

# Zum Stand der Anwendung von Online-Sensoren für die Trinkwasserüberwachung in deutschen Wasserwerken

Aufgrund der auf dem internationalen Markt angebotenen Vielfalt von Analysetechniken für den Online-Einsatz und der sich damit schnell verändernden Möglichkeiten ihres Betriebes war es erforderlich, die aktuelle Situation in deutschen Wasserwerken zu erfassen. Dazu zählen auch die von den Anwendern selbst eingeschätzten zukünftigen Anforderungen an die Online-Technik. Zu diesem Zweck wurde eine repräsentative Umfrage bei einer Reihe deutscher Versorger durchgeführt. Die Auswahl berücksichtigte unterschiedliche Rohwassergrundlagen und Aufbereitungsverfahren sowie auch die Größe der Anlagen.

von: Dr. Wido Schmidt & Dr. Martin Wagner (beide: TZW Karlsruhe, Außenstelle Dresden)

Die Überwachung und Kontrolle der Trinkwasseraufbereitung basiert in der Regel auf aufeinander abgestimmten Analysenprogrammen. Die Erhebung der Daten unterliegt einer strengen und gut entwickelten Qualitätskontrolle. Wesentlich dazu beigetragen hat die Tatsache, dass die überwiegende Zahl der Wasserwerks-Laboratorien für die Untersuchungen akkreditiert wird und sich von daher an festgelegten Abläufen orientiert.

Daneben sind Geräte, die vor Ort im Wasserwerk die Qualität des Wassers und den Prozess der Aufbereitung überwachen und steuern, d. h. also vor-Ort-Messgeräte und speziell die fest installierten Geräte zur zeitnahen, sofortigen Überwachung verschiedenster Parameter (hier definiert als Online-Betrieb), sehr häufig im Einsatz. Diese Geräte befinden sich ständig oder zeitweilig nicht im Bereich eines akkreditierten Labors.

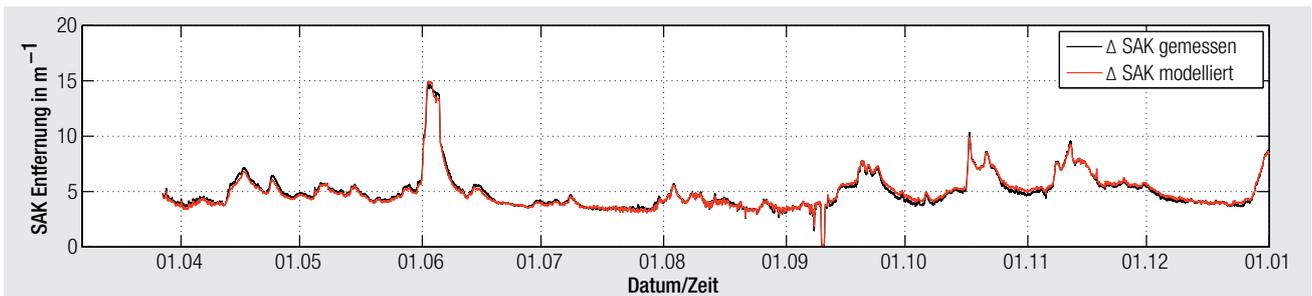
In der Regel sind die Geräte vollständig automatisiert und produzieren vergleichsweise hohe Datenmengen, welche durch geeignete kommerziell verfügbare Software in der Leit-

warte bzw. direkt vor Ort in geeigneter Form zusammengefasst und grafisch dargestellt werden können. Damit wird ein schnelles Erkennen der jeweils aktuellen Situation ermöglicht. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die zeitnahe Steuerung und Optimierung der Prozesse.

