

Glühwürmchen erhellen Prozesse zur sicheren Wasseraufbereitung

Überwachung der mikrobiellen Belastung

Die biologische Kontamination von Wasser stellt ein großes Risiko für Anlagen und Geräte sowie nicht zuletzt für die menschliche Gesundheit dar. Probleme können z.B. beim Rohwasserzulauf, bei Kühlwasseranlagen, bei der Umkehrosmose-Entsalzung und bei der Trinkwasserverteilung auftreten. Wasserversorger, Öl- und Gasanlagen, Chemieunternehmen, Entsalzungsanlagen, Rechenzentren, Abfüllanlagen und Kraftwerke messen daher die mikrobielle Belastung, um Korrosion zu minimieren, die Anlagenleistung zu optimieren und Ausbrüche von Krankheitserregern wie Legionellen zu vermeiden. Bisher mussten dafür aufwendige Laboranalysen durchgeführt werden. Eine neue Online-Technologie (basierend auf dem chemischen Prozess, den Glühwürmchen anwenden, um Partner anzulocken), verbessert die Effektivität, Geschwindigkeit und die Qualität der Überwachung erheblich.

Im folgenden Artikel erläutern wir die Gründe für die Überwachung der mikrobiellen Belastung, die Funktionsweise der neuen Technologie und deren Vorteile gegenüber herkömmlichen Methoden. Darauf folgen drei kurze Fallstudien, in denen Anwender die Vorteile der kontinuierlichen Messungen mit dem EZ7300 Analysator von Hach® beschreiben. Dieses Gerät ist der weltweit erste mikrobiologische Analysator, der nach der "Glühwürmchen-Methode" arbeitet.

Gründe für die Überwachung der mikrobiellen Belastung

Das Vorhandensein von Mikroorganismen in Wasser stellt für eine Vielzahl von Branchen, bei denen Wasserreinheit groß geschrieben wird, ein Problem dar. Das liegt daran, dass sich die starke Vermehrung von Mikroorganismen auf die Effizienz der Anlage auswirken kann. Gelangen diese Organismen in die Luft, können sie auch die menschliche Gesundheit beeinträchtigen.



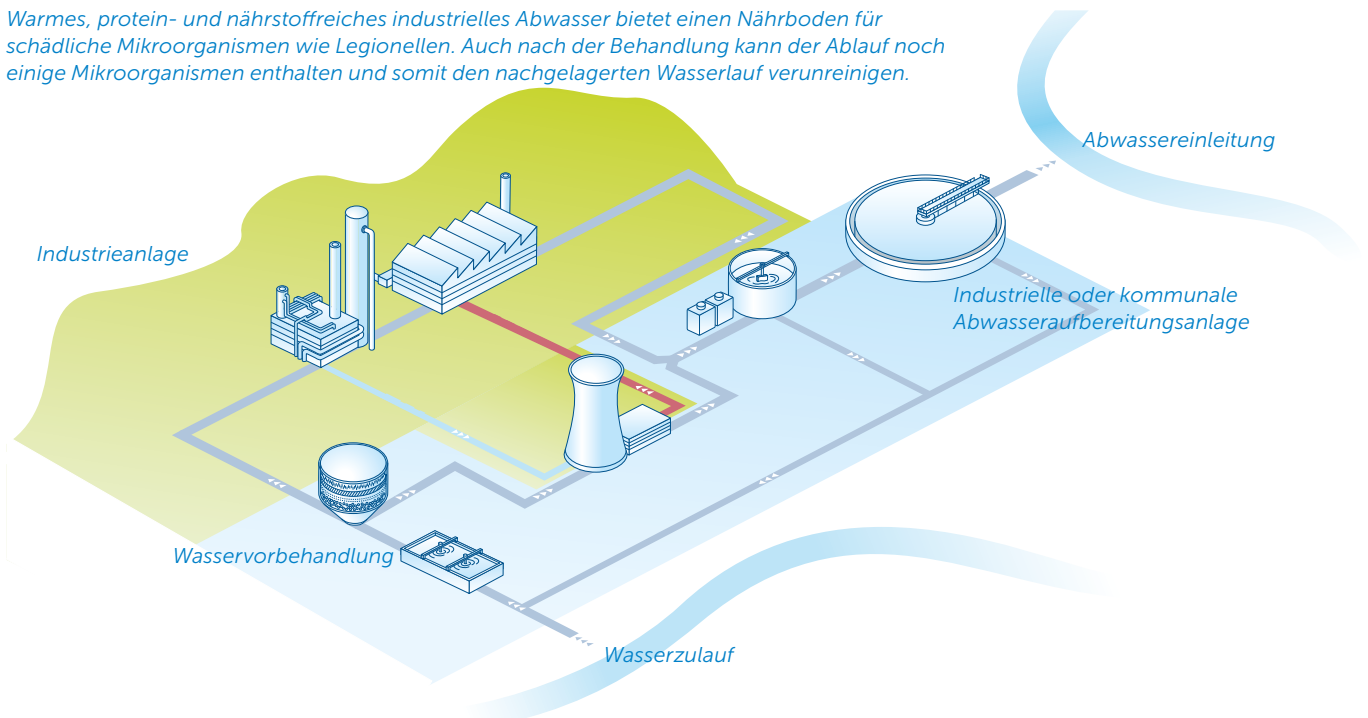
Standard-Tests zur Bestimmung der Gesamtkeimzahl erfordern eine lange Inkubation. Wenn die Ergebnisse endgültig vorliegen, ist es zu spät, um darauf zu reagieren.

