

## Hygienische Auffälligkeiten frühzeitig erkennen

Vollautomatisierte Online-Erfassung hygiene-relevanter Parameter in wasserführenden technischen Systemen als wertvoller Baustein im Water Safety Plan und Bestandteil des Risikomanagements senkt Gesundheitsrisiken.

Wasser ist bekanntlich nicht steril, und Biofilm-Bildung in technischen wasserführenden Systemen unvermeidbar. Daher ist es für die Betreiber solcher Anlagen wichtig zu wissen, dass von den Systemen bzw. dem darin verteilten Wasser keine Gesundheitsgefährdung ausgeht. Zu technischen wasserführenden Systemen gehören bspw. Trinkwasserversorgungssysteme, Berieselungs- oder Vernebelungsanlagen (z. B. Lebensmittelauslagen, kühlende Wassernebel in Fußgängerzonen/Freizeitparks), Springbrunnen, offene Rückkühlsysteme, Badewasser etc. Bei Trinkwasserinstallationen öffentlich (z. B. Kindergärten, Krankenhäuser, Pflegeheime, Hotels) und gewerblich (z. B. Mietshäuser) genutzter Gebäude sowie mobilen Trinkwasser-Anlagen regelt die TrinkwV deren Überwachung und schreibt regelmäßige Kontrollen und mikrobiologische Untersuchungen vor. Mit Umsetzung der neuen EU-Trinkwasserrichtlinie wird wohl das Risikomanagement für die gesamte Trinkwasserversorgung inkl. Hausinstallation hinzukommen. Für Rückkühlwerke und Kühltürme sieht die 42. BImSchV in

Verbindung mit den VDI-Kühlturmregeln als Teil der allgemein anerkannten Regeln der Technik mindestens eine monatliche Untersuchung auf Gesamtkeimzahl sowie eine vierteljährliche Kontrolle auf Legionellen und *P. aeruginosa* vor. Auch im Schwimmbad-Bereich sind monatliche Überwachungen des hygienischen Zustands des Badewassers nach DIN 19643 erforderlich.

Die behördliche Überwachung und geltende Grenzwerte bzw. Maßnahmenwerte der Rechtsvorschriften und Regelwerke richten sich seit über 100 Jahren nach den kulturell nachweisbaren Organismen und deren Konzentrationen als Kolonie-bildende Einheiten pro Untersuchungsvolumen. Die zugelassenen Nachweis-Verfahren basieren auf Wachstum, und das benötigt Zeit: je nach Spezies und Methodik mindestens 24 h, bis hin zu zehn Tagen (Legionellen). Das rechtzeitige Erkennen einer aufkommenden Kontamination ist durch die großen Untersuchungsintervalle (meist 1x/Jahr) und der langen Analysedauer oft nicht möglich. Dazu kommt die Schwierigkeit, einmal im Biofilm eingestete, etablierte Erreger wieder sicher zu entfernen, da hier eine Schleimschicht die Bakterien widerstandsfähiger gegen mechanische Kräfte, chemische Reiniger und Desinfektionsmittel etc. macht.

Von einer präventiven bzw. permanenten Desinfektion jedoch ist, wann immer möglich, entsprechend dem Minimierungsgebot abzusehen. Das betonen auch VDI 2047 Blatt 2 sowie UBA-Empfehlungen zum Trinkwasser.

### Regelmäßiges Monitoring ist unerlässlich

Dennoch ist der Betreiber der jeweiligen Anlagen verantwortlich für deren hygienische, also gesundheitliche, Sicherheit. Die Ableitung hieraus ist: konsequentes, regelmäßiges Eigen-Monitoring in kürzeren Abständen und ggf. Reinigung.

Physiko-chemische Parameter eignen sich messtechnisch gut, um Veränderungen im Wassersystem generell zu beobachten. Hier gibt es bereits gute Online-Messtechnik auf dem Markt. Leider liegen dem grundsätzlich kausalen Zusammenhang zwischen einigen physikalischen Messgrößen bzw. chemischen Wasserinhaltsstoffen mit der hygienisch-mikrobiologischen Wasserqualität keine über den Einzelfall hinausgehenden statistisch signifikanten und damit analysetechnisch prädiktiv verwertbaren Kausalzusammenhänge zu Grunde. Nach solchen allgemein gültigen Korrelationen (z. B. Temperatur, Leitfähigkeit, Trübung, DOC etc.), die das Auftreten von hygienisch bedenklichen Mikroorganismen sicher anzeigen könnten, wurde in den vergangenen Jahren vergeblich gesucht. Mikrobiome bzw. Biozönosen in den unterschiedlichen Wässern sind dafür zu individuell oder noch zu wenig verstanden [1, 2].