Um die aktuelle Situation in Deutschland zum Stand des Einsatzes von Online-Sensoren und zum Umgang mit der zeitnahen Datenerfassung in der Trinkwasseraufbereitung darstellen zu können, wurden repräsentative deutsche Versorger dazu befragt. Im Mittelpunkt der Befragung standen:

- die Motivation der Unternehmen bezüglich des Einsatzes der Sensoren,
- die Fabrikate der Sensoren,
- der Umgang mit den Daten,
- die Qualitätssicherung sowie
- die zukünftigen Anforderungen an Sensoren.

Eine zeitnah durchgeführte Studie im Auftrag des Global Water Research Center (GWRC) zum Thema „Online-Sensorik“ im internatio-



Quelle: TZW, Außenstelle Dresden

Abb. 1: Modellierung der SAK<sub>254</sub>-Reduzierung im Verlauf einer Aufbereitung anhand routinemäßig erhobener Online-Messdaten des Rohwassers (pH, T, LF, Tr, O<sub>2</sub>, SAK<sub>254</sub>)

nalen Maßstab hatte zwar eine breite Anwendung (auch Abwasser) zum Inhalt, war jedoch im Grundanliegen mit dieser Studie vergleichbar [1]. Daher war es sinnvoll, die Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Ergebnis zwischen deutschen Anwendern und Versorgungsunternehmen aus dem Ausland herauszuarbeiten.

Eine Auswertung und Bewertung des Standes der Online-Sensorik erfolgte auf Basis des Rücklaufs eines Fragebogens von den Versorgungsunternehmen sowie anhand persönlicher Gespräche mit den verantwortlichen Mitarbeitern vor Ort. Darüber hinaus wurden im Verlauf des DVGW-Projekts einzelne von Versorgungsunternehmen zur Verfügung gestellte Datensätze gezielt ausgewertet und miteinander verknüpft. Im Mittelpunkt stand dabei das beispielhafte Erkennen zusätzlicher Informationen zur Beschaffenheit der Wasserqualität bzw. des Aufbereitungsprozesses, welche durch die Sensoren nicht direkt erfasst werden.

Die bearbeiteten Fallstudien auf der Basis der Online-Daten beinhalteten die Modellierung der SAK<sub>254</sub>-Reduktion im Verlauf einer Wasseraufbereitung sowie die Modellierung der Chloritbildung in einem Verteilungsnetz nach einer Desinfektion mit Chlordioxid. Die Auswerteverfahren basierten auf multivariat-statistischen Algorithmen.

## Ergebnisse

### Befragte Wasserwerke

An der Umfrage beteiligten sich Versorgungsunternehmen mit unterschiedlicher Rohwassergrundlage (Grundwasser, Uferfiltrate einschließlich Flusswasser sowie Talsperrenwasser einschließlich Seewasser). Die Aufbereitung berücksichtigte einfache konventionelle Schritte (Flockung, Filtration) sowie erweiterte Verfahren, wie die chemisch-oxidative Behandlung und die Aktivkohlefiltration. Zudem wurden Membranverfahren berücksichtigt. Um die Informationen zur Sensorik bei der Verteilung des Wassers zu erhalten, wurden regionale und überregionale Versorger befragt.

### Motivation der Unternehmen und Einsatz von Online-Sensoren

Die Online-Erfassung von Analysenparametern im Bereich der Trinkwasseraufbereitung ist in den Wasserwerken ein etabliertes Element, welches von den Versorgern zunehmend als bedeutend eingestuft wird. Zu den Parametern, die neben der Temperaturmessung in nahezu jedem Wasserwerk unabhängig von der Größe und der Rohwassergrundlage als „Standardgrößen“ fungieren, zählen besonders der pH-Wert, die Trübung und die elektrische Leitfähigkeit. Im Fall der Aufbereitung von Oberflächenwasser wird in der Regel der SAK<sub>254</sub> online erfasst. Zudem wird die

Desinfektion mit chlorhaltigen Mitteln stets über Online-Messungen überwacht.

