

Alles im grünen Bereich

Die Qualitätssicherung in der Trinkwasserversorgung ist eine komplexe Aufgabe, denn die Risiken lauern an vielen Stellen. Forscher und Anwender suchen gemeinsam nach intelligenten Lösungen.

„Wenn trübes Wasser aus dem Hahn kommt, ist es zu spät“, sagt Dr. Achim Gahr. Der Chemiker verantwortet bei Flüssigkeitsanalyse-Spezialist Endress+Hauser Conducta die Geschäftsentwicklung in der Wasser- und Abwasserbranche. Er sagt: „Wir brauchen keine nachgelagerte Fehlerbehebung, sondern vorausschauendes Risikomanagement.“

Risiken gibt es in allen Etappen der Trinkwasserversorgung, von der Rohwassergewinnung über den Transport und die Speicherung bis zur Verteilung an die Endverbraucher. Die Ursachen sind vielfältig: Unfälle und Wetterereignisse verunreinigen Quellen, Leckagen führen zu Schmutzeintrag und Korrosion in Rohrleitungen, niedrige Fließgeschwindigkeiten befördern Sedimentierung und Verkeimung.

Zwei Forschungsprojekte haben diese Probleme nun näher untersucht. Beim ersten, bereits abgeschlossenen Projekt kooperierte Endress+Hauser mit der Universität Basel. Im Fokus stand die Grundwasserqualität entlang der Birs, eines Flusses in der Nordwestschweiz. Dort kann es bei Starkregen zu Verunreinigungen kommen, wenn Flusswasser in den Grundwasserleiter einsickert.

Eine Herausforderung bestand darin, sinnvolle Messstellen zu finden und die relevanten Parameter zu bestimmen. „Die Aussagekraft der Bewertung steht und fällt mit der richtigen Wahl der Parameter“, sagt Dr. Rebecca Page, Projektleiterin bei Endress+Hauser. „Dazu muss man die lokalen hydrogeologischen Verhältnisse genau kennen.“

Als ein Indikator für die Wasserqualität erwies sich die kombinierte Auswertung von drei Parametern: Grundwasserpegel, Temperatur und elektrische Leitfähigkeit. Veränderungen etwa aufgrund von Verunreinigungen lassen sich rasch und frühzeitig feststellen. Eine eigens entwickelte Software – demnächst vertrieben unter dem Produktnamen LiquiPro X – erkennt derartige Muster und unterscheidet mögliche Gefahrensituationen von harmlosen Ereignissen.

Das Ergebnis der Online-Analyse lässt sich trotz komplexer Ursachen einfach mit drei Ampelfarben darstellen.

Das zweite, kürzlich gestartete Projekt soll die Erkenntnisse auf die nächste Etappe der Trinkwasserversorgung – den Transport im Leitungsnetz – übertragen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Sicherstellung einer hohen Datenqualität. Partner von Endress+Hauser sind die Thüringer Fernwasserversorgung (TFW) und weitere Versorger, die Technische Hochschule Köln sowie Verbände der Wasserwirtschaft.

„Unsere Rohrleitungen sind sehr groß dimensioniert. In Zeiten schwacher Nachfrage kann es daher zu Sedimentierung infolge geringer Fließgeschwindigkeit kommen“, erklärt Roland Mauden, Fachbereichsleiter Wasserressourcenmanagement bei der TFW. Durch Vernetzen von Messstellen sollen künftig beispielsweise Trübungsereignisse an der Nachweisschwelle erkannt und zuverlässig von unspezifischen Signalen unterschieden werden. Dabei geht es auch um Effizienz: „Wir wollen rechtzeitig erkennen, wann und wo wir Leitungen durchspülen müssen“, sagt Roland Mauden. „Denn jede Spülung erfordert aufwändig aufbereitetes Trinkwasser.“

Trend zu „Wasser 4.0“ Beide Projekte machen den Trend von der einfachen Grenzwert-Überwachung hin zu intelligenten, vernetzten Systemen sichtbar. In Anlehnung an „Industrie 4.0“ wurde dafür das Schlagwort „Wasser 4.0“ kreiert. „Die Zukunft gehört der durchgängigen Automatisierung des Wasserkreislaufs und der automatisierten Datenauswertung“, sagt Achim Gahr. Es gilt, aus vielen Daten (Big Data) die richtigen Daten herauszufiltern (Smart Data). „So können wir problematische Ereignisse frühzeitig erkennen und die Betriebsführung optimieren.“

