

Bakterielle Wasserüberwachung – präzise, online und vor Ort

Bei vielen Wasserversorgern ist der Einsatz von Online-Messmethoden Stand der Technik. Verfügbare Überwachungssysteme erfassen bisher jedoch lediglich die physikalischen, optischen und chemischen Messgrößen. Was fehlte, war ein zuverlässiges Messsystem für den Vor-Ort-Einsatz, das den mikrobiologischen Zustand des Wassers sowie die Bakterienaktivität in kurzzeitigen Abständen erfasst. Der Schweizer Firma Metanor gelang es, alle erforderlichen Arbeitsschritte in ein prozesstaugliches Gerät zu integrieren und diese Überwachungslücke in der Wasserwirtschaft zu schließen.

Fragile Wasserressourcen

Wasser, das scheinbar in unbeschränkter Menge aus unseren Hähnen sprudelt, wird zur Mangelware, selbst wenn wir es hier noch nicht gravierend bemerken. Aus der immer höheren Bevölkerungsdichte und der immer intensiveren Landwirtschaft resultiert eine Übernutzung der vorhandenen Wasserressourcen. Der Natur wird mehr Wasser entnommen, als sie wieder bereitstellen kann. Die Verweilzeiten des Wassers im Boden sinken, das natürliche Wiederaufbereitungssystem wird an seine Grenzen gebracht. Wasserübernutzung lässt nicht nur den Grundwasserspiegel sinken, auch die Qualität des Rohwassers nimmt ab. Übernutzung ist die treibende Kraft der globalen Wasserkrise.

Erhöhter Wasserbedarf und sich verschlechternde Rohwasserqualität machen vor allem den Wasseraufbereitern zu schaffen. Immer öfters liest man von verunreinigtem Trinkwasser in einzelnen Regionen. Um die Qualitätsstandards zu garantieren, wird eine ständige Wasserüberwachung zur Notwendigkeit, punktuelle Messungen im Labor sind lückenhaft und ungenügend. Messsysteme und Sensoren zur permanenten Überwachung vor Ort werden schon angeboten und gewinnen immer mehr an Bedeutung. Bei einigen Wasserversorgern ist der Einsatz von Online-Messmethoden bereits Stand der Technik (**Bild 2**).

Verfügbare Überwachungssysteme erfassen jedoch lediglich die physikalischen, optischen und chemischen Messgrößen wie etwa Temperatur, Durchfluss, Druck, Leitfähigkeit, Trübung (NTU), pH-Wert, Monochloramine, Fluorverbindungen, Nitrate und so weiter.

Was bis heute fehlte, war ein zuverlässiges Messsystem für den Vor-Ort-Einsatz, das den allgemeinen und den hygienischen mikrobiologischen Zustand des Wassers, sowie die Bakterienaktivität in kurzzeitigen Abständen erfasst. Der Schweizer Firma Metanor gelang es nun, alle erforderlichen Arbeitsschritte in ein prozesstaugliches Gerät zu integrieren, das die Messdaten online übermittelt. Entwickelt wurde der Online Bacteria Analyzer (OBA) über mehrere Jahre in Zusammenarbeit mit der Wasserversorgung Zürich und diversen Schweizer Hochschulen. Das innovative Gerät misst mittels Durchflusssytemetrie (**Bild 3**).



