum Vollzug der Paragraphen 9 und 10 der Trinkwasserverordnung [7] Sofortmaßnahmen einzuleiten, die neben einem Abkochgebot die Durchführung von Desinfektions- und/oder Spülmaßnahmen umfassen. Eine konsequente Ursachenaufklärung und die Feststellung der räumlichen Ausdehnung der Kontamination werden gefordert.

*E. coli* können sich im Biofilm auf den Oberflächen im Verteilungssystem anlagern und in Ablagerungen anreichern. Sie haben dort eine lange Überlebensdauer. Eine Vermehrung unter bestimmten Bedingungen wird insbesondere für *E. coli* O157 nicht ausgeschlossen, wenn auch bei Vorhandensein eines natürlichen Biofilms auf Oberflächen als unwahrscheinlich angesehen [8]. Das Verhalten von Enterokokken in Trinkwassersystemen wurde bei den in Deutschland vorliegenden Bedingungen bisher noch nicht detaillierter untersucht. Hierzu wird derzeit im DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) ein DVGW-Forschungsvorhaben bearbeitet.

Sofern kein dauerhafter Eintrag von *E. coli* und/oder Enterokokken vorliegt bzw. die Eintragsquelle beseitigt wurde, ist eine Verringerung der Befund-

situation gegeben, sobald das belastete Wasser gegen einwandfreies Trinkwasser ausgetauscht wurde.

Die Durchführung einer Desinfektionsmaßnahme führt zu einer Abtötung von Keimen im Wasserkörper und auf den Oberflächen. In Ablagerungen angereicherte Keime werden jedoch nicht erreicht. Zur Entfernung von *E. coli* und/oder Enterokokken und damit möglicherweise auch von Krankheitserregern sollte deshalb eine Spülung der Leitung bzw. des betroffenen Netzbereiches mit maximal möglicher Fließgeschwindigkeit durchgeführt werden. Hierzu sollte der Wasserabschlag am Hydranten auf die maximal zulässige Menge eingestellt werden. Verstärkte Ablöseeffekte sind über den Einsatz der Luft/Wasser-Impulsspülung zu erreichen. Um das Auftreten von Braunwasser zu vermeiden, sollten die Spülungen systematisch mit klarer Wasserfront durchgeführt werden.

Die Desinfektion von Trinkwasser im Verteilungsnetz kann nur durch den Einsatz von Chlor bzw. Hypochloriten oder Chlordioxid gesichert werden. Eine gemäß TrinkwV 2001 (§ (5)(4)) für diesen Fall geforderte hinreichende Desinfektionskapazität ist in der Regel gegeben, wenn im betroffenen Netz bzw. Netzteilen freies Chlor bzw. Chlordioxid in Konzentrationen nachweisbar sind, wie sie zur Sicherung der Desinfektion nach der Aufbereitung in der Liste zum § 11 der TrinkwV 2001 [9] gefordert werden.

Beim Einsatz der Desinfektion im Verteilungsnetz ist zu beachten, dass es bei der Inbetriebnahme der Desinfektion in Leitungen, in denen im Normalbetrieb Wasser ohne Restdesinfektionsmittel verteilt wird, anfänglich zu einer erheblichen Zehrung des Chlors bzw. Chlordioxids an den Leitungsoberflächen kommen kann. Dies führt dazu, dass freies Chlor bzw. Chlordioxid trotz höherer Desinfektionsmittelzugabemenge erst nach einer längeren Betriebszeit nachgewiesen wird. Sofern möglich, sollte die Desin-



## SICHERHEIT IM WASSERWERK

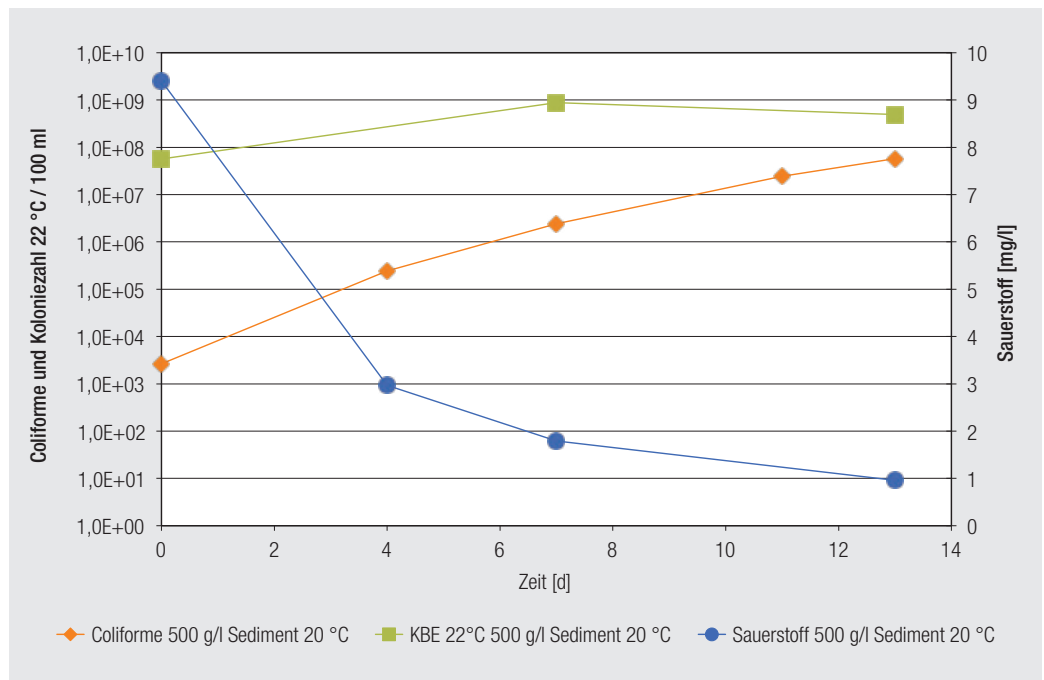
Der Luftentfeuchter **AirBlue HDE 370** bietet idealen Schutz vor den Folgen von Kondenswasserbildung. Speziell für die Bedürfnisse im Wasserversorgungsbereich entwickelt, überzeugt er mit einem **Luftvolumen bis zu 1.000 m³/h** selbst in größeren, sehr hohen Räumen. Zudem erfüllt er die **Schutzart IP54**, sowie die elektrische Schutzklasse II.