Wasseraufbereitungssysteme, insbesondere solche mit Umwälzung, begünstigen das Wachstum von Mikroorganismen, wodurch sich Biofilm und Schleim entwickeln. Ein Biofilm ist eine Ansammlung von organischer und anorganischer, lebender und nichtlebender Substanz auf einer Oberfläche. Biofilme können Wirkungen von Desinfektionsmitteln reduzieren, den Bakteriengehalt erhöhen, den gelösten Sauerstoff verringern sowie Geschmacks- und Geruchsprobleme verursachen. In Biofilmen können Bakterien, Pilze und höhere Organismen wie Nematoden, Larven und sogar Krustentiere enthalten sein.

Wenn Biofilme unkontrolliert wachsen, können Filter und Rohrleitungssysteme verstopfen. Das Vorhandensein eines Biofilms verändert die Umgebung der betroffenen Oberfläche und verursacht anaerobe und anodische Bedingungen. Dies führt zu elektrochemischen Potentialdifferenzen zwischen besiedelten und nicht besiedelten Stellen und fördert so die zu Korrosion. Biofilme bilden ebenfalls häufig lokale Bereiche mit niedrigem Sauerstoffgehalt, in denen fermentative Mikroorganismen organische Säuren produzieren und damit den pH-Wert senken. Die Verbreitung von Anaerobiern, wie z.B. sulfatreduzierenden Bakterien, hat eine Sulfidbildung zur Folge. Dieses führt bei ablaufenden Redoxreaktionen letztlich dazu, dass metallisches Eisen zu Eisen²⁺-Ionen oxidiert wird. Also kommt es zu unerwünschter Korrosion.

Überwachung der mikrobiellen Belastung

Warmes, protein- und nährstoffreiches industrielles Abwasser bietet einen Nährboden für schädliche Mikroorganismen wie Legionellen. Auch nach der Behandlung kann der Ablauf noch einige Mikroorganismen enthalten und somit den nachgelagerten Wasserlauf verunreinigen.



Eine hohe mikrobielle Belastung kann zur Bildung von Aerosolen führen, die gefährliche Bakterien, wie z.B. Legionellen enthalten. Da Legionellen in lungengängiger Form (Aerosol) für den Menschen eine Gefahr darstellen, können Infektionen in unzureichend kontrollierten Warmwassersystemen, Kühltürmen und Verdunstungskondensatoren auftreten. Legionellose ist eine potenziell tödlich verlaufende Krankheit. In den meisten Ländern sind Arbeitgeber verpflichtet, eine angemessene und ausreichende Bewertung der Risiken zu treffen, die von jeder Arbeit ausgehen, bei denen Mitarbeiter oder Personen ohne Beschäftigungsverhältnis mit gesundheitsgefährdenden Stoffen in Berührung kommen.