Text: Reinhard Huschke
Illustration: Ralf Marczinczik

VERSORGUNGSSICHERHEIT

Wasser aus der Wüste

UMWELTÜBERWACHUNG

Die Gewässergüte stets im Blick

Ammoniaketräge aus Tierhaltung und Ackerdüngung, auslaufendes Öl aus Schiffen: Die Wasserqualität von Flüssen und Seen ist vielerlei Gefahren ausgesetzt. Die europäische Wasserrahmenrichtlinie empfiehlt deshalb ein kontinuierliches Monitoring der Gewässergüte, um bei kritischen Zuständen schnell zu reagieren. Das webbasierte System ENMO hydro, von der Analytik-Jena-Tochter AJ Blomesystem mit dem Institut für Hygiene und Umwelt Hamburg entwickelt, leistet genau dies. Es vernetzt lokale Messstationen mit der Betriebsleitungsebene und bietet umfangreiche Möglichkeiten zur Datenauswertung und Messnetz-Überwachung. In Kombination mit Messtechnik von Endress+Hauser (vom Feldgerät bis hin zur Messstation) sind somit umfassende Lösungen aus einer Hand verfügbar.

RH

Die Millionenstadt Abu Dhabi hat ein Problem. Zwar werden laufend große Mengen Trinkwasser in den Entsalzungsanlagen entlang der Küste produziert. Die Vorräte reichen jedoch höchstens für drei Tage. Für Unterbrechungen der Wasserzufuhr gibt es bisher keinen Plan.

Ein Großprojekt schafft nun Abhilfe. Dazu kooperiert die Wasserbehörde Abu Dhabi Water and Electricity Authority mit der deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit sowie der Dornier Consulting GmbH. In einem natürlichen Grundwasserleiter 85 Meter unter der Erde sollen bis zu 27 Millionen Tonnen entsalztes Meerwasser gespeichert werden – genug, um Abu Dhabi 90 Tage lang zu versorgen.

Für rund 350 Millionen US-Dollar wurden insgesamt 261 Kilometer Pipelines, drei Infiltrationsbecken, 326 Förderbrunnen und 117 unterirdische Beobachtungsbrunnen in der 250 Kilometer landeinwärts gelegenen Wüstenregion Liwa errichtet. Endress+Hauser steuerte über 1.800 Feldgeräte bei – darunter 330 magnetisch-induktive Durchflussmessgeräte, 315 Leitfähigkeitssensoren und 372 Druckaufnehmer. Fachleute unterstützten zudem bei Installation und Inbetriebnahme.

2017 soll der Wasserspeicher vollständig gefüllt sein. Jens Winkelmann, Geschäftsführer des Endress+Hauser Vertriebs in den Vereinigten Arabischen Emiraten, ist zufrieden mit dem Verlauf: „Das Projekt setzt internationale Standards. Es wird ein Vorzeigemodell für die gesamte Golfregion!“

RH



Das Klärwerk als urbane Mine

Die biologische Elimination von Phosphaten ist ein sensibler Prozess. Typische Probleme lassen sich mit einem neuen Verfahren zur Klärschlammbehandlung vermeiden.

Kläranlagen scheiden die im Abwasser enthaltenen Phosphate entweder chemisch durch Fällmittel oder biologisch mit Hilfe von Bakterien ab. Dabei setzt sich mehr und mehr die umweltfreundliche und kostengünstige biologische Methode durch, kurz Bio-P. „In Deutschland arbeiten heute zehn Prozent der Kläranlagen mit Bio-P“, sagt Rudolf Bogner, Geschäftsführer der Hamburger Ingenieurfirma CNP. Damit lässt sich ein Teil der Chemikalien einsparen, auch wenn die chemische Fällung zur Einhaltung der strengen Ablaufwerte weiterhin benötigt wird.

Bio-P hat aber auch unerwünschte Nebenwirkungen. Der biologisch erzeugte Klärschlamm lässt sich nicht so effektiv entwässern wie bei der chemischen Methode. Ein weiteres Problem: Bei der Schlammfäulung entsteht Magnesium-Ammonium-Phosphat. Diese auch als Struvit bekannte Verbindung bildet hartnäckige Verkrustungen in Rohren und Behältern, die die Leistung der Anlage mindern und den Wartungsaufwand erhöhen.