**Highlights** des AirBlue HDE 370:

- Entfeuchtungsleistung bis 93 l/Tag
- Radiallüfter mit 300 Pa ext. Pressung
- Edelstahlgehäuse
- mobil & steckerfertig

Abb. 1: Wachstum coliformer Bakterien im Sediment



Quelle: TZW

fektionsmitteldosierung deshalb erst unmittelbar vor dem betroffenen Leitungsabschnitt bzw. Netzbereich erfolgen. Um definierte hydraulische Bedingungen zu erhalten, ist der zu desinfizierende Netzbereich gegebenenfalls abzuschleubern.

Zu beachten ist, dass die Desinfektion im Netz zur Bildung von Desinfektionsnebenprodukten führt. Bei Überschreitung der Grenzwerte sind Ausnahmeregelungen erforderlich. Neben der Bildung von Trihalogenmethanen bzw. von Chlorit kommt es auch zur Bildung biologisch abbaubarer Stoffe. Dies kann in Netzbereichen, in denen das Desinfektionsmittel gezehrt ist, zu einem Anstieg der Koloniezahlen führen. Um dies zu verhindern bzw. zu begrenzen, sollte die Desinfektion im Netz nur mit der für die Aufrechterhaltung der Desinfektionskapazität im betroffenen Leitungsabschnitt minimal erforderlichen Dosis durchgeführt werden.

### Kontamination mit coliformen Bakterien

Coliforme Bakterien sind eine durch das angewendete Nachweisverfahren definierte Gruppe der Enterobakterien. Seit dem Jahr 2003 werden Nachweisverfahren eingesetzt, welche vermehrt Bakterien erfassen, die als primäre Umweltorganismen angesehen werden.

Untersuchungen zum Verhalten von coliformen Bakterien im Verteilungsnetz wurden in einem DVGW-Forschungsvorhaben durchge-

führt [10, 11]. Der Nachweis von coliformen Bakterien im Leitungsnetz ist danach ursächlich immer auf einen Eintrag von außen zurückzuführen. Solange der Eintrag von coliformen Bakterien anhält, sind diese auch im Wasserkörper und im Biofilm auf den Leitungs- bzw. Behälteroberflächen nachweisbar. Findet kein weiterer Eintrag mehr statt, geht die Anzahl der Bakterien auch auf den Oberflächen innerhalb kurzer Zeit zurück. In Sedimenten sowie in Biofilmen, welche sich auf Materialien bilden, die verstärkt Nährstoffe abgeben, ist jedoch unter Umständen eine Vermehrung coliformer Bakterien möglich.

Das Risiko der Ansiedlung coliformer Bakterien steigt mit dem Ablagerungsniveau. Ursächlich für die Besiedlung von Ablagerungen ist der Wachstumsvorteil coliformer Bakterien gegenüber der natürlichen Biozönose bei sauerstoffarmen Bedingungen, wie sie in Ablagerungen und dicken Biofilmen vorliegen können (Abb. 1). Störende Biofilme, in denen sich coliforme Bakterien vermehren können, bilden sich beim Einsatz ungeeigneter Materialien sowie auf Fetten und anderen Schmierstoffen, wenn diese bei Baumaßnahmen, z. B. aufgrund eines nicht sachgemäßen Umganges mit Gleitmitteln, in das Leitungsnetz gelangen.

Zudem sind Fälle bekannt geworden, bei denen Fette in neu eingebauten Armaturen vorhanden waren, die nach einer entsprechenden Besiedlung zur Kontamination nachgelagerter Leitungsabschnitte geführt haben.



Der Austrag von Fetten und anderen Schmierstoffen aus Leitungsabschnitten bzw. Armaturen durch Spülungen ist nicht bzw. nur begrenzt möglich, sodass in der Regel bei einer entsprechenden Kontamination ein Austausch der Bauteile erforderlich ist.

Für die Praxis lassen sich hieraus folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- Treten in einem Verteilungssystem coliforme Bakterien auf, so ist von einem Eintrag von außen auszugehen. Die Eintragsquelle ist zu identifizieren und zu beseitigen.
- Treten coliforme Befunde in niedriger Konzentration und sporadisch auf, so ist neben dem Eintrag auch die Freisetzung aus Ablagerungen oder aus materialbedingten Biofilmen nicht auszuschließen.
- Zur Vermeidung einer Ansiedlung coliformer Bakterien im Netz ist eine regelmäßige Entfernung der

Ablagerungen in den Leitungen und Behältern erforderlich. Der Reinigungszyklus sollte der Geschwindigkeit der Ablagerungsbildung angepasst werden.

- Grundsätzlich sind für die Errichtung der Verteilungsanlagen nur nach DVGW-Arbeitsblatt W 270 [12] geprüfte Materialien einzusetzen.
- Auf den sachgemäßen Einsatz von Gleitmitteln ist zu achten. Armaturen sollten vor dem Einbau kontrolliert werden.
- Bei Einsatz einer Desinfektion des Trinkwassers im Verteilungsnetz sind die für den Fall einer Kontamination mit *E. coli* und Enterokokken gegebenen Hinweise zu beachten.

### Kontamination mit *Pseudomonas aeruginosa*

*Pseudomonas aeruginosa* (*P. a.*) zählt zu den wichtigsten nosokomialen Krankheitserregern. Es handelt sich hierbei um ein Umweltbakterium, welches

häufiger nach Baumaßnahmen im Trinkwassernetz in neu verlegten Trinkwasserleitungen und neu errichteten Trinkwasser-Installationen auftritt.

Untersuchungen zum Verhalten von *P. a.* im Leitungsnetz sowie zu den Möglichkeiten der Entfernung wurden im Rahmen eines DVGW-Forschungsvorhabens durchgeführt [13].

