

Wasserwirtschaft 4.0

am Beispiel des Chemieparkes Bitterfeld-Wolfen

Dr. Achim Gahr, Nils Andreas, Peter Wazinski

Endress + Hauser

Die Digitalisierung in der Wasserwirtschaft ist ein derzeit viel diskutiertes Thema, das sich u. a. mit der Frage beschäftigt, wie Konzepte und Strategien des Themenfeldes Industrie 4.0 für die Wasserwirtschaft nutzbar gemacht werden können und welche Vorteile sich daraus ergeben. Der vorliegende Beitrag greift diese Fragestellung für das Abwassermanagement des Chemieparkes Bitterfeld-Wolfen auf. Es wird gezeigt, wie auf Basis der heutigen Informations- und Kommunikationstechnologien ein modernes Abwassermanagement aufgebaut werden kann, das durch Digitalisierung und Automatisierung von Geschäftsabläufen den Anforderungen einer Wasserwirtschaft 4.0 gerecht wird. Für den Betreiber, dessen Aufgaben es sind, die ansässigen Firmen mit Nutzwasser zu versorgen, das Abwasser auflagenkonform abzuleiten und zu reinigen sowie verursachergerechte Gebühren zu erheben, ergeben sich erhebliche Vorteile hinsichtlich Prozesseffizienz, Ressourceneinsparung und Ergebnisqualität.

Von Industrie 4.0 zu Wasserwirtschaft 4.0

Technologische Entwicklungen beeinflussen fortwährend gesellschaftliche, kulturelle und politische Veränderungen. Sie erhalten ihren eigenen Namen, wenn sie grundlegend und richtungweisend sind, Wertvorstellungen und Gewohnheiten ändern, und großes Potential für neue Geschäftsfelder bieten. „Industrie 4.0“ und „IoT – Internet of Things“ sind z. B. solche Marketingbegriffe. Sie stehen für eine durch Digitalisierung, Vernetzung und Automatisierung geprägte Technologieära, die alle Lebensbereiche verändert, von der industriellen Produktion über Dienstleistungsbereiche bis in die Haushalte und privaten Lebensbereiche hinein [1].

Die Themenfelder rund um den Wasserkreislauf betreffend, wird in der Fachwelt der Begriff Wasserwirtschaft 4.0 geprägt. Er umschreibt die Vision einer vernetzten, digitalisierten und automatisierten Wasserwirtschaft, die durch Nutzung der modernen Informations- und

Kommunikationstechnik effiziente und wirksame Technologien zur Lösung der wasserwirtschaftlichen Herausforderungen der heutigen Zeit liefert [2].

In der Praxis sind beispielsweise die bidirektionale Durchgängigkeit des Datenaustauschs zwischen der Feld- und der Betriebsleitebene, Automatismen zur Handhabung großer Datenmengen oder interaktive Benutzeroberflächen zur Darstellung aggregierter und anwendungsspezifischer Prozessinformationen denkbare Bausteine einer Wasserwirtschaft 4.0.

Der Betreiber des Chemieparkes Bitterfeld-Wolfen greift diese Aspekte auf und setzt sie im Zuge der Modernisierung des Abwassermanagements um. Damit wird Wasserwirtschaft 4.0 für diesen Anwendungsfall greifbar und hält Einzug in die betriebliche Praxis. Die Anforderungen, die Basistechnologie, der Nutzen sowie die weiteren Entwicklungspotentiale werden im Folgenden dargelegt.

Stoffkreisläufe im Chemiestandort Bitterfeld-Wolfen

Der im Großraum Halle/Leipzig/Dessau gelegene Chemiepark Bitterfeld-Wolfen ist mit einer Gesamtfläche von ca. 1200 Hektar und etwa 11.000 Beschäftigten einer der größten Chemiestandorte in Deutschland. Von den insgesamt ca. 360 ansässigen Unternehmen sind etwa 50 Unternehmen Chemiebetriebe des produzierenden Gewerbes, die restlichen Betriebe sind überwiegend in den Bereichen Dienstleistung, Maschinenbau, Bauwesen, Bildung und Handel tätig.

Das Ver- und Entsorgungskonzept des Chemieparkes besteht darin, dass für produzierende und gewerbliche Unternehmen die erforderlichen Industrieflächen erschlossen und die für die Produktion notwendigen Infrastrukturen und technischen Dienstleistungen bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden. Hierfür werden entsprechende Gebühren erhoben. Die internen Stoffkreisläufe im Chemiepark sichern den Unternehmen optimale Produktionsbedingungen mit hoher Versorgungssicherheit und effizienter Vermeidung bzw. Beseitigung von Rest- und Abfallstoffen zu.