Online Bacteria Analyzer (OBA) mit durchflusssytemetrischer Detektion

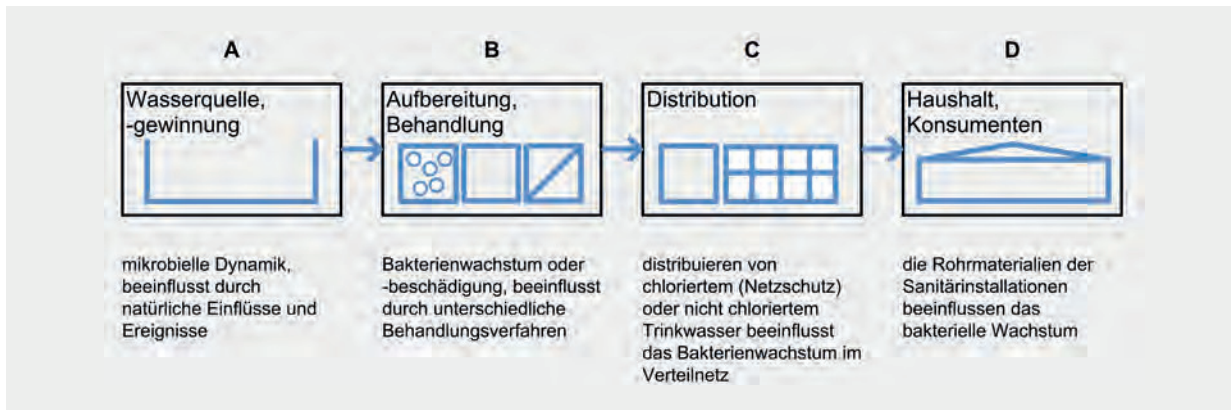


Bild 2: Potentielle, mikrobiologische Kontamination bei Wassergewinnung und -distribution

Kontrolle von der Quelle bis zum Endverbraucher

Kontaminationen können an allen Stationen der Wasseraufbereitung auftreten - und auch überall in situ gemessen werden. Bei Quellen und Oberflächenwasser lohnt es sich, eine Verschmutzung durch zum Beispiel starken Regen und Hochwasser frühzeitig zu erkennen. In der Aufbereitung kann die Kinetik von Zellschädigungen während diverser Desinfektionsprozesse (Chlorung, Ozonung) oder das Bakterienwachstum in biologischen Filtern verfolgt werden. Im Verteilnetz unterscheidet In-situ-Messung zwischen einer dezentralen und einer zentralen Kontamination. Auch in Industrie- und Hausinstallationen kann Trinkwasser noch verschmutzen, beziehungsweise wiederverkeimen, deshalb wird hier das mikrobielle Verhältnis zu unterschiedlichen Materialien untersucht, mit denen das Wasser in Kontakt kommt.

Wann ist Wasser sauber?

Die Qualität des Trinkwassers wird seit über hundert Jahren primär mit der AMK-Methode ermittelt. Das heisst, eine Probe wird auf einem Nährboden 48 bis 72 Stunden lang bebrütet, damit vorhandene Bakterien zu Kolonien

heranwachsen können. Aerobe, mesophile Keime (AMK) zeigen die allgemeine, mikrobiologische Qualität des Wassers an, die coliformen Bakterien Escherichia Coli und Enterokokken sind ein Indikator für die Verschmutzung durch Fäkalien.

Um auch nicht kultivierbare Zellen zu messen, erweist sich Durchflusszytometrie als ideale Lösung. Das Verfahren wird in der Medizin und Biologie seit den 1970er-Jahren unter anderem für Routinediagnostik eingesetzt. Es vermag mittlerweile minimalste Grössen zu detektieren, und einige Wasseranalyzelabors setzen bereits erfolgreich Labordurchflusszytometer ein. Durch Verwenden derselben Messmethode ist ein direkter Vergleich von Resultaten aus der Online-Überwachung mit jenen der Labors möglich.

Die Menge der kultivierbaren Keime ist üblicherweise sehr klein. Die mit Durchflusszytometrie errechnete Gesamtzellzahl (GZZ) ist um ein Vielfaches höher als die über AMK ermittelte Zahl. Das Trinkwasser der Stadt Zürich enthält zum Beispiel laut AMK-Methode zwischen 0 und 10 Zellen/ml. Durchflusszytometrie detektiert zwischen 80'000 und 100'000 Zellen/ml. Einen Zusammenhang zwischen AMK-Kolonien und der Gesamtzellzahl gibt es