Daher ist ein kontinuierliches oder zeitlich engmaschiges, im Falle komplexer Systeme auch räumlich engmaschiges Monito-



Bild 1: Einzelmodul aquaSafer® für Wasseranalyse und -konditionierung (abweichende Ausführung aus technischen Gründen möglich)

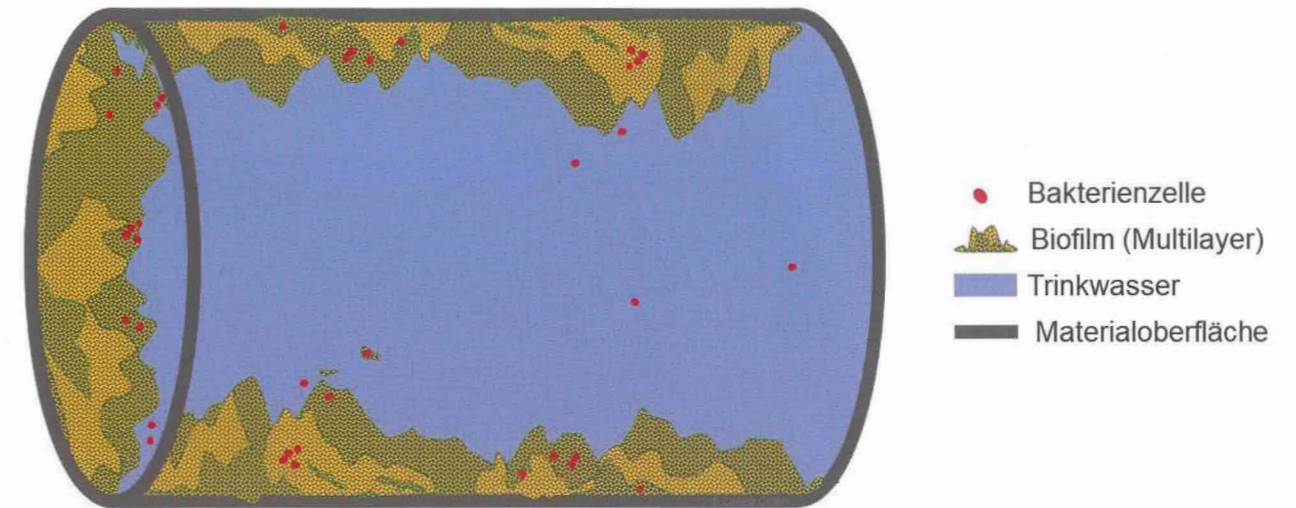


Bild 2: Schematische Darstellung der Einnistung und Freisetzung von Krankheitserregern bei bestehendem Biofilm in technischen wasserführenden Systemen

ring des hygienisch-mikrobiologischen Status von Trinkwasser, Brauchwasser und Kühlwasser mit einem Testsystem, das die Ergebnisse innerhalb einer Stunde liefert, im Interesse der Betreiber wassertechnischer Anlagen. Probenahme und Analyse sollten möglichst vor Ort, maximal automatisiert und natürlich zu einem vertretbaren Preis durchgeführt werden.

### Frühzeitiges Erkennen ermöglicht frühzeitige Maßnahmen

Mit einer solchen Früherkennung hygienischer Auffälligkeiten ließen sich bei kritischem Befund unverzüglich Maßnahmen ergreifen, um die Gefahr einer Infektion oder gar eines Ausbruchs zu minimieren bzw. verhindern. Erste Hinweise einer Verschlechterung der mikrobiellen Wasserqualität könnten so frühzeitig erkannt werden. Zeitnahe Ursachenforschung und geeignete Gegenmaßnahmen unterbinden das „Einnisten“ von Legionellen oder Pseudomonaden im Biofilm. Dies wäre besonders für hoch sensible Bereiche medizinischer Nutzung ein Gewinn, wo Wasser auch für pharmazeutische und therapeutische Zwecke (Hämodialysewasser, Therapiebecken, Gebärrwannen etc.), in Reinigungs- und Desinfektionslösungen oder zur Aufbereitung medizinischer Geräte verwendet wird. Eine regelmäßige „Online-Überwachung“ der „normalen Hausinstallation“ und Spezial-Wässer könnte nosokomiale Infektionen deutlich verringern. Eingebunden in einen Water Safety Plan der Gebäude gelänge so ein echter Mehrwert in Sachen Risikomanagement und Patientensicherheit; für andere wasserführende Systeme gilt analoges für Risikomanagement und Bevölkerungssicherheit.