Die überwiegende Zahl der Antworten zeigt an, dass Online-Messgeräte sowohl für die Qualitätsüberwachung als auch für die Steuerung der Prozesse benutzt werden. Zu den Überwachungsgrößen zählen die Vorgaben der Trinkwasserverordnung und von den Unternehmen selbst gesetzte Ziele, wie beispielsweise eine Trübung von < 0,1 FNU im Reinwasser.

Zu den wichtigsten Größen für die Prozesssteuerung der Aufbereitung zählen die Anzeigen von pH-Sensoren, beispielsweise zum Zweck der Steuerung des Flockungsmittel-pH-Wertes mittels Kalkmilchdosierung bzw. des Sättigungs-pH-Wertes über eine Natronlaugedosierung.

Im Fall der Aufbereitung von Oberflächenwasser wird verbreitet der SAK<sub>254</sub> zur Steuerung der Rohwasserentnahme genutzt. Vereinzelt wird über diesen Parameter die Flockungsmittelzugabe gesteuert. Die Feineinstellung der Desinfektion erfolgt häufig auf Basis der Anzeigen der Chlor- bzw. Chlordioxidensoren. Wasserwerke mit einer Ozonung steuern diese über die Anzeige der Ozonmessgeräte. Vornehmlich werden Online-Sensoren jedoch zum Monitoring, d. h. zum Zweck der Qualitätsüberwachung genutzt. Dies betrifft allerdings jene Parameter



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 12**, enthält Beiträge zu den Themen Werkzeuge, Software und Fußbodenheizung und stellt neue Produkte aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus u.a. mehr zu den Themen:

- **Tagung**  
Forum GMS
- **Regeltechnik**  
Wissen wohin die Energie fließt
- **Hotel-Bad**  
Hightech im Schweizer Bergdorf

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter [www.sht-online.de](http://www.sht-online.de)  
Kostenloses Probeheft unter [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de)

(pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, Trübung), die nicht direkt eine humantoxikologisch kritische bzw. mikrobiologische Verunreinigung anzeigen können und somit bestenfalls als deren Indikatoren dienen.

Bei der Verteilung des Wassers, d. h. an verschiedenen Stellen im Leitungsnetz bzw. in Hochbehältern, werden demgegenüber vergleichsweise weniger Online-Geräte eingesetzt.

**Sensoren/Fabrikate**

Die Erfassung der Fabrikate der Sensoren zeigt, dass sich die Unternehmen bemühen, die Technik von möglichst wenigen Herstellern zu beziehen. Dies ist ökonomisch sinnvoll und macht eine Zentralisierung und Vereinheitlichung der Wartung möglich. In vielen Fällen sind die Sensoren seit mehr als zehn Jahren sehr zuverlässig in Betrieb.

Die Produkte der Hersteller sind nach Aussagen der Anwender für die jeweiligen Parameter im Online-Betrieb sehr gut geeignet und auf einem technisch einwandfreiem Niveau.

**Datenübertragung, -ablage und -auswertung**

Die befragten Versorgungsunternehmen verfügen ausnahmslos über Leitstände, wo sämtliche Online-Daten am Computer eingesehen werden können. Für die Auswertung der Daten sind in den Software-Paketen der Leitwarten verschiedene Optionen vorgesehen. Diese reichen von der Visualisierung täglicher Zeitreihen bis zu verschiedenen einfachen statistischen Auswerteverfahren. Eine weitergehende Auswertung, beispielsweise über

erweiterte Statistik und Zeitreihenanalysen, steht nicht im Mittelpunkt der Arbeiten der Leitwarte bzw. der verantwortlichen Mitarbeiter. Eine einheitliche Ablage der Daten erfolgt nicht.

**Qualitätssicherung**

Die Qualitätssicherung der Sensoren erfolgt generell parameterspezifisch und wird von den Unternehmen in ihrer Priorität sehr hoch eingestuft. In der Regel sind die Verantwortlichkeiten klar definiert. Bei der überwiegenden Zahl der Antworten wurde angegeben, dass geschulte Labormitarbeiter oder Wasserwerkspersonal die Verantwortung für die Sensoren tragen. Der Personalaufwand wird im Allgemeinen als „hoch“ beschrieben, ohne diesen jedoch exakt zu beziffern.