Die Infrastruktur des Chemieparkes bietet den Unternehmen neben der Versorgung mit Trink- und Brauchwasser die fachgerechte Entsorgung von anfallendem Reinabwasser und Schmutzabwasser. Dabei ist unter Reinabwasser das Niederschlagswasser von bebauten und befestigten Flächen, Kühlwasser und gering belastetes Grundwasser zu verstehen. Das Schmutzabwasser setzt sich aus Produktionsabwasser, Sanitärabwasser und höher belastetem Grundwasser zusammen. Wichtige Kenndaten der Ver- und Entsorgungsnetze für die jeweiligen Stoffströme sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Die Chemiepark Bitterfeld-Wolfen GmbH bietet als Standortgesellschaft den Unternehmen alle für den Betrieb erforderlichen Infrastrukturdienstleistungen an. Entsorgungsseitig wird sie von zwei Beteiligungsgesellschaften, das Gemeinschaftskläwerk und die Thermische Restabfallbehandlungsanlage, unterstützt. Außerdem umfasst das Dienstleistungsangebot den Verkauf von Grundstücken sowie

Tab. 1: Kenndaten der Ver- und Entsorgungsnetze

| | Trinkwasser | Brauchwasser | Reinabwasser | Schmutzabwasser |
|---|-------------|--------------|--------------|-----------------|
| Netzlänge, km | 56 | 66 | 130 | 40 |
| Wasserverbrauch bzw. Abwasseranfall (2015), m ³ /d | 940 | 11400 | 17500 | 2600 |

die Vermietung von Gebäuden, Arbeitsräumen und Lagerflächen.

Der Dienstleistungsbereich „Netze“ versorgt die ansässigen Unternehmen mit Trink- und Brauchwasser für sanitäre und industrielle Zwecke, entsorgt das anfallende Rein- und Schmutzabwasser entsprechend den geltenden Auflagen und verantwortet die Instandhaltung der Leitungen. Die Entsorgung des Schmutzabwassers umfasst die Zusammenführung der einzelnen Abwasserströme der Unternehmen in Sammelleitungen und Einspeisung in das Gemeinschaftsklärwerk sowie die Ableitung der gereinigten Abwässer in den Fluss Mulde. Die Entsorgung von Reinabwasser erfolgt in separaten Leitungen über einen Schachtgraben direkt in die Mulde.

Grundsätzliche Anforderungen an das Abwassermanagement

Je nach Herkunftsbereich können sich die zu entsorgenden Abwässer hinsichtlich der Inhaltsstoffe, der jeweiligen Konzentrationen und des Abwasseranfalls stark unterscheiden. Umso wichtiger ist es, die Abwassergebühren betriebs- und produktionsspezifisch und damit verursachergerecht zu erheben. Die Ermittlung der Abwasserentgelte der einleitenden Betriebe ist Aufgabe der Chemiepark Bitterfeld-Wolfen GmbH. Hierfür ist ein Abwassermanagement aufgebaut, das die Überwachung und Bewertung der relevanten Abwasserströme an repräsentativen Messpunkten des Abwassernetzes sowie die Erfassung, Auswertung und Dokumentation der erforderlichen Daten vornimmt. Im Einzelnen werden vier Ziele verfolgt:

- ⇒ Überwachung der betriebsspezifischen Kriterien zur Einhaltung der Abwasser-einleitungen in die Abwassernetze des Chemieparks und in das Gemeinschaftsklärwerk gemäß der vertraglichen Vorgaben
- ⇒ Überwachung der Qualität des Reinabwassers an den Einleitstellen in die Gewässer gemäß der Nebenbestimmungen der Wasserrechtsbescheide
- ⇒ Verursachermittlung bei der Überschreitung von Einleitgrenzwerten
- ⇒ Berechnung des Entgeltes für die Abwasserentsorgung auf Basis der erhobenen Daten

Die Kontrollpunkte des Überwachungsnetzes sind drei unterschiedlichen Überwachungsebenen zugeordnet:

- ⇒ Übergabepunkte der Ansiedlerfirmen, d.h. Überwachung der Schmutzabwassereinleitungen in das Abwassernetz des Chemieparks (Abbildung 1)
- ⇒ Knotenpunkte innerhalb der Abwassersysteme, z. B. Messpunkte, die zur