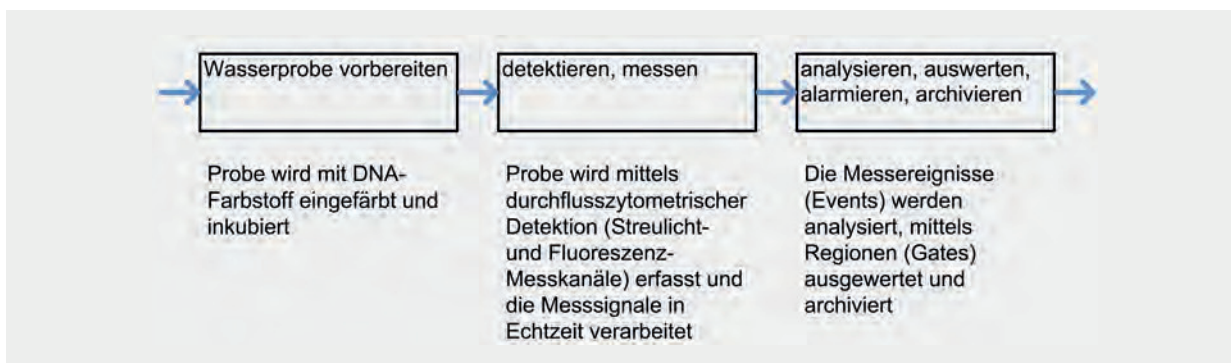


Bild 3: Prozessschritte des Online Bacteria Analyzers

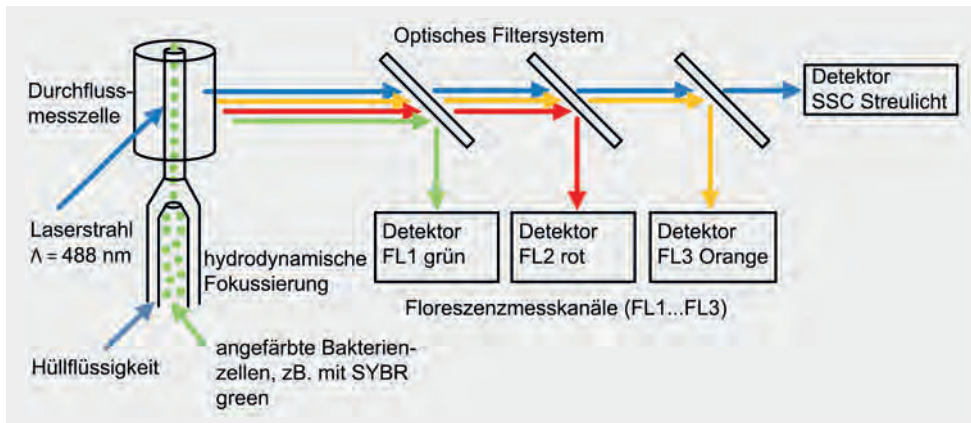


Bild 4: Streulicht- und Fluoreszenzmessung mittels Durchflusszytometrie des Online Bacteria Analyzer (OBA)

nicht, da der Anteil an kultivierbaren Zellen stark variiert. Auch wenn sie an der mikrobiologischen Wasserqualität nichts ändern, setzen solche Riesenzahlen doch ein Umdenken voraus, seitens der Wasserversorger als auch der Konsumenten.

Massgeschneiderte Genauigkeit

Durch Einfärben der Wasserprobe mit DNA-Farbstoffen unterscheidet die Durchflusszytometrie organische Zellen von DNA-freien, anorganischen Partikeln. SYBR Green erzeugt eine Grünfluoreszenz der DNA oder RNA. Propidiumiodid (PI) kann die beschädigte Membran von toten Zellen durchdringen, jedoch nicht die intakte von lebenden Zellen; so können lebende von toten Mikroorganismen unterschieden werden.

Nach dem Anfärben und Inkubieren werden Zellen und Partikel einzeln durch eine Glaskapillare geschleust und mit einem fokussierten Laserstrahl beleuchtet. Trifft der Laser auf eine Zelle oder ein Partikel, wird das gestreute Licht im Streulichtkanal erfasst und über Fluoreszenzkanäle gemessen (Bild 4).

Wasser ist nicht gleich Wasser

Wasserproben unterscheiden sich in ihrer mikrobiologischen Struktur. Werden nach dem Erfassen der einzelnen Zellen/Partikel (Events) die Signale zweier Messkanäle anhand ihrer Signalstärke dargestellt, erhält man je nach Kombination entsprechende Fluoreszenz- und Streulichtbilder, so genannte Dotplots, auf denen nun Gates (Bereiche) definiert werden können. Das Auswerten der Gates ergibt zum Beispiel Auskunft über die Gesamtzahl der Ereignisse (GZZ), über die Mengen der LNA (low nucleic acid) und HNA (high nucleic acid) enthaltenden Bakterien oder über aktive und beschädigte

Zellen (Bild 5). Durch wertmässige Festlegung von Gates und Kombinationen unterschiedlicher Gates in einzelnen oder mehreren Plots können Alarmbedingungen definiert werden. Erreicht die Wasserqualität die vordefinierten Werte, wird automatisch ein Alarm oder eine Warnung ausgelöst: akustisch, optisch, über E-Mail, durch Signale an eine programmierbare Steuerung (PLC) oder via Ethernet (Modbus/TCP).