Rudolf Bogners Firma CNP vertreibt unter dem Namen AirPrex eine Lösung für dieses Problem. Das Verfahren wurde von den Berliner Wasserbetrieben entwickelt und erprobt. Dabei wird in einem dem Faulturm nachgeschalteten Reaktor durch Belüftung und Zugabe von Magnesium-Fällsalzen das Struvit aus dem gefaulten Schlamm abgeschieden. Das verhindert die Struvit-Bildung in den folgenden Prozessschritten; die Rohre bleiben sauber. Zudem senkt die bessere Entwässerung des Klärschlammes die Kosten für polymere Flockungsmittel und Entsorgung.

Die Abläufe im AirPrex-Reaktor werden mit Messtechnik von Endress+Hauser überwacht und gesteuert: Neben Parametern wie Füllstand, Durchfluss, Druck und Temperatur spielt vor allem der pH-Wert im Zu- und Ablauf des Reaktors eine entscheidende Rolle. Dort arbeiten digitale pH-Sensoren des Typs Orbisint CPS11D mit Memosens-Technologie.

Düngemittel aus dem Reaktor Und was passiert mit dem abgeschiedenen Struvit? „Das im AirPrex-Reaktor erzeugte Struvit ist besonders rein. Es hat eine homogene Kristallverteilung und ist weniger mit Schwermetallen verunreinigt als Phosphat aus natürlichen Vorkommen“, erklärt Rudolf Bogner. „Im Prinzip kann es direkt als Dünger auf die Felder ausgebracht werden.“

Nur wegen der Phosphat-Rückgewinnung rechnet sich der Einsatz der innovativen Technologie dennoch nicht – noch ist Phosphat aus natürlichen Lagerstätten zu billig und die im Reaktor produzierte Menge für Düngemittelhersteller zu gering. Für das Verfahren sprechen jedoch die bessere Funktionalität und Wirtschaftlichkeit von Bio-P. „AirPrex stößt deshalb international auf Interesse“, betont Rudolf Bogner. Neben fünf Anlagen in Deutschland gibt es inzwischen eine in den Niederlanden und eine in China. Eine weitere ist in Südafrika geplant.

Text: Reinhard Huschke
Illustration: Ralf Marczinczik

UMWELTÜBERWACHUNG

Trocken durch den Gotthard

WASSERKNAPPHEIT

Geschlossener Kreislauf

„Cero agua“, null Wasser: So prangt es in großen Lettern auf der Milchpulverfabrik von Nestlé im mexikanischen Bundesstaat Jalisco. Früher benötigte das Werk täglich 1,6 Millionen Liter, was dem Bedarf von 6.400 Menschen entspricht. Eine neue Wasserbehandlungsanlage senkte den Frischwasserverbrauch auf null. Dazu nutzt Nestlé die angelieferte Milch, die zu 88 Prozent aus Wasser besteht. Um der Milch das Wasser zu entziehen, wird sie bei niedrigem Druck verdampft. Der kondensierte Wasserdampf wird über mehrere Stufen behandelt: Umkehrosmose entfernt Salze, Aktivkohle filtert organische Substanzen heraus, UV-Licht und Chlor desinfizieren die Flüssigkeit. Das remineralisierte Wasser hat Trinkwasserqualität und wird zur Reinigung der Anlage genutzt. Danach wird es noch ein zweites Mal für Reinigungs- und Bewässerungszwecke aufbereitet. Viele internationale Konzerne verfolgen eine ähnliche Strategie. Durch sparsamen Umgang mit Wasser sichern sie zugleich ihre Geschäftsgrundlage: In wasserarmen Regionen könnte es andernfalls langfristig schwierig werden, neue Werke zu eröffnen oder bestehende zu erweitern.

In der Schweiz steht ein Milliardenprojekt kurz vor seiner Fertigstellung: Nach über 20 Jahren Planungs- und Bauzeit geht Ende 2016 der Gotthard-Basistunnel in Betrieb; mit 57 Kilometern der längste Eisenbahntunnel der Welt. Bis zu 2.300 Meter hoch türmt sich der Fels über der neuen Strecke. Die Konstruktion muss nicht nur hohem Bergdruck standhalten, sondern auch das Einsickern erheblicher Mengen Bergwasser verhindern.

Damit der Tunnel trocken bleibt, wurden in den beiden Röhren jeweils zwei Abwasserleitungen in der Tunnelsohle verlegt. Das Abwassersystem trennt das (saubere) Bergwasser vom (meist ebenfalls sauberen) Schmutzwasser, das zur Speisung der Löschwasserbecken, zum Abtransport von Verunreinigungen im laufenden Betrieb oder im Fall einer Havarie abgezweigt wird. Pro Tunnelröhre und Richtung werden in jeder Sekunde fünf Liter Schmutzwasser aus dem Tunnel befördert. In Auffangbecken an beiden Tunnelenden wird es gesammelt und auf Verunreinigungen kontrolliert.