Steuerung der Havariefunktion von Regenrückhaltebecken installiert sind oder ausgewählte Verzweigungspunkte von Hauptsammelleitungen des Reinabwassernetzes

- ⇒ Behördliche Kontrollpunkte bei der Gewässereinleitung, d.h. Überwachung der Abwasserströme an den Endpunkten der Abwasserentsorgungssysteme (direkte Einleitung von Reinabwasser oder Einleitung von gereinigtem Schmutzabwasser in Vorfluter). Zur Überwachung der Gewässereinleitung wurden begehbare Abwassermessstationen (Messcontainer) errichtet (Abbildung 2).

Das Abwasserentsorgungsnetz ist flächendeckend mit derzeit 98 vollautomatischen Probenehmern ausgestattet, die je nach Messort mit zusätzlicher Messtechnik ausgerüstet sind. Typische Messparameter sind der pH-Wert, die Leitfähigkeit, die Temperatur, der Sauerstoffgehalt und der Durchfluss. In der Praxis überwachen die Probenehmer Qualität und Durchfluss der Abwasserströme kontinuierlich und füllen ereignisorientiert sowie mengenproportional Rückstellproben ab. Der Grad der Verschmutzung wird im Labor analysiert und als Basiswert für die Berechnung der Abwasserentgelte herangezogen.

Betriebliche Anforderungen für Wasserwirtschaft 4.0

Zur verursachergerechten Weiterverrechnung von Wasserbezug und Entsorgung müssen die Daten der Analyse- und Probenahmestationen gewonnen, abgerufen bzw. übertragen, ausgewertet und dokumentiert werden. Darüber hinaus dienen die Daten der Überwachung der Messgeräte und Probenehmer, damit ein möglichst störungsfreier Betrieb sichergestellt ist und im Bedarfsfall Maßnahmen zur Störungsbehebung eingeleitet werden können.



Abb. 2: Probenahme- und Analysestation für die Überwachung der Schmutzabwassereinleitungen in das Abwassernetz des Chemieparks



Abb. 1: Begehbare Messcontainer für die Überwachung der Gewässereinleitung

Trotz dieser vielfältigen Aufgaben besteht kein Zweifel daran, dass die Geschäftsabläufe des Abwassermanagements auch ohne moderne digitale Infrastrukturen beherrschbar sind. Die Praxis der Vergangenheit hat dies jahrelang gezeigt. Allerdings lassen sich neben den eigentlichen Zielsetzungen, also Qualitätsüberwachung, Verursachermittlung und Entgeltermittlung, weitergehende Ziele, wie Zeitersparnis, Einsparung von Betriebsmitteln und auch die Steigerung der Arbeitsplatzattraktivität, nur sehr schwer umsetzen. Hinzu kommt der mitunter hohe Aufwand für Außeneinsätze zum Zweck der visuellen Inspektion der Feldgeräte, händische Probenahme oder Wartung. Manuelle Dokumentation und die damit verbundene, unvermeidbare Fehleranfälligkeit limitierten die Möglichkeiten, das Abwassermanagement hinsichtlich Effizienz und Effektivität zu verbessern.

Die langjährigen Betriebserfahrungen, synergetisch verknüpft mit den Fortschritten der Digitalisierung, Informations- und Kommunikationstechnologie, zeigen die Möglichkeiten auf, wie die Leitgedanken von Wasserwirtschaft 4.0 den Betrieb optimieren können. Einige der Optimierungspotentiale und Merkmale von Wasserwirtschaft 4.0 seien im Folgenden genannt:

- ⇒ digitalisiertes und einfach erweiterbares Datenmanagementsystem
- ⇒ digitale und automatische Datenübertragung und Datenzentralisierung
- ⇒ Vereinheitlichung der Datenstruktur
- ⇒ ereignisgesteuerte, automatische Entnahme und Zuordnung von Rückstellproben
- ⇒ Vereinheitlichung des Berichts- und Dokumentationswesens
- ⇒ Softwareunterstützte Aufbereitung von Daten
- ⇒ automatische Ermittlung von Betriebskennzahlen
- ⇒ Visualisierung von Messwerten, Kennzahlen, Statusmeldungen
- ⇒ anwenderspezifische, konfigurierbare Darstellungsvarianten