Der Trend von Wissenschaft und Technik geht daher zunehmend in Richtung schnellerer molekularbiologischer Nachweise. Bekannte Methoden sind vielfältig und basieren im Wesentlichen auf folgenden Grund-Mechanismen:

- selektiver Gennachweis (Polymerase-Kettenreaktion/PCR),
- selektiver Spezies-Nachweis mit spezifischen Oberflächenantikörpern (ELISA),

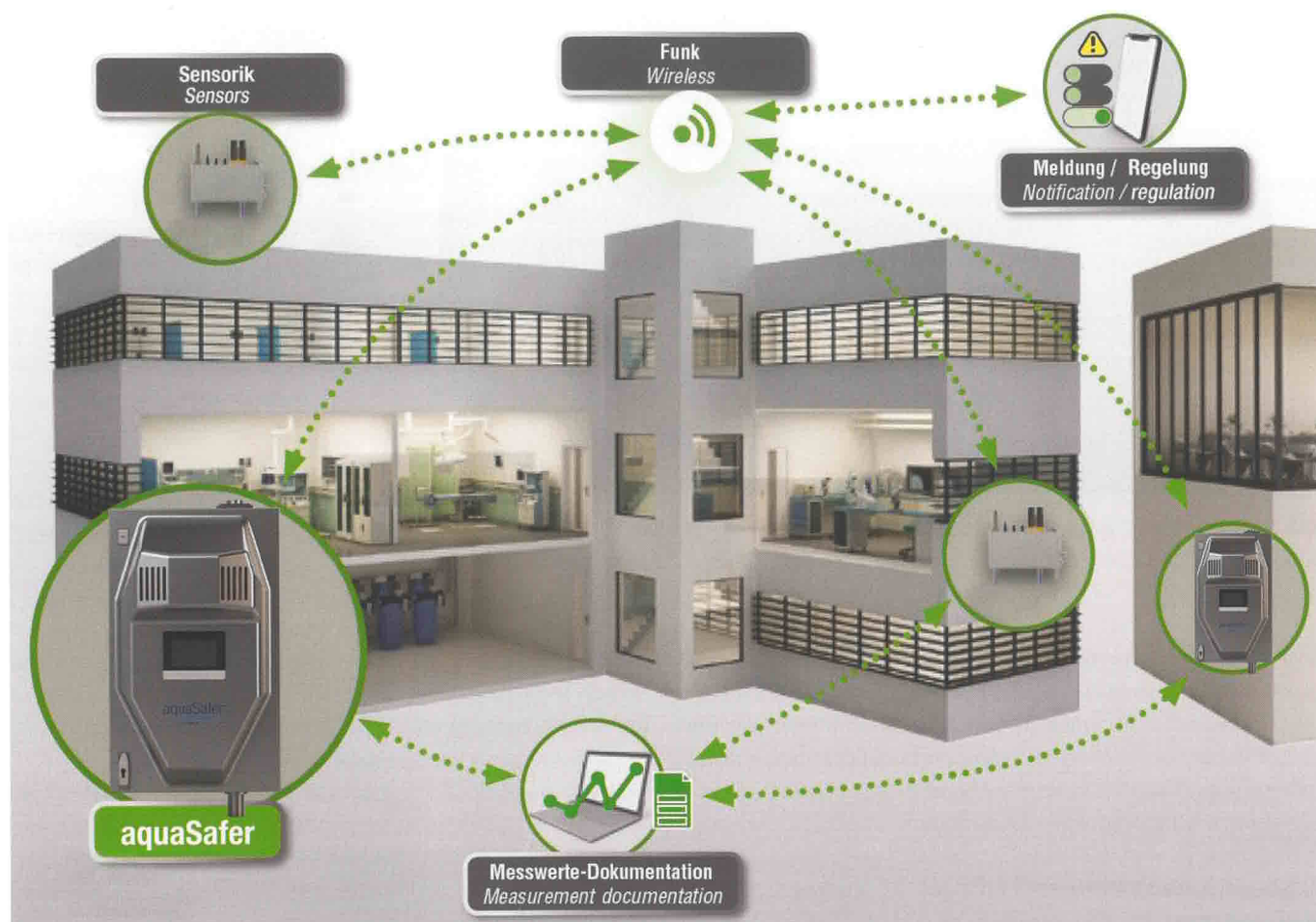
- Zellzählungen mittels Durchflusszytometrie und Mikroskop-basierten Verfahren,
- Stoffwechsel-Aktivitätstests (Enzyme, z. B. ATP-Umsatz).