Symbolcharakter Die Messtechnik für die Tunnelentwässerung stammt von Endress+Hauser: Mit 180 teilweise Ex-geschützten Messgeräten und drei Messpanels werden unter anderem Durchflussmengen und Füllstände von Berg- und Schmutzwasser sowie die Leitfähigkeit, der pH-Wert und die Trübung des Schmutzwassers ermittelt. Für Stefan Bürki, der bei Endress+Hauser Schweiz das Projekt verantwortet, hat die Installation besondere Bedeutung: „Ich bin schon ein wenig stolz, bei diesem Jahrhundertprojekt dabei zu sein!“

RH

RH



Anlagen auf Energiediät

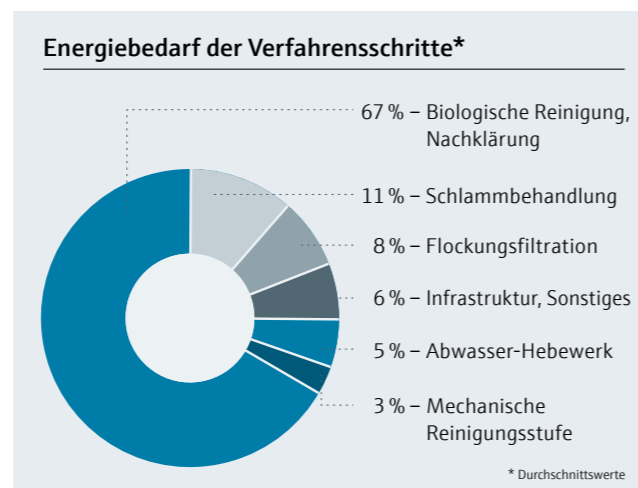
Kläranlagen sind wahre Energiefresser. In Deutschland summiert sich ihr Strombedarf auf die Jahresproduktion eines modernen Kohlekraftwerks. Doch der Verbrauch lässt sich senken – bis hin zur Energieautarkie.

In einer Kläranlage durchläuft das Abwasser mehrere Reinigungsstufen. Am Anfang steht die mechanische Vorreinigung, die Festkörper, Sand sowie Öle und Fette entfernt. Danach folgt die biologische Reinigung, in der Bakterien die organische Fracht zersetzen und Nährstoffe abbauen. Vereinzelt werden kritische Spurenstoffe durch Aktivkohlefiltration oder Ozonierung eliminiert. Schließlich bildet die Schlammbehandlung mit Eindickung, Faulung und Entwässerung einen weiteren Anlagenteil.

„Die Erfahrung zeigt, dass in bestehenden Kläranlagen ein signifikantes Energiespar-Potenzial steckt“, sagt Dr. Heidrun Tippe, globale Branchenmanagerin Wasser/Abwasser bei Endress+Hauser. Belüftung, Pumpen aber auch die Faulgasgewinnung aus Schlamm bieten viele Ansatzpunkte, um den spezifischen Verbrauch zu senken und Kosten zu sparen.

Messen, steuern, regeln Um verborgene Potenziale zu heben, rät Heidrun Tippe Anlagenbetreibern zu einem gestaffelten Vorgehen. Am Anfang steht das Monitoring der Ist-Situation, um relevante Energieverbraucher ausfindig zu machen. Dazu gehören meist die Belebungsbecken. Fast die Hälfte der elektrischen Energie, die eine Kläranlage verbraucht, entfällt auf die Belüftung der biologischen Stufe. Hier ist ein sinnvoller Ansatz, die Leitparameter online zu messen, um den Belüftungsprozess in Abhängigkeit von der Fracht zu regeln.

Dr. Achim Gahr, bei Endress+Hauser Conducta für die Geschäftsentwicklung in der Wasser- und Abwasserbranche verantwortlich, unterstreicht die Vorteile: „Aus einer Messung der organischen Fracht im Zulauf lassen sich genaue Prognosen für den Sauerstoffbedarf und die Dosierung von



Fäll- und Flockungsmitteln im Belebungs- und Nachklärbecken ableiten.“ Pumpen und Aggregate können so nach Bedarf gesteuert werden. Das bringt typischerweise 20 bis 25 Prozent Einsparung bei der elektrischen Energie.