*P. a.* überlebt im Wasserkörper unter Stagnationsbedingungen über einen langen Zeitraum. Für die Praxis bedeutet dies, dass aus nicht durchflossenen Bereichen trinkwasserführender Systeme, die eine Kontamination mit *P. a.* aufweisen, bei Veränderung der hydraulischen Bedingungen ein Eintrag in das System möglich ist.

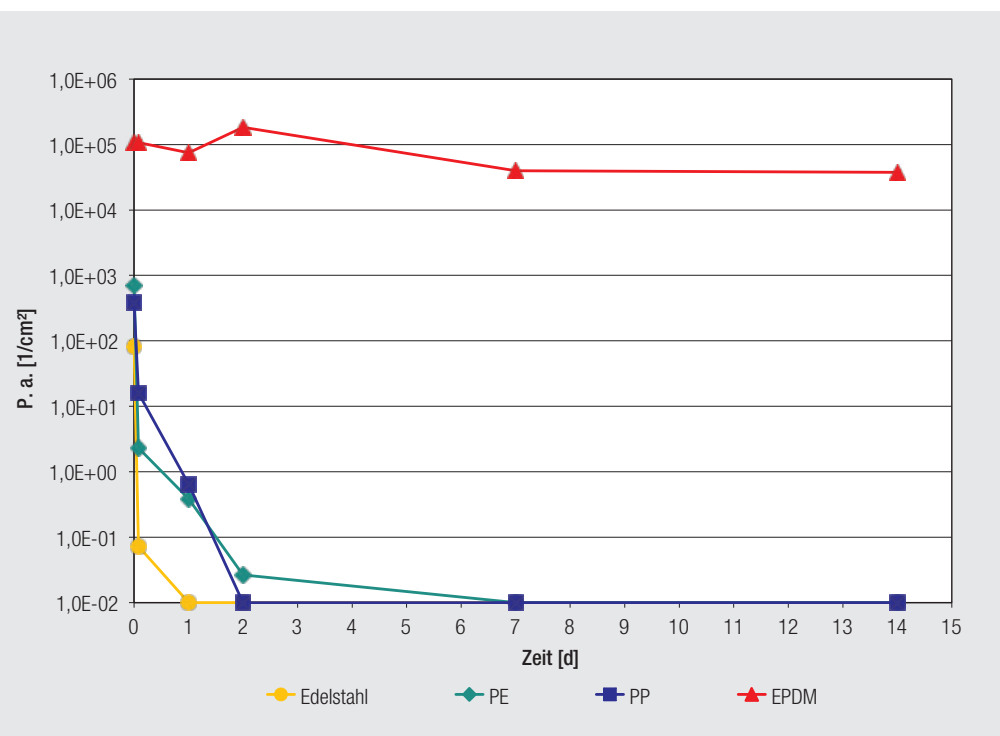
*P. a.* besiedelt ausgehend vom Wasserkörper die Oberfläche aller Materialien. Findet kein Eintrag von *P. a.* mehr statt, kommt es zu einer sukzessiven



## 12<sup>TH</sup> PIPELINE TECHNOLOGY CONFERENCE

2-4 MAY 2017, ESTREL CONVENTION CENTER, BERLIN, GERMANY

[www.pipeline-conference.com](http://www.pipeline-conference.com)



Quelle: TZW

Abb. 2: *Pseudomonas aeruginosa* auf neuen Trägern ohne Trinkwasserbiofilm nach Animpfung und Versuchsdurchführung mit Durchfluss mit 0,1 mg/l Chlor

Abnahme der *P. a.*-Konzentration auf den Oberflächen, sofern von dem Oberflächenmaterial keine erhöhte Nährstoffabgabe erfolgt. Eine Verdrängung findet aufgrund des Konkurrenzdruckes durch das Wachstum autochthoner Bakterien auch auf Oberflächen statt. Die Nachweisdauer von *P. a.* auf Materialien ist von der Besiedlungsdichte nach einer Kontamination abhängig. Die Halbwertszeit kann im Bereich von zehn Tagen angesetzt werden.

Spülmaßnahmen führen nur zum Austrag in der Wasserphase und in den Ablagerungen befindlicher Bakterien. Eine vollständige Entfernung von den Oberflächen ist aufgrund der hohen Haftung weder durch eine Wasserspülung noch durch eine Luft/Wasser-Impulsspülung erreichbar.

*P. a.* weist eine generelle Empfindlichkeit gegen alle getesteten Desinfektionsmittel auf. Auf EPDM-Materialien war jedoch selbst bei hohen Desinfektionsmittelkonzentrationen keine vollständige Beseitigung möglich. **Abbildung 2** zeigt als Beispiel den Einfluss von Chlor mit einer Konzentra-

tion von 0,1 mg/l auf die Besiedlung von Oberflächen nach Animpfung von *P. a.*

Für die Praxis lassen sich hieraus folgende Handlungsempfehlungen ableiten:

- *P. a.* kann bei Rohrbrüchen oder im Rahmen von Baumaßnahmen, z. B. mit Bodenbestandteilen, in das Trinkwassernetz eingetragen werden. Der Eintrag von Verschmutzungen sollte deshalb durch Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik weitgehend vermieden werden.
- Anlagenteile mit Dichtungsmaterialien, wie z. B. Schieber oder Klappen, sollten vor dem Einbau intensiv desinfiziert werden. Hierfür können z. B. Sprühdesinfektionsmittel zum Einsatz kommen. Bei Bauteilen mit EPDM erhöhen mehrfache Desinfektionen die Chance auf eine vollständige Beseitigung einer möglichen Kontamination mit *P. a.*
- Ist ein Eintrag von Verunreinigungen erfolgt, sind diese vollständig auszutragen. Hierzu sind, wenn sich der Wasserauslass, z. B. der Hydrant,

am Rohrscheitel befindet, Spülgeschwindigkeiten von > 1,5 m/s erforderlich. Ist der Wasserauslass seitlich angebunden oder handelt es sich um einen freien Auslauf am Ende der Leitung, sind Spülgeschwindigkeiten von 0,7 m/s ausreichend. Lassen sich die Spülgeschwindigkeiten nicht realisieren, sollte eine Luft/Wasser-Impulsspülung durchgeführt werden.