Im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen wurde schließlich ein digitalisiertes wasserwirtschaftliches Informationssystem aufgebaut, das diese Anforderungen in die Praxis umsetzt. Der Lösungsansatz bestand in der digitalen Verknüpfung der Probenahme- und Analysestationen und Entwicklung einer Softwarelösung zur nachgeschalteten Datenerhaltung, Datenanalyse und Visualisierung von Prozessinformationen und Betriebskennzahlen. Dabei wurden grundlegende Hinweise zur Visualisierung und Auswertung von Prozessinformationen auf Abwasseranlagen [3] sowie Aspekte der Betriebsanalytik mit Prozessmesstechnik und automatischen Probennehmern [4] berücksichtigt.

Systemkonzept des digitalisierten Informationssystems

Die Systemarchitektur der im Chemiapark Bitterfeld-Wolfen implementierte Lösung ist vereinfacht in Abbildung 3 gezeigt. Auf der Feldebene befinden sich die Probenahme- bzw. Messstationen, die über das Areal des Chemiaparks verteilt sind. Sie sind über WLAN mit einem Industrie-PC des Chemiaparks verbunden. Auf dem PC ist eine Private Cloud installiert, die über das Feldbusprotokoll Modbus/TCP alle Daten aus der Feldebene aufnimmt.

Bei der Private Cloud handelt es sich um eine umfangreiche Web-Anwendung, die aus modularen Softwarekomponenten besteht. Mit Hilfe dieser Komponenten findet in der Cloud die Speicherung und Auswertung der Daten, die Koordination des Datenflusses sowie die Darstellung aufbereiteter Messdaten und Betriebsinformationen statt. Der Anwender greift über einen Web-Browser von seinem Arbeitsplatz auf diese Web-Anwendung zu.

Innerhalb der Cloud sind im Wesentlichen drei Funktionsblöcke realisiert. Zunächst werden die Modbus-Daten der Feldgeräte durch einen OPC-UA-Server in ein OPC-UA-Informationsmodell übersetzt und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung gestellt.

Mit einer für den Kunden entwickelten Integrationskomponente erfolgt die Ablage der Zustands- und Messdaten in eine sog. MongoDB (abgeleitet vom engl. humongous, „gigantisch“). Dabei handelt es sich um ein dokumentenorientiertes Datenbanksystem, welches sich besonders für die Speicherung großer Datenmengen eignet. Neben den Messwerten der verschiedenen Sonden wie Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Durchfluss werden auch Informationen über den Zustand der Feldgeräte gespeichert. Auf diese Weise kann zentral für jede Station geprüft werden, ob z. B. Betriebsfehler vorliegen oder während des Normalbetriebs Probenbehälter gewechselt werden müssen.

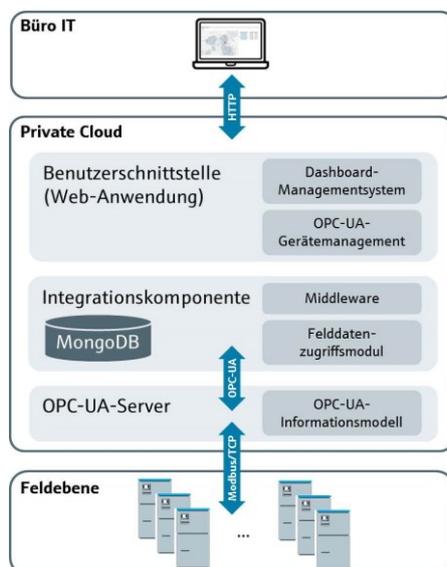


Abb. 3: Schematische Darstellung der Systemarchitektur des digitalen Informationssystems

Die Interaktion mit dem Anwender findet über die Benutzeroberfläche des Systems statt, die als Web-Anwendung mit einer eigenen Benutzer- und Berechtigungsverwaltung realisiert ist. Diese Aufgaben sind in der Benutzerschnittstelle umgesetzt. Sie verfügt über zwei große Funktionsblöcke:

- ⇒ Das **OPC-UA Gerätemanagement** gestattet die Einbindung neuer Feldgeräte und verwaltet den Feldgerätepool. Jedes Feldgerät wird über seine IP-Nummer vom System eindeutig identifiziert. Bei der Neuanlage einer Probennehmer- bzw. Messstation werden für jeden Sensor die gültigen Betriebsbereiche hinterlegt, so dass bei Bereichsüberschreitungen Alarme generiert werden können. Darüber hinaus werden auch die Geokoordinaten des Feldgerätes erfasst, um sie in einer

Kartenansicht georeferenzieren zu können.