Die Entscheidung über erforderliche Korrekturen an den Sensoren basiert auf Festlegungen, die sich an den Regeln akkreditierter Laboratorien orientieren. Viele Unternehmen haben Grenzen für die Abweichungen zwischen Anzeige und Sollwert festgelegt, wobei diese in der Regel über eine Vergleichsmessung mit einem kalibrierten Referenzgerät überprüft wird.

**Anforderungen an Online-Sensoren**

Die Versorgungsunternehmen sind mit der verfügbaren Technik zufrieden. Es wird betont, dass die Bedienung der Sensorik einschließlich deren Kalibrierung als leicht und verständlich eingeschätzt wird. Verbesserungswürdig wären nach Angaben der Anwender hingegen das Anzeigen von Fehlfunktionen, die Langzeitstabilität bei einzelnen Parametern sowie der Service der Hersteller.

Ausbaufähig ist vor allem die empfindliche und stabile Messung von Desinfektionsmittelrestgehalten, d. h. von Chlor, Chlordioxid oder eines Gemischs beider Komponenten im niedrigen Konzentrationsbereich (0,1 mg/l Chlor; 0,05 mg/l Chlordioxid).

Die Beantwortung der Fragen nach der gewünschten zukünftigen Entwicklung der Sensorik ergibt ein differenziertes Bild. Danach sind für anorganische Parameter keine Neuentwicklungen notwendig. Eine Ausnahme bildet die Online-Sensorik von Chlort. Obwohl Technik auf dem Markt angeboten und auch eingesetzt wird, sollte auf diesem Gebiet laut Aussagen der Wasserversorger eine weitere Entwicklung folgen. Im Fall organischer Parameter ist der Bedarf hingegen höher. Hier werden insbesondere TOC-Parameter erfragt. Bedarf besteht zudem in der zeitnahen Bestimmung mikrobiologisch relevanter Größen. Die Online-Sensorik von organischen Einzelstoffen spielt hingegen keine nennenswerte Rolle. Einen Bedarf sehen die Unternehmen jedoch bei der Erfassung von Parametern, die zeitnahe Informationen zur Steuerung der Pulverkohledosierung und für Frühindikatoren bei organoleptischer Beeinträchtigung liefern.

Die Möglichkeiten einer systematischen Auswertung der Daten zum Zweck des Erkennens der Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern ist allen Anwendern bekannt, wird aber dennoch aus Gründen fehlender Anwendungswerkzeuge und Kapazitäten bisher noch wenig genutzt. Es werden insgesamt Handlungsempfehlun-