Bisher sind die Verfahren noch so aufwendig, die verwendeten Nachweis-Reagenzien so empfindlich und die benötigten Gerätschaften so unhandlich, dass die Systeme nur in Fachlaboren sichere Ergebnisse liefern. Eine echte Online-Erfassung hygiene-relevanter Parameter ist aktuell noch Zukunftsmusik.

### Projekt entwickelt Online-Monitoringsystem

Hier setzt aktuell ein Kooperations-Projekt der Carela GmbH mit dem Hygieneinstitut einer namhaften Universität und einem führenden Unternehmen der Bilddatenverarbeitung an, mit Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz über das Zentrale Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM). Ziel des laufenden Vorhabens ist die Weiterentwicklung eines Online-Monitoringsystems, aquaSafer® (Bild 1), zur Überwachung des hygienischen Status von Trinkwasser, Brauchwasser, Prozesswasser und Schwimmbadwasser. Gekoppelt mit der Carela Carebox (Wasserkonditionierungssystem) kann so als Sofortmaßnahme im Akutfall gezielt kurzfristig und temporär desinfiziert werden, wenn Krankheitserreger im Wasser nachgewiesen werden. Das Gesundheitsrisiko für Patienten im Krankenhaus, immun-supprimierte Menschen in Pflegeeinrichtungen und andere Wassernutzer, vor allem öffentlicher und gewerblicher Einrichtungen, wird damit bereits minimiert, während noch nach der Kontaminations-Ursache gesucht wird. Im Folgenden wird die beabsichtigte technologische Neuentwicklung kurz vorgestellt: Entstehen soll ein innovatives Online-Monitoringsystem mit dem der hygienische Zustand des Wassers zeitnah überwacht werden kann. Der Fokus liegt neben der Bakterien-Gesamtzahl zunächst auf *P. aeruginosa* und Legionellen in Trink- und Prozesswasser. Diese Bakterien können z. B. tödliche Lungenentzündungen oder Wundinfektionen auslösen. Im Gegensatz zu den gängigen Kultivierungsverfahren im Rahmen behördlicher





**Bild 3:** Einsatzvarianten des online-Monitoring-Systems aquaSafer® zur vollautomatisierten Überwachung des hygienischen Status von wasserführenden technischen Systemen, hier am Beispiel einer Trinkwasser-Installation.

Überwachung werden auch „schlafende“ Zellen im VBNC-Status (viable but non-culturable = lebend, aber nicht kultivierbar) erfasst. Da solche Bakterien wieder in den pathogenen Zustand zurückkehren können [3], sind sie zur Gefährdungsabschätzung wichtig. Aus den erwähnten Biofilmen lösen sich immer wieder Plaques oder einzelne Bakterien, die das Wasser belasten (**Bild 2**). Deshalb sollen die Wasserproben mengenproportional im Bypass entnommen werden. Durch Entwicklung einer speziellen Entnahmematur sollen alle Organismen aus dem Wasserstrom aufgefangen werden: mittig freischwimmende sowie aus Biofilmen an den Rohrwandungen freigesetzte Mikroorganismen. Die Erreger-Aufkonzentration und -Analyse erfolgt über Membranfiltration, selektive immunomagnetische Separation und Fluoreszenz-Markierung. Die Signale können mittels Mikro-Kamera hochempfindlich abgelesen werden. Das innovative Online-Überwachungsverfahren besteht am Ende aus einer Kaskade automatisierter Verfahrensschritte, die vor Ort in einem kompletten Automatisationsmodul durchgeführt werden. Herausforderungen der Automatisierung außerhalb einer Laborumgebung stellen die Robustheit und einfache Handhabbarkeit der Methode und Geräte, Lagerfähigkeit der Materialien und Reagenzien sowie Platzbedarf dar. Wichtig für eine sichere Identifizierung und Quantifizierung sind hohe Wiederfindungsraten > 90 % sowie höchstmögliche