Grundsätzlich funktioniert Online-Überwachung durch Vergleichen zweier oder mehrerer Messungen.

Jedes Wasser hinterlässt seinen spezifischen „Fingerabdruck“, eine Art Wolkenbild, das entsteht, wenn auf dem Plot zwei Messkanäle dargestellt werden.

Messungen desselben Wassers im Zeitlauf, etwa alle 30 Minuten, zeigen bei konstanten Bedingungen nur geringfügige Änderungen auf dem Plot. Tritt ein Ereignis ein - etwa die Infiltration durch Regenwasser, eine Kontamination durch Jauche oder eine funktionale Störung im Aufbereitungsprozess - verändern sich die darauffolgenden Fluoreszenz- und Streulichtbilder innert kurzer Zeit (Bild 6).

Die Messdauer, mittels AMK-Methode noch 72 Stunden, reduziert sich mit Flowzytometrie signifikant. Nach wenigen Minuten stehen präzise, realistische Resultate über die mikrobielle Qualität des Wassers zur online Verfügung. Auf kritische Veränderungen kann unverzüglich reagiert werden.

Automatisch sicher

Durch Früherkennung mikrobiologischer Veränderungen können wenige Minuten später Massnahmen eingeleitet werden, automatisiert oder nach Sichtung der Messdaten. Enorme Folgekosten werden verhindert, falls in den Wasserleitungen wirklich mal etwas passieren sollte. Man stelle sich etwa einen Bioterrorismusanschlag in einem Kongresszentrum vor, in dem gerade ein Staatstreffen stattfindet. Ein Krankenhaus der einen Lebensmittelkonzern, dessen Wasserzuleitung durch die einsickernde Jauche eines nahe gelegenen Bauernhofes kontaminiert wird.

Der Online Bacteria Analyzer misst in hoher Auflösung alle 15 Minuten, Tag und Nacht, mindestens zwei Wochen lang unbeaufsichtigt, stabil und ausfallsicher (fail-safe), und schafft somit hohen Kundennutzen. Ein