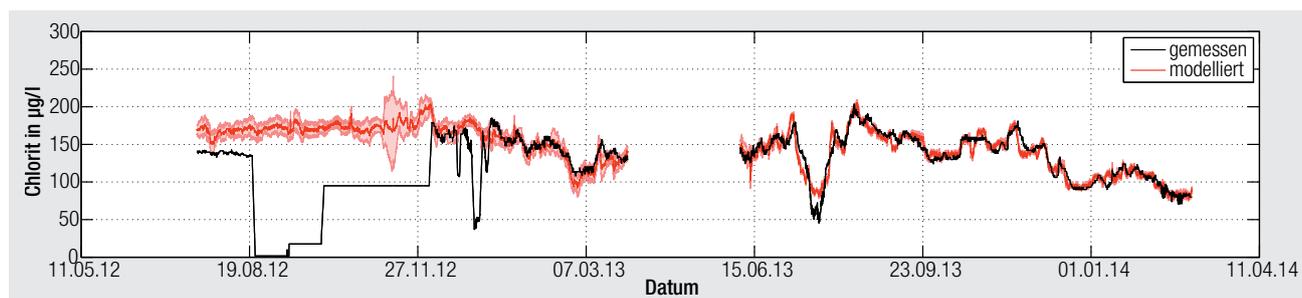
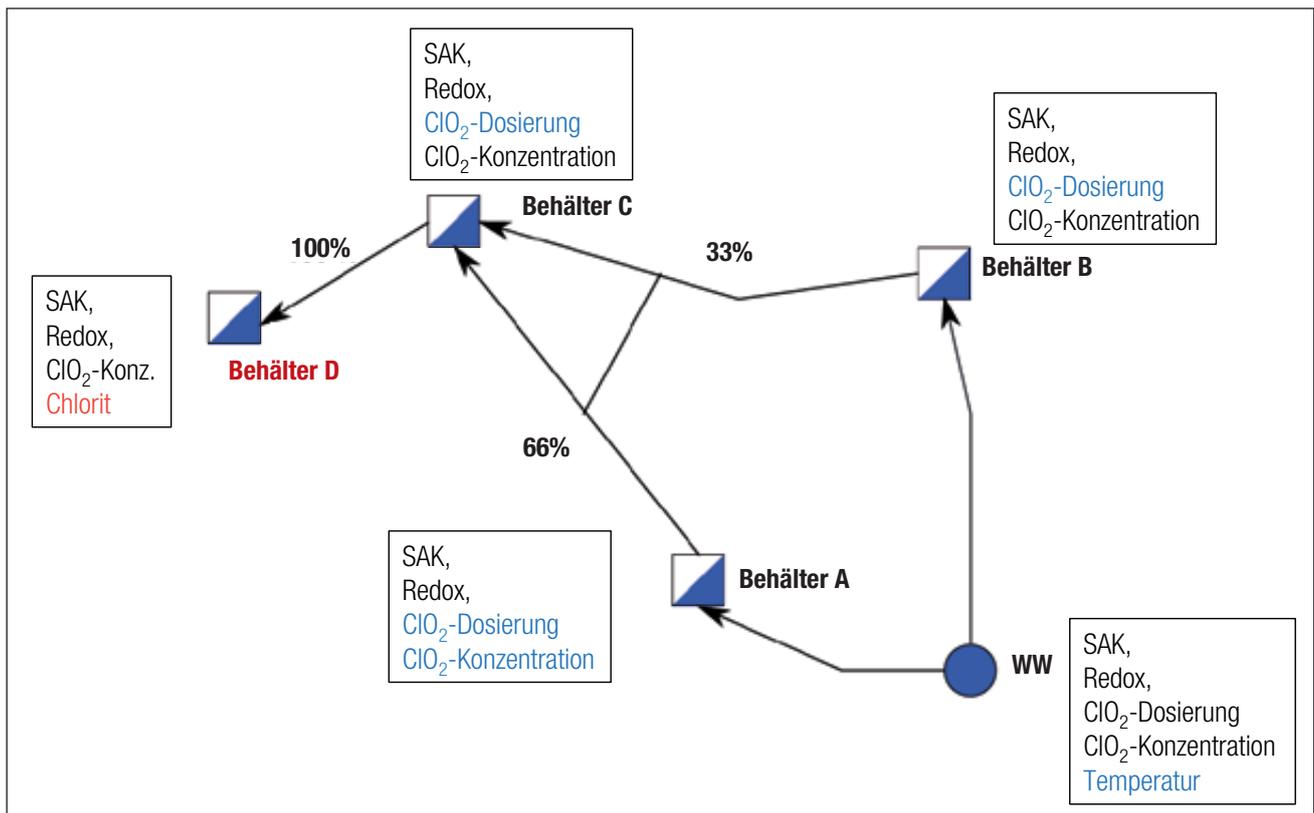


Abb. 2: Modellierung der Chloritbildung nach der Chlordioxiddosierung in einem Behälter eines Trinkwassernetzes

Quelle: TZW, Außenstelle Dresden



Quelle: TZW, Außenstelle Dresden

gen für die erweiterte Datenauswertung zum Zweck des Erkennens der Zusammenhänge und der darin enthaltenen Informationen gewünscht.