Sensitivität, Spezifität und prädiktive Genauigkeit der Analysen gegenüber den Zielorganismen. Existierende Systeme erreichen bei großen Probevolumina (bis 1.000 l) oft nur Wiederfindung um 50 % und weisen hohe Messunsicherheiten auf. Die geplante Digitalisierung der Ergebnisse nebst bei Probenahme oder kontinuierlich überwachter physiko-chemischer Begleitparameter (z. B. pH-Wert, Leitfähigkeit, Wassertemperatur, Stoffkonzentrationen) ermöglicht zudem Trendanalysen von Zeitreihen, um auch generelle minimale Qualitätsveränderungen frühzeitig erkennen und darauf reagieren zu können. Die Vorteile eines solch vollautomatisierten Online-Verfahrens, dessen Produkteinführung demnächst ansteht, für die Betreiber einer wassertechnischen Anlage sind: Im Vergleich zur konventionellen Analytik bedeutet die kurze Analysedauer eine höhere Sicherheit, die sich durch engmaschige Untersuchungen bzw. Online-Bestimmung noch steigern lässt. Dies versetzt den Betreiber in die Lage, im Falle einer Kontamination sofort angemessen reagieren zu können und Maßnahmen einzuleiten. Jede wassertechnische Anlage lässt sich mit einzelnen Modulen aus dem Carebox-System oder dem umfassenden aquaSafer®-System nachrüsten (**Bild 3**). Gekoppelt an die Online-Analyseeinheit kann so ereignisbezogen im Falle nachgewiesener Krankheitserreger jenseits akzeptabler/vertretbarer Konzentra-

tionen temporär vollautomatisiert eine Wasserdesinfektion starten. Dies verschafft dem Betreiber Handlungsspielraum für die notwendige Ursachensuche und deren Beseitigung, dem Nutzer eine höhere Sicherheit und somit ein verringertes Gesundheitsrisiko. Wasser-übertragenen Krankheiten kann somit zukünftig effektiv vorgebeugt werden.

Zu der Zeitersparnis wegen geringer Analysedauer kommt eine doppelte Kostenersparnis: eigenständige in-house Überwachung im Gegensatz zu externer Beauftragung der Analytik inkl. Probenahme und geringe Analysekosten je Probe. Zudem kann im Sinne des Minimierungsgebots die Konzentration eingesetzten Desinfektionsmittels (z. B. Chlordioxid oder Hypochlorit) – ebenso wie die weiterer Wasserconditionierungsmittel – mittels eigenständiger, in das System integrierbarer peripherer Messkomponenten nicht nur in-line ermittelt und dokumentiert, sondern auch automatisiert nachgesteuert werden. Ein i. d. R. am Zielstrang eingebundenes Messmodul kommuniziert dafür (über die Cloud oder unmittelbar) mit der Basiseinheit Carebox. Wer nicht auf diese als Gesamtsystem konzipierte Neuentwicklung warten möchte, kann bereits aktuell auf die bereits bewährten Komponenten/Einzelsysteme aus dem Carebox Programm und aquaSafer®-System zurückgreifen. Ein zeitnahes Monitoring von *Legionella pneumophila* kann optional vorübergehend mit einem externen, ebenfalls über Carela erhältlichen Benchtop-Analysegerät erfolgen. So lässt sich bereits jetzt ein erster – zugegeben nicht ganz so komfortabler – Schritt in Richtung Risikomanagement und Gesundheitsschutz umsetzen.

#### Quellen:

- [1] Pinto, A.J., Schroeder, J., Lunn, M., Sloan, W., Raskin, L. (2014): Spatial-temporal survey and occupancy-abundance modeling to predict bacterial community dynamics in the drinking water microbiome. *mBio*, 5(3): e01135-14
- [2] Thom, C., Smith, C.J., Moore, G., Weir, P., Ijaz, U.Z. (2022): Microbiomes in drinking water treatment and distribution: A meta-analysis from source to tap. *Water Res* 212: 118106
- [3] Dwidjoswojo, Z., Richard, J., Moritz, M.M., Dopp, E., Flemming, H.-C., Wingender, J. (2011): Influence of copper ions on the viability and cytotoxicity of *Pseudomonas aeruginosa* under conditions relevant to drinking water. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 214, 485-492

#### Autoren:

Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil med. Christiane Schreiber  
 Dr. rer. nat. Michael Reisgys  
 Julian Krumrey, MEng. Verfahrenstechnik  
 Rudolf Kampf, Dipl.-Ing. (FH) Maschinenbau  
 Bernd Krumrey, Dipl.-Biologe

Carela GmbH  
 b.krumrey@carela.com  
 Tel. 0623 72240  
 www.carela-group.com

#### Auf der IFAT:

Halle B2, Stand 241/340