In vielen Anwendungen werden Biozide dem Wasser zugesetzt, um zu verhindern, dass Mikroorganismen entstehen. Die Effektivität dieses Prozesses muss überwacht werden – nicht nur, um sicherzustellen, dass er die gewünschte Wirkung zeigt, sondern auch, um die Häufigkeit und Konzentration der Dosierung zu optimieren.

Die frühzeitige Erkennung einer mikrobiologischen Kontamination ermöglicht weitere Untersuchungen, um die Ursache durch spezifische Nachweismethoden zu ermitteln. Damit können rechtzeitig Korrekturmaßnahmen ergriffen werden.

Der wichtigste Grund für die Überwachung ist die Vermeidung aller Risiken, die entstehen können. Das mikrobielle Wachstum kann zu Schäden an Anlagen und sogar zum deren Stillstand führen. Das ist mit erheblichen finanziellen Verlusten verbunden. Es stellt aber auch eine potentielle Gefahr für die menschliche Gesundheit dar.

Kontinuierliche Überwachung der mikrobiellen Belastung – Funktionsweise

Die „Glühwürmchen-Methode“ ASTM D4012-81 wurde als eine schnellere und effizientere Alternative zu traditionellen

mikrobiellen Tests, wie die Markierung von Zellen, die Auszählung von Platten oder Trübungsmessungen entwickelt. Es handelt sich dabei um eine schnelle, empfindliche Bestimmung lebensfähiger Biomasse von Mikroorganismen durch Messung von Adenosintriphosphat (ATP).

ATP ist der Energieträger des Lebens und liefert als solches einen zuverlässigen Indikator für einen lebenden Organismus. Die Messung von ATP imitiert die chemische Reaktion von Glühwürmchen, wobei ATP und Luziferin Licht in einer Reaktion erzeugen, die durch das Enzym Luziferase katalysiert wird. Dieses erzeugte Licht ist proportional zur Menge an ATP in der Probe.

Der Analysator EZ7300 entnimmt kontinuierlich Proben mit einem Analysenzyklus von 10 bis 15 Minuten. Pro Gerät können bis zu 8 verschiedene Probenströme gemessen werden.

In der ersten Phase des Messvorgangs wird der ATP-Spiegel in einer „Rohprobe“ gemessen – dies entspricht dem extrazellulären (oder „nicht lebenden“) ATP. In der zweiten Stufe werden die Zellen der Probe mit einem Ultraschallverfahren (nicht chemisch) lysiert, und das „lebende“ ATP wird freigesetzt. Anschließend wird eine zweite Messung durchgeführt, die das „Gesamt-ATP“ in der Probe ergibt. Den Unterschied zwischen diesen beiden Messungen stellt das „lebende“ ATP dar, das proportional zur Menge der lebenden Mikroorganismen in der Probe ist.

Mit einer Nachweisgrenze von 0,05 Pikogramm ATP pro mL ist der EZ7300 in der Lage, bei sehr niedrigen Gehalten zu messen ($0,05 \text{ pg} \approx 50$ Bakterien der Größe von *E. coli*). Der Messbereich reicht bis über 200 pg/mL^* .

Es gibt bereits portable Geräte, die den Vorteil der ATP-Methode nutzen. Der Hach Analysator EZ7300 ist jedoch das erste Gerät, das diese Technik zu einer kontinuierlichen Überwachung erfolgreich einsetzt.

Die Vorteile der kontinuierlichen Überwachung

Vor der Erläuterung der offensichtlichen Vorteile der kontinuierlichen Überwachung ist es wichtig, die Unterschiede zwischen der ATP-Methode und den traditionellen Techniken zu kennen, die im Allgemeinen die Kultivierung von Ziel- oder Indikatororganismen beinhalten. Diese Methoden kultivieren in der Regel weniger als 1 % der Bakterien in einer Probe, sodass sie keine optimalen Aussagen zur Bakterienbelastung liefern. Sie sind auf Erfahrungen des Bearbeiters angewiesen und unterliegen somit auch ganz subjektiven Abweichungen.