- Hat eine Besiedlung der Oberflächen mit *P. a.* stattgefunden, ist zu deren Beseitigung im ersten Schritt mit Wasser zu spülen, wobei das zweifache Volumen der Leitung ausgetauscht werden sollte. Sofern keine festen Bestandteile auszutragen sind, sind hierfür keine höheren Spülgeschwindigkeiten erforderlich. Danach ist eine Anlagendesinfektion entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 291 [14] durchzuführen. In der Regel ist damit eine vollständige Beseitigung einer Oberflächenkontamination möglich. Dies gilt jedoch nicht für Dichtungsmaterialien, auf denen nur eine unvollständige Beseitigung erreichbar ist.
- Ist eine Anlagendesinfektion nicht umsetzbar, sollte eine Desinfektion des Trinkwassers über mindestens vier Wochen durchgeführt werden. Danach ist die Desinfektionsmittelkonzentration schrittweise abzusenken und dies mit einem entsprechenden Untersuchungsprogramm zu begleiten. Bei der Desinfektion sind die für den Fall einer Kontamination mit *E. coli* und Enterokokken gegebenen Hinweise zu beachten.
- Bei anhaltenden Befunden ist davon auszugehen, dass eine Kontaminationsstelle vorhanden ist, an der sich *P. a.* vermehren kann. In diesem Fall ist die Kontaminationsstelle zu identifizieren und das Anlagenteil auszutauschen.

### Identifizierung mikrobiologischer Kontaminationspunkte

Entscheidende Voraussetzung für die Beseitigung der Ursache einer mikrobiellen Kontamination im Verteilungs-

netz ist, den Kontaminationspunkt zu identifizieren. Bei Anwendung der klassischen Untersuchungsmethoden, d. h. bei Verwendung eines Probevolumens von  $\leq 100$  ml, gelingt dies jedoch kurzfristig nur bei einem hohen und anhaltenden Eintrag von außen. In vielen Fällen findet ein Eintrag jedoch nur zeitweise, z. B. im Zusammenhang mit Niederschlagsereignissen statt. Zudem sind die Konzentrationen, insbesondere bei höheren Wasserdurchsätzen, oft sehr niedrig. In diesen Fällen wird es häufig auch bei langfristigen umfangreicheren Untersuchungsprogrammen schwierig, den Kontaminationspunkt zu finden. Dies gilt umso mehr, wenn bei langanhaltenden Belastungen zur Begrenzung des Risikos auch beim Nachweis von coliformen Bakterien eine Desinfektion oder Nachdesinfektion mit Chlor oder Chlordioxid durchgeführt wird.

Eine schnellere und eindeutige Möglichkeit, um Kontaminationspunkte zu identifizieren, wird durch die Untersuchung größerer Probevolumina erreicht. Hierzu ist eine Anreicherung erforderlich. Eine entsprechende Methodik wird vom TZW in einem aktuellen DVGW-Forschungsvorhaben erarbeitet. Bewährt hat sich hier der Einsatz von Modulen, wie sie in der Dialyse zur Anwendung kommen (Abb. 3). Mit diesen können in ca. einer Stunde die Bakterien aus einem Wasservolumen von 100 Liter angereichert wer-

den. Die Anwendung dieser Methodik ermöglicht häufig schon mit wenigen Beprobungsserien auch bei niedrigen Befunden eine eindeutige Lokalisierung einer Eintragsstelle. Werden für die Bestimmung der Bakterien zudem moderne mikrobiologische Untersuchungsverfahren (wie PCR) zur eindeutigen Speziesidentifizierung eingesetzt, können Befunde an verschiedenen Stellen zudem einem identifizierten Eintragspunkt zugeordnet werden.

### Sicherung einer mikrobiologisch stabilen Wasserbeschaffenheit

Trinkwasser ist nicht steril, es enthält immer Mikroorganismen. Die Bakterienzahlen liegen bei biologisch stabilen Wässern zwischen  $10^4$  und  $10^5$  Bakterien/ml. Als Folge der Anlage und des Wachstums von Bakterien bildet sich auf allen mit dem Wasser in Kontakt stehenden Oberflächen ein Biofilm, in dem die Organismen in extrazellulären Substanzen (EPS) eingebettet sind. Je nach Nährstoffgehalt des Wassers und Material, auf dem sich der Biofilm bildet, werden in Trinkwasserbiofilmen Konzentrationen von  $10^4$  bis  $10^8$  Bakterien/cm<sup>2</sup> festgestellt. Dickere Biofilme bilden sich auf Materialien, die verstärkt und anhaltend Nährstoffe abgeben. Auch Sedimente und Ablagerungen in Behältern und Leitungen können erhebliche Bakterienzahlen aufweisen.

Für die Überwachung der mikrobiologischen Verhältnisse im Leitungsnetz wird in Deutschland der bewährte und empfindliche Indikatorparameter Koloniezahl eingesetzt. Obwohl mit dem Verfahren der Koloniezahlbestimmung analytisch ein nur sehr enges Fenster betrachtet wird, können damit Störungen, die zu einer Veränderung der mikrobiologischen Wasserbeschaffenheit führen, erfasst werden. Eine Erhöhung der Koloniezahl an sich bedeutet noch keine Gefahr für die menschliche Gesundheit, deutet aber auf mögliche negative Veränderungen hin, deren Ursache gefunden und beseitigt werden muss.