#### Vergleich der deutschen Situation mit internationalen Trends

Übereinstimmend wird die Entwicklung von Fingerprintsensoren zum Zweck tiefergehender spezifizierender Aussagen als wichtig und zukunftsweisend angesehen. Das Ziel besteht darin, möglichst selektive Informationen zu organischen Wasserbestandteilen zu erhalten. Ein dringender Bedarf wird von beiden Seiten bei der zeitnahen Erfassung biologischer bzw. mikrobiologischer Parameter gesehen.

Bei der Auswahl der Sensoren haben deutsche Anwender im Gegensatz zu ihren ausländischen Kollegen in der Regel keine Probleme. Der Markt ist vergleichsweise übersichtlich aufgestellt. Zudem wissen die Anwender sehr genau was sie mit dem Sensor erreichen wollen.

In vielen Ländern wird eine verbesserte Gefahren- bzw. Alarmerkennung über Online-Sensoren angestrebt. In Deutschland würden die Unternehmen dies auch begrüßen. Die breit eingesetzte Technik kann aber derzeit bestenfalls als Indikator einer sich andeutenden Gefahr verstanden werden.

Die erweiterte Auswertung großer Datenmengen mit dem Ziel eines zeitnahen Informationszuwachses wird von beiden Seiten als zukunftsfruchtig gesehen. Eine klare Linie für die dafür erforderliche Datenbearbeitung existiert bisher nicht.

#### Potenzial von Online-Daten

Unter diesem Gesichtspunkt wurden in diesem Projekt zwei Fallbeispiele bearbeitet. Die Ergebnisse zeigen die **Abbildungen 1 bis 3**. In **Abbildung 1** wird beispielhaft dargestellt, dass anhand routinemäßig erhobener, einfacher Online-Messdaten des Rohwassers eine genaue Modellierung der SAK-Reduzierung im Verlauf einer Aufbereitung möglich ist. In **Abbildung 2** sind die im Netz modellierten Chloritkonzentrationen nach einer Desinfektion mit Chlordioxid dargestellt. Es kann gezeigt werden, dass mit Hilfe eines Modells eine sehr genaue Prognose zu den Werten gemacht werden kann. Zudem kann anhand der Modellierung erkannt werden, welche Einflussfaktoren in diesem speziellen Fall besonders für die Chloritbildung verantwortlich sind (**Abb. 3**).

Diese Ergebnisse zeigen einen deutlichen Informationszugewinn, auch in Hinblick auf eine verbesserte Alarmerkennung (ungenügende Entfernung von organischen Stoffen am

**Abb. 3:** Topologische Übersicht zur Lage von Behältern im Untersuchungsgebiet sowie den aufgenommenen Online-Parametern. Die für die Chloritbildung im Behälter D wichtigen Parameter sind blau dargestellt.

**Tabelle 1: Zukünftige Anforderungen an Online-Sensoren**

Anforderungen an Online-Sensoren	Befragungsergebnis	
	ja in %	nein in %
Zufriedenheit mit verfügbarer Technik?	70	30
Werden Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern systematisch erfasst?	10	90
Treten temporär unlogische Sensoranzeigen auf?	5	95
Werden bessere und weitere Sensoren für anorganische Parameter benötigt?	25	75
Werden bessere und weitere Sensoren für organische Parameter benötigt?	55	45
Werden Sensoren für organische Einzelstoffe benötigt?	17	83
Werden Sensoren für biologisch relevante Parameter, z. B. AOC, Zellzahl etc., benötigt?	55	45
Befürwortung von Information über Anzeige hinaus (z. B. Korrelationsmatrizes, Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern)	85	15
Muss die Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit der vorhandenen Technik verbessert werden?	40	60
Muss die routinemäßige Datenübertragung und -auswertung sofort verbessert werden?	–	100
Ist die Bedienungsanleitung der Sensoren verständlich?	100	–
Müssen Fehlfunktionen der Sensoren besser angezeigt werden?	60	40
Ist der Service der Hersteller ausreichend?	65	35
Sind alle Kalibriervorschriften verfügbar und leicht verständlich?	95	5
Wären Sie bereit, neue Techniken zu testen?	100	–
Halten Sie die Überwachung des Trinkwasserverteilernetzes für ausreichend?	90	10