Bei der Laboranalyse kommt es zu einer erheblichen Verzögerung zwischen der Entnahme einer Probe und der Lieferung eines Ergebnisses. Im Gegensatz dazu ist der EZ7300 in der Lage, eine Analyse in weniger als 15 Minuten durchzuführen und das 24 Stunden am Tag, 365 Tage im Jahr. Diese Datenkontinuität schafft neue Möglichkeiten der Prozesssteuerung. Die Bereitstellung von Daten in nahezu Echtzeit ermöglicht es dem Anlagenbetreiber, sofort auf veränderte Bedingungen zu reagieren. Diese schnelle Reaktion bringt entscheidende Vorteile und ist mit einer Stichprobenmessung nicht möglich.

Einer der wichtigsten Vorteile der kontinuierlichen Überwachung ist die Möglichkeit, den Zeitpunkt und das Ausmaß von Spitzen in den Daten aufzuzeichnen. In Kombination mit anderen Prozessdaten hilft dies, die Ursachen solcher Spitzen zu ermitteln und entsprechende Maßnahmen zur Risikominderung zu treffen. Die mikrobielle Belastung kann unter bestimmten Bedingungen (z.B. bei einem Ausfall von Bioziddosiergeräten) sehr schnell ansteigen. Die zeitliche Verzögerung bei Messungen von diskreten Laborproben birgt ein hohes Risiko im Vergleich zur nahezu sofortigen Reaktion eines kontinuierlichen Analysators.

Mit der Möglichkeit, Proben bis zu sechs Mal pro Stunde zu entnehmen, kann der EZ7300 große Datensätze generieren, was die statistische Signifikanz der Ergebnisse erheblich verbessert. Da Anlagenbetreiber mittlerweile den Nutzen von „Big Data“ erkennen, können Prognosealgorithmen, intelligente Systeme und künstliche Intelligenz entwickelt werden.

Mikrobiologen sind in der Regel hochqualifiziert, und sollten ihre Zeit nicht mit aufwendigen Laboranalysen verschwenden. Mit der kontinuierlichen Überwachung können diese Mitarbeiter für wichtigere Aufgaben wie Prozessoptimierung und die Analyse von Ursache und Wirkung der von den Messgeräten bereitgestellten Daten eingesetzt werden. Darüber hinaus bedeutet der hohe Arbeits- und Materialaufwand bei der Laboranalyse, dass diese pro Probe um ein Vielfaches teurer ist als die vom EZ7300 verwendete Methode.

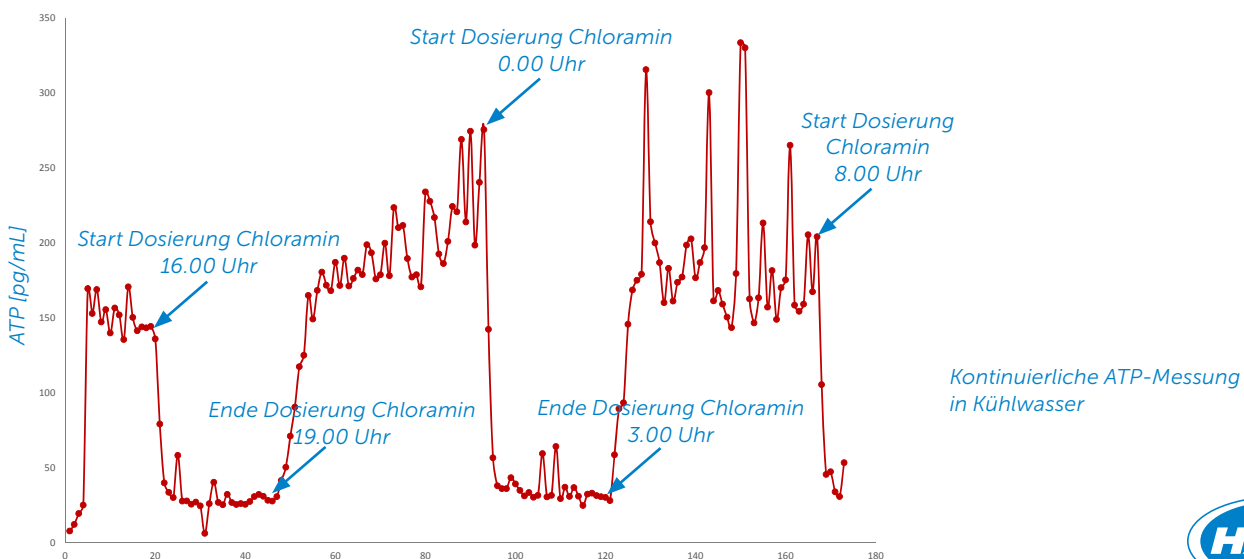
Fallstudie: Stromerzeugung, Indiana, USA