Umfassende Untersuchungen zur Aufklärung der Prozessabläufe der mikrobiologischen Güteveränderung im Verteilungsnetz wurden im Rahmen des vom DVGW geförderten Forschungsprojektes „Planung und Betrieb von Trinkwasserverteilungssystemen im Hinblick auf die Vermeidung von Aufkeimungserscheinungen“ [15] durchgeführt. Eine wesentliche Erkenntnis des Forschungsprojektes war, dass die Prozesse im Biofilm auf der inneren Oberfläche der Leitungen die Gütesituation im Netz wesentlich bestimmen. Das Wachstum von koloniebildenden Bakterien im Wasserkörper ist generell gering. Bei stabiler Wasserbeschaffenheit stellt sich ein Gleichgewicht zwischen den Prozessen „Wachstum von Bakterien im Biofilm“, „Abgabe in den Wasserkörper“ und „Anlagerung von Bakterien aus dem Wasserkörper an die Oberfläche“ ein. Bei Trinkwasser, das nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik aufbereitet und verteilt wird, haben bei stabilen Betriebsbedingungen die Fließgeschwindigkeit, die Aufenthaltszeit und die Temperatur (bis 20 °C) des Wassers für die Koloniezahlerhöhung im Netz nur eine untergeordnete Bedeutung. Hauptursache für Koloniezahlerhöhungen sind Änderungen der Betriebsbedingungen, die zu einer Störung des Biofilms oder der Nährstoffsituation geführt haben. Dies gilt, sofern sie nicht durch Einträge von außen, bei



Abb. 3: Module zur Anreicherung von Bakterien bei der Probenahme

Quelle: TZW

denen in der Regel immer auch andere Indikatorparameter nachweisbar sind, verursacht wurden. Störungen des Biofilms können z. B. durch Desinfektionsmittel und Reinigungsmaßnahmen (Spülungen) verursacht werden. Die Nährstoffsituation wird z. B. durch die Bildung von Nährstoffen als Folge einer chemischen Desinfektion oder die Mobilisierung von Ablagerungen, in denen sich durch biologische und chemische Prozesse erhöhte Nährstoffkonzentrationen gebildet haben, beeinflusst. Zu einer Aufkeimung kommt es auch bei einer Stagnation in neuen Leitungen und in Leitungen ohne stabilem Biofilm. In diesen Fällen findet eine Vermehrung im Wasserkörper enthaltener koloniebildender Bakterien an den Leitungsoberflächen, verbunden mit einer verstärkten Abgabe in den Wasserkörper, statt.

Hieraus ergeben sich folgende Empfehlungen für den Netzbetrieb im Hinblick auf die Vermeidung und Beurteilungen von Koloniezahlerhöhungen [16]:

- Ist eine Desinfektion nach der Aufbereitung erforderlich, ist auf eine stabile Desinfektionsmittelrestkonzentration vor der Abgabe ins Netz zu achten. Schwankungen beeinträchtigen die Ausbildung eines stabilen Biofilms, wodurch Koloniezahlerhöhungen begünstigt werden können.
- Bei einem gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik aufbereiteten Trinkwasser bildet sich unter stabilen Betriebsbedingungen im Netz ein stabiler Biofilm aus. Deshalb ist eine Desinfektion im Trinkwassernetz bzw. die Aufrechterhaltung einer Desinfektionsmittelrestkonzentration zur Vermeidung einer Koloniezahlerhöhung nicht erforderlich. Unter Umständen kann diese Desinfektion durch Destabilisierung des Biofilms oder Nährstoffbildung sogar eine Koloniezahlerhöhung hervorrufen.
- Bei der In- bzw. Außerbetriebnahme einer chemischen Desinfektion können vorübergehend (mehrere

Wochen) erhöhte Koloniezahlen auftreten. Ursache ist die Umbildung des Biofilms. Erhöhte Koloniezahlen nach einer In- bzw. Außerbetriebnahme einer Desinfektion sollten keinen Anlass für eine Erhöhung der Desinfektionsmittelzugabe geben. Es sollte die Biofilmbildung abgewartet werden. Bei Außerbetriebnahmen sollte die Desinfektionsmittelzugabemenge schrittweise abgesenkt und ein begleitendes Überwachungsprogramm durchgeführt werden.

- Bei einem gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik gewonnenen und aufbereiteten Trinkwasser bildet sich unter stabilen Betriebsbedingungen ein stabiler Biofilm im Netz aus. Selbst in langsam durchflossenen Bereichen kommt es im Regelfall zu keiner Koloniezahlerhöhung. Ein zusätzlicher Wasseraustausch in stagnierenden Bereichen zur Vermeidung einer Koloniezahlerhöhung ist unter diesen Bedingungen nicht erforderlich. Ein Wasseraustausch in einem bestimmten Intervall kann allerdings zur Vermeidung von sensorischen Beeinträchtigungen (Geschmack, Geruch, Färbung) erforderlich sein.
- Durch den Eintrag von Partikeln über das Trinkwasser sowie durch die Korrosion in Leitungen aus ungeschützten Eisenwerkstoffen kommt es im Netz zur Bildung von Ablagerungen, sofern Fließgeschwindigkeiten von  $< 0,3$  m/s (Tagesspitze) vorliegen. In Ablagerungen können sich Nährstoffe und Bakterien, die über die Koloniezahl erfasst werden, sowie coliforme Bakterien anreichern. Diese können bei einer Mobilisierung freigesetzt werden und zu mikrobiologischen Befunden führen. Ablagerungen sollten daher in angemessenen Zeitabständen durch Spülungen entfernt werden. Eine Spülung kann zu einer Schädigung des stabilen Biofilms führen, wodurch nachfolgend insbesondere in langsam durchflossenen Leitungen erhöhte Koloniezahlen auftreten können. Dieser Effekt