Doch in einer Kläranlage wird nicht nur Energie verbraucht – es lässt sich auch welche gewinnen: In den Faultürmen entsteht bei Temperaturen um die 35 Grad Celsius aus dem Klärschlamm Faulgas mit hohem Methangehalt. Es kann in einem nachgeschalteten Blockheizkraftwerk genutzt werden, um Strom und Wärme zu erzeugen. Die Wärme beheizt die Faultürme; die gewonnene elektrische Energie versorgt die Sauerstoffgebläse im Belebungsbecken und die Förderpumpen. Der Eigenanteil am Energieverbrauch beeinflusst die Energiekosten positiv.

Doppelter Nutzen Durch die zusätzliche Nutzung fremder Schlämme lassen sich Eigenversorgungsgrade von bis zu 100 Prozent erreichen – zumindest in der Bilanz arbeitet die Anlage dann autark. Um den Prozess der Faulung besser bilanzieren und optimieren zu können, ist eine Messung im noch feuchten Biogas notwendig. Lange Zeit galt diese Messstelle als nur bedingt technisch gelöst. Die Ultraschallmessung mit dem Proline Prosonic Flow B 200 ist heute die Technologie der Wahl. Sie liefert neben der genauen Volumstrommessung auch eine Aussage über den Methangehalt.

Aber nicht nur unter energetischen Gesichtspunkten ist der Bau von Faultürmen sinnvoll: Der Abbau der organischen Masse zu Faulgas reduziert den später zu entsorgenden Schlamm bis zur Hälfte. Das bedeutet für den Betreiber eine erhebliche Kostenersparnis bei der Entsorgung – die Investition in mehr Energieeffizienz macht sich so gleich doppelt bezahlt.

Text: Reinhard Huschke
Illustration: Ralf Marczinczik

WASSERAUFBEREITUNG

Aus Alt mach Neu

„Wasser für alle“ lautet das Versprechen der Singapurischen Wasserbehörde PUB. Das ist leichter gesagt als getan, denn der Stadtstaat kann seinen Bedarf nur teilweise aus eigenen Ressourcen decken. Rund 40 Prozent des Rohwassers bezieht das Land heute noch aus Malaysia. Doch „NEWater“ soll Singapur langfristig unabhängig von Importen machen: In mittlerweile vier Anlagen bereitet PUB Abwasser soweit auf, dass es wieder die Qualität von Trinkwasser hat. Der Prozess beginnt mit der üblichen Abwasserreinigung. Es folgt eine zweistufige Nachbehandlung mittels Mikrofiltration und Umkehrosmose. Obwohl diese Schritte genügen, um selbst Bakterien und Viren zu entfernen, wird das Wasser abschließend mit UV-Licht sterilisiert. Dabei kommt von A bis Z Messtechnik von Endress+Hauser zum Einsatz; neben Druck, Durchfluss und Füllstand die ganze Bandbreite der Flüssigkeitsanalyse. In den Besucherzentren ist das aufbereitete Wasser in Flaschen erhältlich – schließlich übertrifft es die Qualitätsanforderungen der WHO und kann bedenkenlos getrunken werden. Die „NEWater“-Anlagen decken inzwischen 30 Prozent des Rohwasserbedarfs; bis 2060 will PUB diesen Anteil auf 55 Prozent ausweiten. Der größte Teil des recycelten Wassers fließt in die Industrie, die hochreines, entmineralisiertes Prozesswasser benötigt.

RH



Alles aus einer Hand

Messen, überwachen, regeln, optimieren – Endress+Hauser bietet ein umfassendes Portfolio für Anwendungen im Wasser- und Abwasserbereich.

Analyse einfach wie nie

„Plug and Play“ ist ein viel strapaziertes Versprechen, aber in diesem Fall stimmt es tatsächlich: Innerhalb der Endress+Hauser Plattform **Liquiline** für die Flüssigkeitsanalyse verstehen sich Messumformer, Probenehmer und Analysatoren blind. Wird ein **Memosens**-Sensor angeschlossen, wird dieser vom Messumformer automatisch erkannt. Die im Sensor digital gespeicherten Kalibrier-, Sensor- und Prozessdaten werden kontaktlos übertragen. Auch ein Austausch von Sensoren im laufenden Betrieb ist möglich. Maximal acht Memosens-Sensoren mit bis zu zwölf Messparametern lassen sich an Liquiline anschließen – genug für eine komplette kleine Gewässergütestation.