Quelle: TZW, Außenstelle Dresden

Markt verfügbare Technik mit der zurzeit praktizierten Datenauswertung nicht geeignet. Die Notwendigkeit einer Gefahrenerkennung würde laut den Angaben der Versorger dann eintreten, wenn eine unerwartete Änderung der Wasserqualität mit chemischen oder mikrobiologischen Kontaminationen zu erwarten wäre bzw. durch unvorhergesehene Ereignisse herbeigeführt werden würde. In der Zukunft werden auf dem Gebiet der Online-Sensorik die Entwicklung neuer Sensoren und die erweiterte Auswertung der vorhandenen Daten im Mittelpunkt stehen (Tab. 1). ■

### Danksagung

Die Autoren danken dem DVGW für die finanzielle Unterstützung dieser Studie sowie allen Unternehmen, die konstruktiv an der Erhebung der Informationen mitgewirkt haben.

### Literatur

[1] Van den Broeke, J., Carpentier, C., Moore, C., Carswell, L., Jonsson, J., Sivil, D., Rosen, J. S., Cade, L., Mofidi, A., Swartz, Ch. and Coomans, N.: Compendium of Sensors and Monitors and their Use in the Global Water Industry. WERF, 2014 im Auftrag von GWRC.

Beispiel des SAK<sub>254</sub> oder Überschreitung eines Grenzwertes am Beispiel des Chlorits), wenn die durch die häufig eingesetzten „klassischen“ Sensoren erzeugten Daten vertiefend ausgewertet werden.

### Fazit

Im Ergebnis der größtenteils persönlich geführten Gespräche wurde klar, dass der Einsatz von Online-Sensorik in deutschen Wasserwerken absolut als „auf der Höhe der Zeit“ zu bewerten ist. Die Qualitätssicherung und die Auswertung der Daten entsprechen den Anforderungen einer modernen Wasseraufbereitung. Mit Abstrichen betrifft dies auch die mehrheitlich als verbesserungswürdig eingeschätzte

Detektion von Desinfektionsmittelrestgehalten (Chlor, Chlordioxid). Den Anwendern ist allerdings bekannt, dass es derzeit keine besseren Lösungen auf dem Markt gibt.

Die von Online-Sensoren gewünschten Informationen für die Qualitätskontrolle des Trinkwassers und die Prozesssteuerung können unter Normalbedingungen, d. h. unter den Bedingungen des normalen Betriebs der Aufbereitung und einer vorliegenden Wasserqualität ohne Auffälligkeiten, jederzeit erhalten werden. Für eine von der überwiegenden Zahl der Nutzer befürwortete weitergehende Gefahren- bzw. Alarmerkennung über die Online-Sensorik ist die in den Unternehmen installierte und auf dem

### Die Autoren

**Dr. Wido Schmidt** und **Dr. Martin Wagner** sind Wissenschaftler an der Außenstelle des DVGW-Technologie-zentrums Karlsruhe (TZW) in Dresden.

#### Kontakt:

Dr. Wido Schmidt  
 DVGW-Technologiezentrum  
 Wasser (TZW)  
 Außenstelle Dresden  
 Wasserwerkstr. 2  
 01326 Dresden  
 Tel.: 03518 5211-43  
 E-Mail: wido.schmidt@tzw.de  
 Internet: www.tzw.de