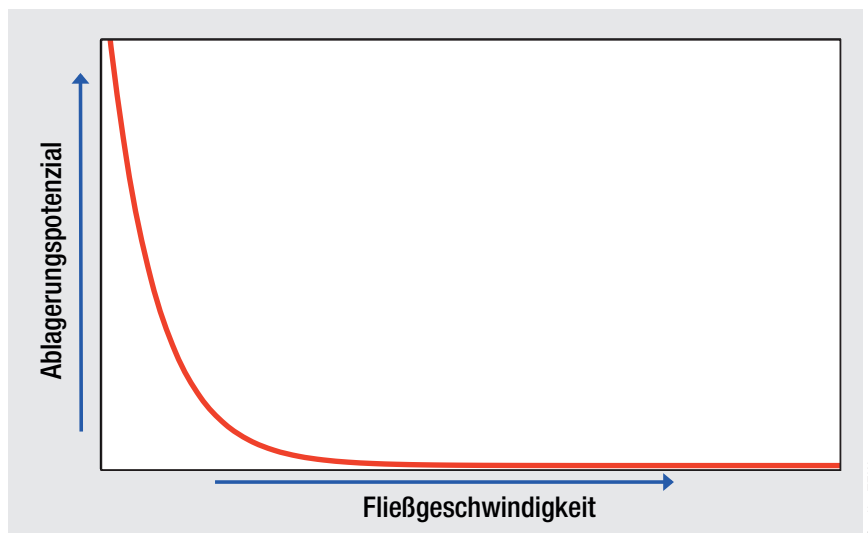
ist bei der Bewertung der Messwerte zu berücksichtigen. Stabile Koloniezahlen liegen erfahrungsgemäß wieder nach etwa zwei Wochen vor. Auf zusätzliche Spül- und Desinfektionsmaßnahmen ist zu verzichten. Treten anhaltend erhöhte Koloniezahlen auf, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.

- Eine Redimensionierung von Leitungen ausschließlich unter dem Gesichtspunkt der Vermeidung von Koloniezahlerhöhungen ist nicht erforderlich. Eine Redimensionierung, aus der höhere Fließgeschwindigkeiten in den Leitungen resultieren, wirkt sich allerdings positiv auf die Vermeidung von Ablagerungen aus und führt zur Vermeidung von sensorischen Beeinträchtigungen (Geschmack, Geruch, Färbung).
- Kommt es in zuvor durchflossenen Leitungen vorübergehend zur Stagnation (z. B. in Folge von Absperungen bei Bau- und Reparaturmaßnahmen), so kann die Wiederinbetriebnahme dieser Leitungen aus mikrobiologischer Sicht ohne vorherige Spül- oder Desinfektionsmaßnahmen durchgeführt werden (sofern keine Öffnung wasserführender Anlagen stattgefunden hat). Während der Stagnation kann es allerdings zu einer sensorisch wahrnehmbaren Veränderung der Wasserbeschaffenheit kommen. In einem solchen Fall ist ein Wasseraustausch zu empfehlen. Sollten in der Leitung lose Ablagerungen vorhanden sein, besteht das Risiko ihrer Mobilisierung bei der Inbetriebnahme. In diesem Fall ist eine Spülung zum Austrag der Ablagerungen durchzuführen.
- Neue Leitungen sind vor der Inbetriebnahme generell zu spülen und gegebenenfalls zu desinfizieren. In einer neuen Leitung ist zunächst kein stabiler Biofilm vorhanden, daher können bei Stagnation erhöhte Koloniezahlen auftreten. Die Beprobung für die Freigabe einer Leitung sollte in einem Zeitfenster von  $< 24$  Stunden nach der Spülung/Befüllung durchgeführt werden. Erhöhte Koloniezahlen unmittelbar nach



der Spülung/Befüllung weisen auf eine Verunreinigung in der Leitung, auf eine Mobilisierung von Ablagerungen in vorgelagerten Leitungen oder auf eine ungeeignete Probenahmestelle hin. Treten in einer neuen Leitung anhaltend erhöhte Koloniezahlen auf, die nicht auf Verunreinigungen zurückzuführen sind, sollte das Wasser zur Stabilisierung des Biofilms über einen Zeitraum von mehreren Wochen regelmäßig ausgetauscht werden. Diese Maßnahme sollte von regelmäßigen Beprobungen begleitet werden.

- Eine nicht durchflossene Leitung sollte nach Möglichkeit wegen der nicht auszuschließenden Entstehung von reduktiven Bedingungen vom Netz getrennt werden. Aus solchen Abschnitten sind zwar keine Koloniezahlerhöhungen für das Netz zu erwarten, ein Wasser-austausch in einem bestimmten Intervall kann allerdings zur Vermeidung von sensorischen Beeinträchtigungen erforderlich sein. Ist die Abtrennung nicht möglich, ist eine regelmäßige Spülung solcher Abschnitte weniger zur Vermeidung erhöhter Koloniezahlen als vielmehr zur Verhinderung von Braunwasserbildung usw. nach betrieblichen Erfahrungswerten erforderlich.
- Erhöhte Koloniezahlen können als Folge der Art der Entnahmestelle auftreten. Zur Feststellung der Wasserbeschaffenheit im Netz haben sich Probenahmestellen in Anlagen des Wasserversorgers (Behälter, Druckstationen usw.) oder die Installation eines geeigneten Probenahmehahns an Hausanschlussleitungen vor dem Wasserzähler bewährt. Beprobungen an Hydranten können dagegen unter Umständen mikrobiologische Befunde aufweisen, die lediglich auf eine Verunreinigung der Probenahmeverrichtung zurückzuführen sind und nicht mit der Wasserbeschaffenheit im Verteilungsnetz korrelieren. Die Beprobungen sind generell durch geschulte Mitarbeiter durchzuführen.



Quelle: TZW

Abb. 4: Zusammenhang zwischen dem Ablagerungspotenzial in Leitungen und der Fließgeschwindigkeit

### Beseitigung von Ablagerungen – Spülstrategien

Ablagerungen in Leitungen und Behältern können sowohl die Ursache von Braunwasser als auch von mikrobiologischen Auffälligkeiten und dem verstärkten Auftreten tierischer Organismen sein.

Ablagerungen bilden sich durch den Eintrag insbesondere von Eisen und Mangan mit dem Trinkwasser und die Korrosion in ungeschützten Guss- und Stahlleitungen. Ein verstärkter Eintrag ist insbesondere in Stahlleitungen und Graugussleitungen der zweiten Generation sowie Duktilgussleitungen der ersten Generation zu verzeichnen.