- ⇒ Das **Dashboard-Managementsystem** stellt die Visualisierungsumgebung für den Anwender zur Verfügung, das Daten und Informationen zusammenfasst und als sog. Dashboard angezeigt.

Datendurchgängigkeit und Datenvisualisierung

Eine der Herausforderungen Informationssysteme für die Wasserwirtschaft 4.0 zu entwickeln, besteht in der Aufbereitung und Verdichtung großer Datenmengen sowie Darstellung ausgewählter und aggregierter Informationen. Neben der Visualisierung von Feldinformationen auf der Betriebslebene soll der Datenzugriff in umgekehrter Richtung möglich sein, um im Bedarfsfall von der Managementebene Detailinformationen aus untergeordneten Darstellungsebenen abrufen zu können. Für diesen Zweck wurden konfigurierbare Dashboards entwickelt, die Feldgerätedaten, Prozess- und Standortinformationen sowie daraus abgeleitete Betriebskennzahlen mit unterschiedlichen Detailierungsgraden in Übersichtsdarstellungen zusammenfassen.

So zeigt beispielsweise das sog. Übersichtsdashboard auf einer Landkarte des Chemiaparks den Messort der Feldgeräte, den Gerätestatus in Ampelfarben sowie vom Nutzer wählbare Feldgeräteinformationen (Identifikationsangaben, Zeitstempel, etc.) in Tabellenform an (Abbildung 4).

Bei Bedarf kann durch Klicken auf das Gerätesymbol in der Karte in eine Detailansicht verzweigt werden, und man erhält weitere Informationen, die für die Messstelle bzw. für das dort installierte Feldgerät spezifisch sind (Abbildung 5). Dies sind z. B. Detailangaben über den Gerätestatus, wie eine Fehlerbeschreibung, Handlungsempfehlungen entsprechend

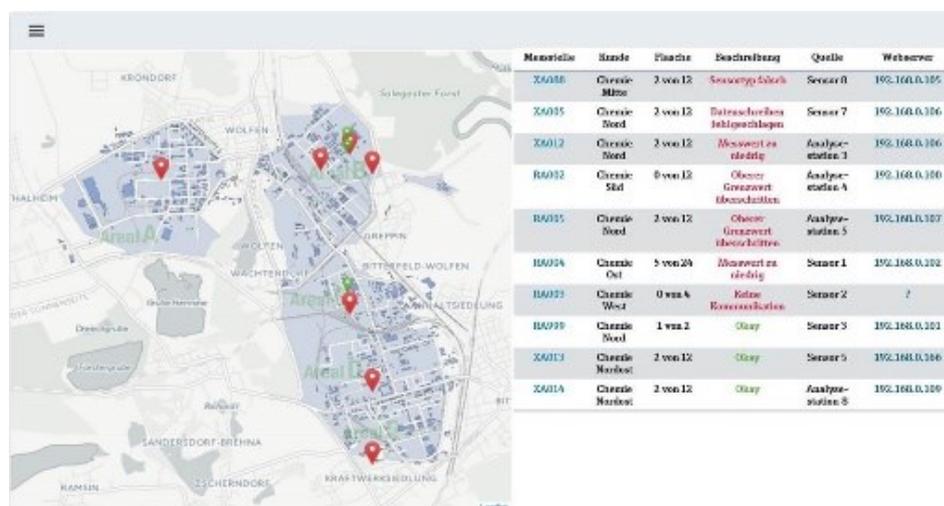


Abb. 4: Übersichtsdashboard mit Anzeige der Messorte, des Betriebsstatus und Messstelleninformationen (beispielhafte Darstellung)

NE107 (Diagnosefunktion, Störungsklassifikation) oder historische Daten.

Neben Übersichts- und Detailansichten können auch individuelle oder aufgabenspezifische Dashboards für unterschiedliche Benutzergruppen erstellt und zugeordnet werden (Abbildung 6). Hierfür stellt die Software sog. Reportkacheln zur Verfügung, die als modulare Ansichtselemente einzelne Informationen darstellen und per Drag & Drop zu einem Dashboard kombiniert werden können. So lässt sich z. B. ein Dashboard definieren, das für eine Probenahme- bzw. Messstation die verschiedenen Messwerte zusammenfasst oder von verschiedenen Messorten ein und denselben Parameter vergleichend anzeigt. Für die Bewertung der Geräteverfügbarkeit oder zur Planung von Serviceeinsätzen kann es hingegen sinnvoll sein, Gerätestörungen und Messbereichsüberschreitungen tabellarisch darzustellen.