Es gibt zwei wesentliche Faktoren, die die Dosierungsstrategie von Bioziden in den Kühltürmen eines Kraftwerks bestimmen. Einmal können die Betriebsvorschriften die Höhe und den Zeitpunkt der Dosierung vorschreiben und andererseits muss die Dosierungsstrategie der mikrobiellen Belastung im Wasser entsprechen, die unter Umständen variieren kann.

Die Betreiber eines Kraftwerks in Indiana benötigten Echtzeitinformationen, um die Biozidbehandlung zu optimieren. Diese Daten waren erforderlich, um festzustellen, ob eine intermittierende oder eine kontinuierliche Dosierung (mit einer geringeren Konzentration an Chloraminen) effizienter und kostengünstiger ist. Darüber hinaus war es notwendig, die mikrobielle Gesamtbelastung im Kühlwasserkreislauf und in den Kühltürmen zu reduzieren. Die Bildung von Biofilm und das damit verbundene Risiko eines Legionellenausbruchs durch den großen Kühlturm musste verringert werden.

Der EZ7300 Analysator von Hach wurde installiert und innerhalb von zwei Monaten zeigten sich deutlich die Vorteile der kontinuierlichen Überwachung. Die Daten der intermittierenden Bioziddosierung offenbarten deutliche Auswirkungen auf den ATP-Spiegel und somit die mikrobielle Belastung (siehe Grafik).

Basierend auf den Ergebnissen überwacht das Unternehmen nun kontinuierlich zwei Probenströme, um die Bioziddosierung zu optimieren und eventuelle Risiken zu minimieren. Ein zweiter Analysator wurde zusätzlich angeschafft, um das Brauchwassersystem eines Schwesterkraftwerks zu überwachen.



Fallstudie: Trinkwasseraufbereitung, Nevada, USA

Rohwasser kann Mikroorganismen wie Bakterien, Viren und Protozoen enthalten, die ein Risiko für die menschliche Gesundheit darstellen, wenn es nicht effektiv behandelt und desinfiziert wird. Eine erfolgreiche Wasseraufbereitung umfasst das Entfernen und/oder die Inaktivierung von pathogenen Mikroorganismen, um die Ausbreitung von Krankheiten zu verhindern. Das Entfernen pathogener Organismen erfolgt durch Koagulation, gefolgt von Sedimentation und Filtration. Im Gegensatz dazu bezieht sich die Inaktivierung von Krankheitserregern auf die Wirkung eines Desinfektionsmittels mit Zerstörung der Zellstruktur der Mikroorganismen oder mit Inaktivierung ihres Stoffwechsels, der Biosynthese oder ihrer Wachstums- und Fortpflanzungsfähigkeit. Bei Bakterien wird diese Inaktivierung durch die Unfähigkeit gemessen, Kolonien zu bilden. Herkömmliche Tests messen daher „koloniebildende Einheiten“. Bei Viren bedeutet Inaktivierung die Unfähigkeit, Plaques in Wirtszellen zu bilden. Bei Kryptosporidien Oozysten z.B., bedeutet Inaktivierung die Unterbindung der Vermehrung und somit die Verhinderung der Infektion eines Wirtes mit Kryptosporidien.