Die potenzielle Ablagerungsmenge in den Leitungen ist begrenzt. Diese wird maßgeblich von der Fließgeschwindigkeit bestimmt. Durch [17] wurde der Zusammenhang zwischen der Fließgeschwindigkeit und der abgelagerten Menge an Trübstoffen ermittelt und ein mathematischer Ansatz, der eine Berechnung des Ablagerungs- und Mobilisierungspotenzials in Leitungen ermöglicht, entwickelt. Den grundsätzlichen Zusammenhang zeigt **Abbildung 4**.

Bei sehr niedrigen Fließgeschwindigkeiten ist danach ein deutlich erhöhtes Ablagerungspotenzial in den Leitun-

gen vorhanden. Damit verbunden ist sowohl ein erhöhtes Mobilisierungsrisko bei Durchsatzschwankungen als auch ein erhöhtes mikrobiologisches Risiko. Untersuchungen von Sedimenten zeigen, dass diese erhöhte Nährstoffkonzentrationen aufweisen. Ursache ist vermutlich die Bildung biologisch leicht abbaubarer Stoffe als Zwischenprodukte des biologischen Abbaus von Huminstoffen bzw. elektrochemischer Reaktionen, wie sie bei der Korrosion metallischer Werkstoffe ablaufen. Erhöhte Nährstoffgehalte führen zu einer erhöhten bakteriologischen Besiedlung und damit auch zu einem erhöhten Risiko zur Ansiedlung von Invertebraten. Mit der Ablagerungsbildung und dem damit verbundenen Risiko des Auftretens anoxischer Zonen wächst auch das Risiko der Vermehrung von coliformen Bakterien, wenn diese bei Störfällen in das Leitungsnetz gelangen. Um dies zu verhindern, sollten die Ablagerungen durch eine Spülung aus dem Leitungsnetz entfernt werden, bevor sie zu einer Beeinträchtigung der Wasserqualität führen.

Grundsätzlich sollte die Spülung mit klarer Wasserfront (unidirektional) mit eindeutiger Vorgabe der Fließrichtung durchgeführt werden, um ausreichende Spülgeschwindigkeiten zu erreichen und die Mobilisierung von Ablagerungen in anderen Leitungen,



**Abb. 5:** Untersuchungsfahrzeug mit Spülplan FlushInspect zur Erfassung von Trübung und Durchfluss bei der Spülung



Quelle: TZW

die zu länger anhaltenden Braunwasser führen könnten, zu verhindern. Darüber hinaus besteht für die Abnehmer an der zu spülenden Leitung nur kurzzeitig die Gefahr von Braunwasser. Bei einer Spülgeschwindigkeit von 1 m/s werden für den Austrag des ersten Rohrvolumens, welches das höchste Braunwasserisiko darstellt, bei einer Strecke von ca. 300 Metern nur 5 Minuten benötigt. Vor Beginn der Spülungen ist ein Spülplan zu erarbeiten, der die Reihenfolge der zu spülenden Leitungen sowie die zu verändernden Schieberstellungen beinhaltet. Ausgangspunkt der Spülung sollte das Wasserwerk, ein Behälter oder eine größere Transportleitung sein, um eine Mobilisierung von Ablagerungen im vorgelagerten Netzbereich zu verhindern. Auf Grundlage des Spülplanes können 15 bis 20 Kilometer Netz pro Woche gereinigt werden.

Vorteilhaft ist die Durchführung einer zustandsorientierten Netzspülung, die darauf basiert, dass die Spülung einzelner Netzbereiche dann durchgeführt wird, wenn die Ablagerungsbildung ein kritisches Potenzial erreicht [17]. Um die erforderlichen Spülintervalle festzulegen, muss die Geschwindigkeit der Anreicherung der Ablagerungen in einzelnen Leitungen ermittelt werden. Hierzu werden systematische Spülungen der zu betrachtenden Netzbereiche durchgeführt und dabei über eine Online-Messung des Durchsatzes und der Trübung die Ablagerungsmengen erfasst (Abb. 5). Die Verknüpfung der Daten mit den Leitungskordinaten ermöglicht die exak-

te Visualisierung der Ablagerungssituation, wobei die zur Bildung von Ablagerungen neigenden Leitungen identifiziert werden. Mit einem Berechnungsmodul, das neben den Untersuchungsdaten den Effekt der Hydraulik auf die Ablagerungsbildung und Mobilisierung sowie den Temperatureinfluss auf die Korrosion berücksichtigt, werden die Spülintervalle berechnet.

Für den Austrag von losen Eisenverbindungen, die das Hauptrisiko für Gütebeeinträchtigungen des Trinkwassers darstellen, sind in der Regel relativ niedrige Spülgeschwindigkeiten von 0,5 m/s ausreichend. Dabei wird mit einem Leitungsvolumen der überwiegende Anteil loser Ablagerungen ausgetragen. Ein effektiver Austrag von Sand findet bei Positionierung des Hydranten oben auf der Leitung ab einer Fließgeschwindigkeit von 1 m/h statt. Durch eine Luft/Wasser-Impulsspülung kann ein verstärkter Ablöseeffekt von haftenden Belägen sowie ein verbesserter Austrag schwerer Partikel, wie Sand, erreicht werden. Zu beachten ist die abschließend erforderliche Entfernung der Luft. Auf die Bildungsgeschwindigkeit loser Ablagerungen, die letztendlich den Spülzyklus bestimmen, hat das eingesetzte Spülverfahren keinen Einfluss. Detailliertere Hinweise zur Leistungsfähigkeit der Spülverfahren gibt [18].