Vorteile durch Wasserwirtschaft 4.0

Das implementierte wasserwirtschaftliche Informationssystem bietet für das Abwassermanagement eine Reihe von Vorteilen. Sie bedeuten vor allem für die nachfolgenden Geschäftsabläufe eine Effizienz- und Qualitätssteigerung:

- ⇒ Datenmanagement
- ⇒ Entnahme von Rückstellproben
- ⇒ Dokumentations-, Berichts- und Meldewesen
- ⇒ Instandhaltung (Wartung, Instandsetzung, etc.)
- ⇒ Gebührenermittlung

Das Datenmanagement umfasst die Erfassung, Klassifizierung, Archivierung und Identifikation von Kunden-, Abwasser- und Gerätedaten. Durch die Vernetzung der Feldgeräte mit dem zentralen Archivsystem und automatisierten Abläufen ist die Zuordenbarkeit, Rückverfolgbarkeit und Abrufbarkeit der Daten gegeben. Dies führt zu einer wesentlichen Verringerung des zeitlichen und personellen Aufwandes für das Datenmanagement bei gleichzeitiger Erhöhung der Datenqualität.

Im Ereignisfall, z. B. bei unerwartet starken Schwankungen von Überwachungsparametern oder bei besonders hohem Abwasseranfall, werden von dem Probenehmer automatisch Rückstellproben für die weitergehende Analyse im Labor entnommen. Somit entfällt eine manuelle Probenahme vor Ort. Außerdem wird dadurch sichergestellt, dass die Probenahme zeitnah erfolgt, d. h. für das Ereignis repräsentativ ist.

Auch beim Dokumentations-, Berichts- und Meldewesen ergibt sich eine deutliche Verringerung des Zeitaufwandes und eine geringere Fehlerhäufigkeit. So erfolgt die Erstellung von



Abb. 5: Dashboard zur Anzeige von Detailinformationen (beispielhafte Darstellung)

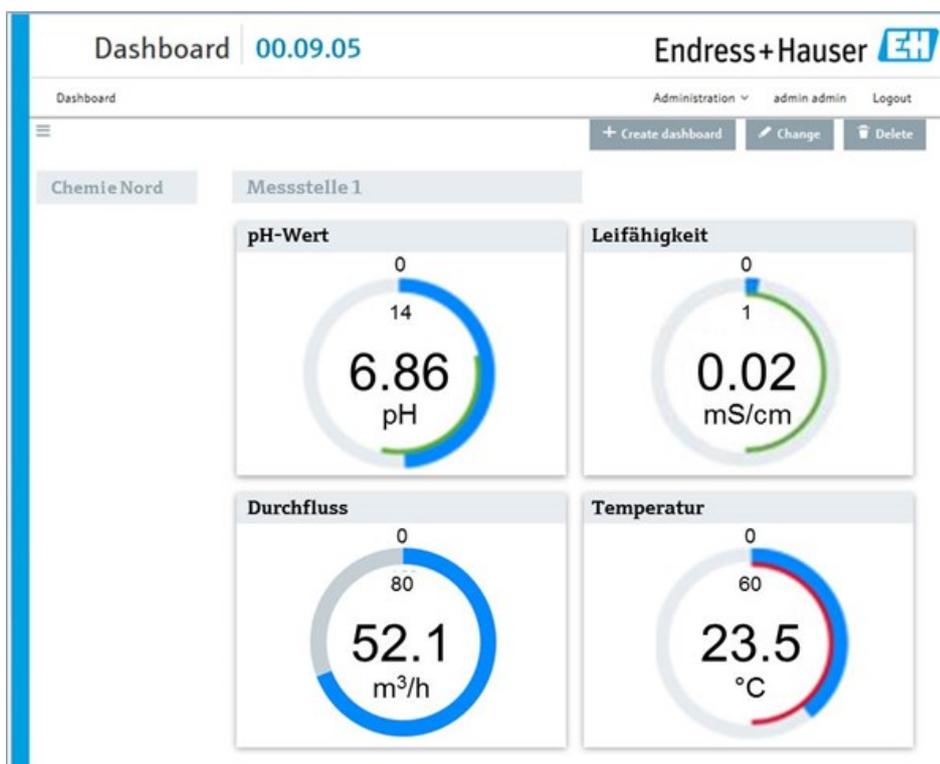


Abb. 6: Individuelles Dashboard zur Anzeige der Messergebnisse ausgewählter Parameter eines Kontrollpunktes im Überwachungsnetz (beispielhafte Darstellung)