Alle Daten im Blick

Mit dem kompakten Datenmanager **Memograph M RSG45** lässt sich ein komplettes kleines Kontrollsystem in der Wasserversorgung aufbauen. Er erfasst Prozesswerte von Feldgeräten, stellt sie übersichtlich auf dem Display dar und zeichnet sie sicher auf. Zudem überwacht und analysiert er Grenzwerte. Über gängige Kommunikationsprotokolle leitet der RSG45 die Prozesswerte an übergeordnete Systeme weiter und kann so die Brücke schlagen zwischen Feld- und Steuerungsebene.

Radarmessung per App

Die Füllstandmessung mittels Radar gilt als überaus zuverlässig. Der gezielt für Wasser-/Abwasseranwendungen entwickelte neue **Micropilot FMR 10/20** verbindet dies mit kompakten Abmessungen und einem im Vergleich zu anderen Messverfahren wettbewerbsfähigen Preis. Einzigartig: Die Konfiguration des Geräts und das Ablesen der Messwerte kann einfach via Bluetooth mittels Smartphone oder Tablet erfolgen. Hierfür steht die kostenfreie App SmartCare für Apple iOS und Android zur Verfügung. Das macht selbst Geräte, die an schwer zugänglichen Orten montiert sind, leicht erreichbar.

Druckmessung überall

Ob bei der Trinkwasseraufbereitung, der Abwasserreinigung oder der Meerwasserentsalzung – Druckmessgeräte werden praktisch überall benötigt. Mit **Cerabar M** und **Deltabar M** deckt Endress+Hauser sämtliche Standardanwendungen ab. Die Drucktransmitter der Reihe Cerabar M werden zur Füllstand-, Volumen- oder Massemessung eingesetzt. Mit ihrer robusten Keramikmesszelle und der integrierten Membranbrucherkennung bieten sie einen hohen Grad an Prozesssicherheit. Die Differenzdrucktransmitter der Reihe Deltabar M dienen zur Differenzdrucküberwachung – in Filtern und Pumpen oder bei der Durchflussmessung.

Methanwerte im Griff

Hohe Feuchtigkeit, Kondensat, Schmutz, stark schwankende Prozessdrücke – die Gas-Volumenstrommessung am Faulturm einer Kläranlage ist eine echte Herausforderung. Doch die zuverlässige Kontrolle der Gasmenge und des Methangehalts ist entscheidend, um die Energieerzeugung aus Faulgas optimal zu steuern. Mit dem Ultraschall-Durchflussmessgerät **Proline Prosonic Flow B 200** bietet Endress+Hauser eine Lösung für diese schwierige Aufgabe. Abwechselnde Laufzeitmessungen in beide Richtungen – stromauf- und -abwärts – ermitteln den Volumenstrom. Das Gerät erfasst zusätzlich zur Schallgeschwindigkeit auch die Gastemperatur und kann so zugleich den Methangehalt mit hoher Genauigkeit bestimmen.

Durchflusskontrolle im Netz

Die magnetisch-induktive Durchflussmessung hat sich seit vielen Jahren bewährt – und wird deshalb standardmäßig in vielen Wasser-/Abwasser-Anwendungen eingesetzt. Mit dem **Proline Promag L 400** bietet Endress+Hauser dafür ein besonders vielseitiges Messgerät mit integriertem Webserver, das Volumenfluss und Leitfähigkeit erfassen kann. Dank des Losflansch-Konzepts (bis 300 Millimeter Durchmesser) und anderen Flanschoptionen für Durchmesser bis 2.400 Millimeter lässt es sich einfach installieren. Die Heartbeat-Technologie ermöglicht die permanente Selbstüberwachung und In-situ-Verifikation.

Spurenstoffe unter der Lupe

Schwermetalle, Nanopartikel, Rückstände von Arzneimitteln: im Abwasser wie im Trinkwasser kommen viele kritische Substanzen vor. Analytik Jena, die Laboranalytische-Tochter von Endress+Hauser, hat sich auf das Aufspüren solcher Verunreinigungen spezialisiert. Das **PlasmaQuant MS** misst selbst winzige Mengen eines Stoffes. Die hohe Empfindlichkeit (wenige Nanogramm je Liter) erleichtert insbesondere den Nachweis von Nanopartikeln wie etwa Titanoxid aus Sonnencreme oder Silber aus Textilien. Das Gerät arbeitet nach dem Prinzip der Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS).

Texte: Reinhard Huschke
Illustration: Ralf Marczinczik