Der vorliegende Beitrag basiert auf einem Beitrag der Autoren im Handbuch „Trinkwasser aktuell“ des Erich Schmidt Verlags. ■

#### Literatur

- [1] Byappanahalli M. N., Nevers M. B., Korajcik A., Staley Z. R., Harwood V. J. (2012): Enterococci in the environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 76, 685-706.
- [2] Charrier M., Fonty G., Gaillard-Martinie B., Ainouche K., Andant G. (2006): Isolation and characterization of cultivable fermentative bacteria from the intestine of two edible snails, *Helix pomatia* and *Cornu aspersum* (Gastropoda: Pulmonata). *Bio. Res.* 39: 669-681.
- [3] Korth A., Petzoldt H., Nitsche R., Hamsch B., Hügler M. (2013): Enterokokkenbelastungen im Trinkwasser – Ursachenanalyse. *DVGW energie | wasser-praxis* 64, Nr. 9, S. 54–60.
- [4] Svec P., Devriese L. A., Sedlacek I., Baelo M., Vancanneyt M., Haesebrouck F., Swings J., Doskar J. (2002): Characterization of yellow-pigmented and motile enterococci isolated from intestines of the garden snail *Helix aspersa*. *J. Appl. Micro.* 92: 951-957.
- [5] Korth A., Petzoldt H., Nitsche R., Hamsch B., Hügler M. (2012): Enterokokkenbelastungen im Trinkwasser – Ursachenanalyse. Abschlussbericht DVGW-Forschungsvorhaben W3/01/11.
- [6] Hügler M., Petzoldt H., Nitsche R., Hamsch B., Korth A. (2014): Mosquitoes as source for enterococci in drinking water samples. In: IWA World Water Congress & Exhibition 2014, Lisbon, Portugal, September 21–26, 2014, Proceedings.
- [7] TrinkwV 2001 (2016): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001), Neugefasst durch Bek. v. 10.03.2016.
- [8] Vital M., Hammes F., Egli Th. (2012): Competition of *Escherichia coli* O157 with a drinking water bacterial community at low nutrient concentrations. *Water research* 46, S. 6279–6290.
- [9] Umweltbundesamt (UBA) (2015): Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 TrinkwV 2001.
- [10] Korth A., Petzoldt H., Böckle K., Hamsch B. (2007): Coliforme Umweltkeime in Trinkwasserverteilungssystemen. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W06/03/04.
- [11] Korth A., Petzoldt H., Böckle K., Hamsch B. (2008): Coliforme Bakterien in Trinkwasserverteilungssystemen – Vorkommen, Anreicherung und Vermehrung. *DVGW energie | wasser-praxis* 59, Nr. 4, S. 40–44.
- [12] DVGW-Arbeitsblatt W 270 (2007): Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich – Prüfung und Bewertung.
- [13] Hamsch B., Hügler M., Petzoldt H., Korth A. (2014): *Pseudomonas aeruginosa* in Trinkwassersystemen – Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W6/02/09.
- [14] DVGW-Arbeitsblatt W 291 (2000): Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen.
- [15] Henning, L., Korth, A. (2013): Planung und Betrieb von Trinkwasserverteilungssystemen im Hinblick auf die Vermeidung von Aufkeimungserscheinungen. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W6/01/05 in TZW-Schriftenreihe, Band 57.
- [16] DVGW-Information Wasser Nr. 81 (2013): Planung, Bau und Betrieb von Wasserversorgungssystemen unter dem Blickwinkel der Bewertung und Vermeidung von Aufkeimungserscheinungen.
- [17] Richard S., Korth A., Wricke B. (2010): Minimierung sedimentbürtiger Gütebeeinträchtigungen durch modellgestützten Rohrnetzbetrieb, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 6/03/05 in TZW-Schriftenreihe, Band 48.
- [18] Donath, O., Korth, A. (2015): Bewertung von Spülverfahren für Trinkwasserleitungen, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 6/01/07 in TZW-Schriftenreihe, Band 69.

#### Weiterführende Literatur:

- DIN-EN 1717 (2011): Schutz des Trinkwassers vor Verunreinigungen in Trinkwasser-Installationen und allgemeine Anforderungen an Sicherheitseinrichtungen zur Verhütung von Trinkwasserverunreinigungen durch Rückfließen.
- DVGW-Arbeitsblatt W 300-1 (2014): Trinkwasserbehälter; Teil 1: Planung und Bau.

- DVGW-Arbeitsblatt W 300-2 (2014): Trinkwasserbehälter; Teil 2: Betrieb und Instandhaltung.
- DVGW-Arbeitsblatt W 400-1 (2015): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 1: Planung.
- DVGW-Arbeitsblatt W 400-2 (2004): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 2: Bau und Prüfung.
- DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 (2006): Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV); Teil 3: Betrieb und Instandhaltung.
- DVGW-Hinweis W 1001 (2008): Sicherheit in der Trinkwasserversorgung, Risikomanagement im Normalbetrieb.
- DVGW-Hinweis W 1001-B1 (2011): Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risikomanagement im Normalbetrieb – Beiblatt 1: Umsetzung für Wasserverteilungsanlagen.
- Korth A., Henning L., Wricke B. (2007): Erhöhte Koloniezahlen im Trinkwasserverteilungssystem – Ursachen und Gegenmaßnahmen. *bbr Brunnenbau | Leitungsbau | Geothermie* Nr. 12, S. 78–83.
- Korth A., Richardt S., Wricke B. (2007): Optimierung der Rohrnetzspülung, *gwf* 148, Nr. 10, S. 704–708.

## EWE-FLEXORIPP WASSERZÄHLER-SCHACHT



1977

1995

1993

2016



Besuchen Sie uns:  
**Halle 3,  
Stand C 6.3**



### Die Autoren

**Dr.-Ing. Burkhard Wricke** ist Leiter der Außenstelle Dresden des TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser.

**Dr. rer. nat. Andreas Korth** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser in der Außenstelle Dresden.

#### Kontakt:

Dr.-Ing. Burkhard Wricke  
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Außenstelle Dresden  
Wasserwerkstr. 2  
01326 Dresden  
Tel.: 0351 85211-0  
E-Mail: burkhard.wricke@tzw.de  
Internet: www.tzw.de

- innovative Rippentechnik
- stabil und belastbar
- variable Bauhöhe
- wenig Dichtstellen
- tausch- und umrüstbare Einbauten



[www.ewe-armaturen.de](http://www.ewe-armaturen.de)