Für die Einhaltung der Trinkwasserverordnung sind Standardlaboruntersuchungen erforderlich. Es ist jedoch klar, dass der Erfolg der Desinfektion von der Inaktivierung aller Mikroorganismen abhängt; nicht nur derjenigen, die als Indikatororganismen getestet werden. Mit der Fähigkeit, alle „lebenden“ Organismen zu messen, ist die kontinuierliche Überwachung von ATP daher ein ausgesprochen nützliches Instrument zur Messung der Desinfektionswirksamkeit.

Im Jahr 2017 installierte eine große Wasseraufbereitungsanlage in Nevada (2,3 Millionen Kubikmeter pro Tag) den EZ7300 Analysator von Hach in einer Ozon-Desinfektionsanlage zur Behandlung von Rohwasser. Die Betreiber waren sehr zufrieden mit den Ergebnissen, denn durch die kontinuierlichen Daten erhielten sie einen viel besseren Einblick in den Prozess und konnten die Desinfektion optimieren. Damit wurde eine bessere Leistung bei gleichzeitiger Kostenminimierung erreicht.

Die Installation war so erfolgreich, dass ein weiteres Gerät für den Desinfektionsprozess mit Chlorgas in Trinkwasser angeschafft wurde. Mit diesem EZ7300 wird nun die Desinfektion kontinuierlich optimiert und die erfolgreiche Inaktivierung von Mikroorganismen gesichert.

Fallstudie: Biologische Filteroptimierung – Trinkwasser, Minnesota, USA

Biologische Filter entfernen Verunreinigungen auf drei Wegen: biologischer Abbau, Adsorption von Mikroverunreinigungen und Filtration. Spezielle Mikroorganismen auf dem Filtermedium bauen organische Masse zu Kohlendioxid, Wasser, Biomasse und einfacheren organischen Molekülen ab.

Die biologische Aufbereitung entfernt zahlreiche Verunreinigungen und vermeidet die chemische Behandlung vor Filtration und Sedimentation. Im Vergleich zu anderen Trinkwasseraufbereitungstechnologien, die Schadstoffe getrennt entfernen, zerstört und entfernt die biologische Aufbereitung mehrere Schadstoffe gleichzeitig und reduziert die Schlammproduktion.

Biologische Filter senken die Kosten für Chemikalien, können aber nur mit einer gesunden Population von speziellen Mikroorganismen auf dem Filtermedium effizient funktionieren. Die Funktion eines biologischen Filters kann durch indirekte Messungen von Parametern wie pH-Wert und gelöstem Sauerstoff bewertet werden. Eine direkte Messung von Mikroorganismen im Zu- und Abfluss ist jedoch wesentlich nützlicher.

Im November 2015 wurde ein Prototyp des EZ7300 zur Überwachung eines biologischen Filters in einer preisgekrönten Wasseraufbereitungsanlage in Minnesota eingesetzt. Durch die gleichzeitige Überwachung von Zu- und Abfluss konnte das Gerät die Effizienz der Biomasseabscheidung des Filters unter verschiedenen Bedingungen messen. Vor allem durch die Messung von freiem und intrazellulärem ATP konnte der Analysator auch die Effizienz der Entfernung von lebensfähigen Mikroorganismen nachweisen.

Die Anlagenbetreiber waren von den Fähigkeiten des Analysators beeindruckt. Im Mai 2017 wurde ein neues Gerät installiert, das seitdem im Dauerbetrieb arbeitet und die biologische Filterleistung überwacht. Darüber hinaus nutzen die Mitarbeiter im Unternehmen die Möglichkeit auch Proben aus anderen Abteilungen des Betriebs mit diesem Gerät zu messen. Dadurch sind sie z.B. in der Lage, die mikrobiell induzierte Korrosion zu untersuchen.

Zusammenfassung

Das Feedback von Anwendern des Hach EZ7300 war äußerst positiv. Die meisten von ihnen schätzen die zahlreichen neuen Möglichkeiten, die die kontinuierliche Überwachung bietet. Die ATP-Analysatoren bieten einen deutlich besseren Einblick in die Prozessbedingungen als je zuvor. Sie tragen dazu dabei, die Prozesssteuerung zu optimieren und die Risiken mikrobieller Belastung zu minimieren.