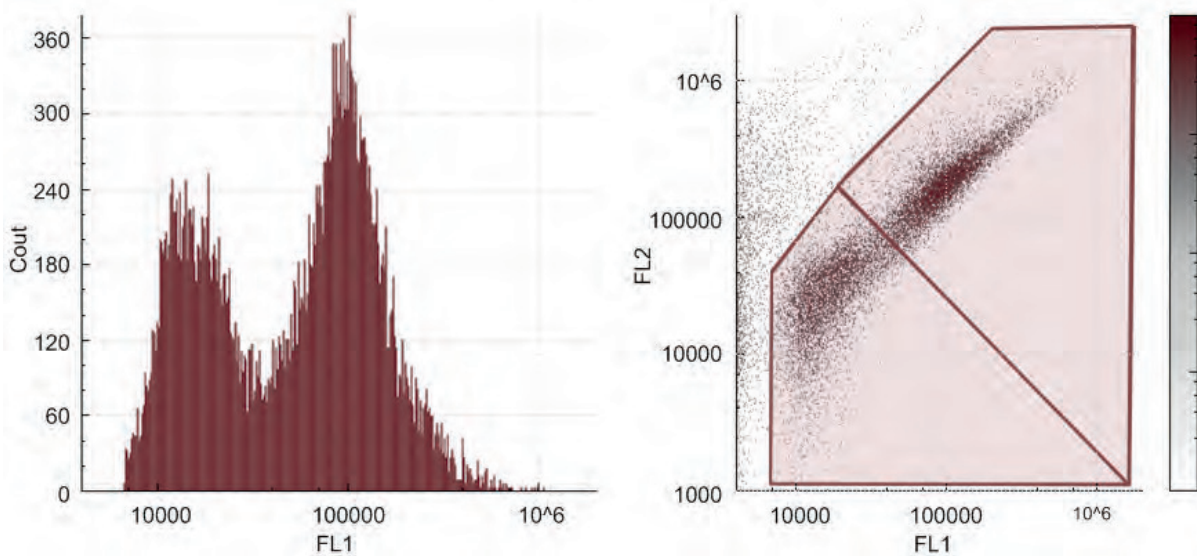


Bild 5: Beispiel einer definierten Region (GZZ) in einer Flusswasserprobe mit der Unterteilung in HNA und LNA Bakterien

OBA bietet Sicherheit rund um die Uhr. Er ist über Geräteschnittstellen einfach in ein Gesamtsystem integrierbar, seine Prozessschritte sind völlig automatisiert. Der OBA ist das erste autonome Messgerät, das den komplexen Anforderungen für den Einsatz in der gesamten Wassergewinnungs- und Distributionskette entspricht. In der Industrie nimmt die Häufigkeit von Laboranalysen des Wassers tendenziell zu, so auch die entsprechenden Budgetposten. Beim Einsatz einer Online-Überwachung fallen Labor- und Probenentnahmekosten gänzlich weg. Angesichts dieser Kostenersparnisse und der Schadenprävention durch unbemerkte Kontamina-

tionen sind die Anschaffungskosten eines OBA mehr als verhältnismässig.

AUTOR

- ▶ **MARTIN KUHN**
 Metanor AG
 Regensdorf, Zürich
 Schweiz
 Tel.: 041 71 969 69 19
 info@metanor.com
 www.metanor.com

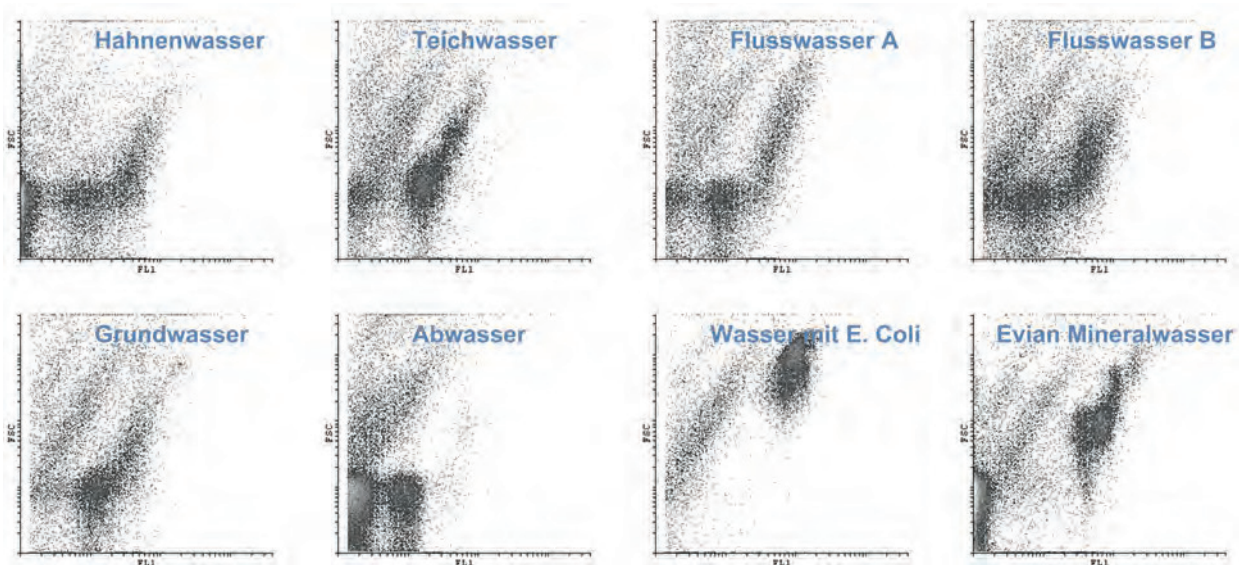


Bild 6: Dotplots diverser Wasserproben. Darstellung unter Streulicht und grünem FL1 Messkanal (Quelle: EAWAG, Dübendorf)