Mess- und Probenahmeprotokollen sowie die Meldung und Dokumentation von Grenzwertüberschreitungen zentral und automatisch. Die erstellten Berichte werden dem Betreiber zur Übergabe an die Einleiter und das Labor automatisch zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser fundierten und vollständigen Informationslage ist eine wesentlich schnellere Entscheidungsfindung möglich.

Die kontinuierliche Überwachung und Bewertung des Feldgerätestatus ermöglicht die Optimierung der Instandhaltungsstrategie. Dabei wird zwischen Warnmeldungen (z. B. „Flasche voll“, „Schlauch wechseln“, „Wartung fällig“) und Störmeldungen („Ausfall der Messungen“, „Allgemeine Störung“) unterschieden. Durch Übermittlung dieser Zustandsinformation an die Zentrale lässt sich die Instand-

haltung vorausschauend planen und bedarfsgerecht ausführen. Dadurch werden reaktive Einsätze minimiert.

Auf Basis des Berichtswesens werden die kundenspezifischen Abwasserabgaben automatisch ermittelt und entsprechende Berichte erstellt. Fallen aufgrund eines betrieblichen Ereignisses erhöhte Abwassergebühren an, können diese unmittelbar erhoben und in Rechnung gestellt werden. Darüber hinaus ergibt sich ein nicht unmittelbarer Nutzen für die Abwasserreinigung im Gemeinschaftskläwerk, das im Falle besonderer Einleitsituationen (z. B. verstärkter Schmutzwasseranfall oder Konzentrationsspitzen) hierüber in Kenntnis gesetzt wird und vorausschauend Maßnahmen ergreifen kann, um für stabile Prozessbedingungen zu sorgen und die Reinigungsleistung nicht zu gefährden.

Fazit und Ausblick

Mit der Digitalisierung der Infrastruktur des Abwassermanagements wurde ein hoher Automatisierungsgrad der Geschäftsprozesse erreicht. Dadurch konnten zahlreiche Betriebsabläufe hinsichtlich Materialeinsatz und Zeitaufwand vereinfacht und effizienter gestaltet werden. Verwaltungsprozesse wurden wesentlich verschlankt. Die Rückverfolgbarkeit der erfassten Daten und die hohe Prozesstransparenz bedeuten ferner eine erhebliche Optimierung des betrieblichen Qualitätsmanagements und führen zu einer Steigerung der Ergebnisqualität.

Weitere Möglichkeiten der Prozessverbesserung bestehen in der Vernetzung mit Drittsystemen wie ERP-Systeme (z. B. SAP) zur Controlling- und Unternehmenssteuerung. Mit direktem ERP-Zugriff wäre es möglich, Rechnungen an die einleitenden ansässigen Firmen automatisiert zu verschicken. Zudem ist es denkbar, dass zukünftig Bestellungen von Verschleiß- und Ersatzteilen als Service für die Einleiter automatisch via ERP generiert werden. Dies würde die Lagerhaltung verringern und sicherstellen, dass alle erforderlichen Ersatzteile ständig verfügbar sind.

Zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten bestehen für die Instandhaltungsstrategie mit der Visualisierung von Planungssichten für das Servicepersonal. Diese können sowohl für Serviceleiter als auch für Servicetechniker wertvolle Hilfestellungen bei der Koordination und Durchführung von Serviceeinsätzen sein.

Literatur

- [1] C. Pinnow, S. Schäfer: *Industrie 4.0, (R)Evolution für Wirtschaft, Politik und Gesellschaft*, Beuth Pocket, Beuth, Berlin, 2015
- [2] German Water Partnership e. V. (Hrsg.): *Wasser 4.0*, Berlin, 2016
- [3] DWA-M 260: *Visualisierung und Auswertung von Prozessinformationen auf Abwasseranlagen*, Entwurf, Hennef, 2016
- [4] **DWA-A 704**: *Betriebsanalytik für Abwasseranlagen*, Arbeitsblatt, Hennef, April 2016