

Wolfgang Vogl

Mikrobiologische Belastung von Wasser messen

Die Qualität des Wassers bestimmen: Ergebnisse aus drei Jahren mikrobiologischem Online-Monitoring in Feldtests.



Bild 1 Messgerät ColiMinder im Uferfiltrat-Brunnen

Quellen: VWM

Weltweit wird viel Aufwand betrieben, um die mikrobiologische Qualität des Wassers zu gewährleisten. Das von Vienna Water Monitoring Solutions (VWM) entwickelte Gerät namens ColiMinder* gewährleistet die kontinuierliche Überwachung der Wasserqualität mit bis zu 48 automatischen Messungen pro Tag.

Die Messmethode

VWM hat das Messgerät ColiMinder zur raschen und voll automatischen Messung der mikrobiologischen Belastung von Wasser bereits hier (in Heft wwt 4/2016) präsentiert und auch die Messmethode im Detail beschrieben. Daher an dieser Stelle nur eine kurze Beschreibung.

Einführung zur Messmethode

Die in den Geräten der VWM verwendete Methode misst die Stoffwechselaktivität der in der Probe vorhandenen Bakterien in Form

ihrer spezifischen enzymatischen Aktivität, anstelle der bisher verwendeten (mehrere Tage dauernden) Bakterienkultur. Die gemessene Aktivität ist Maß für den Grad der

Kontamination. Diese Enzymaktivität (metabolische Aktivität) ist das stärkste messbare Lebenszeichen der vorhandenen Mikroorganismen was die Messung von diesem Ansatz her sehr zuverlässig macht. Eine vollautomatische Messung dauert 15 Minuten gefolgt von einem etwa ebenso langen automatischen Reinigungszyklus. Die ColiMinder-Geräte sind damit in der Lage, die bakterielle Belastung einer Probe 48-mal pro Tag vollautomatisch zu messen.

Rückblick: Traditionell verwendet man die Vermehrung lebender Keime in Kulturen für deren Nachweis. Dabei wird mit unterschiedlichen Methoden bestimmt, wie viele Kolonien die im Probevolumen vorhandenen Mikroorganismen bilden. Die Eigenschaft Kolonien zu bilden ist die Messmethode. Die Anzahl der koloniebildenden Einheiten pro 100 ml Probe ist das Maß (KBE/100 ml). Diese Methode ist sehr anschaulich und selbsterklärend da sie direkt mit einer Eigenschaft lebender Keime verbunden ist, wenn Kolonien wachsen sind Bakterien vorhanden. Die Grenze der traditionellen Methode ist die Zeit, da das Wachstum der Kolonien nicht beschleunigt werden kann, dauert es ein bis drei Tage bis ein Ergebnis vorliegt. Die neue Methode basiert ebenso auf einer Eigenschaft „lebender“ Mikroorganismen, die jedoch schnell ein Ergebnis liefert, weil nicht auf das Wachstum der Kulturen gewartet werden muss.

Neben dem Wachstum und der Bildung von Kolonien ist der Stoffwechsel bzw. die Stoffwechselaktivität der Bakterien eine grundlegende und direkt mit „lebenden“ Bakterien verknüpfte Größe.

Die enzymatische Messmethode liefert als Ergebnis die enzymatische Aktivität pro Probevolumen, anstatt der gewohnten koloniebildenden Einheiten (KBE). Zwischen den beiden Einheiten gibt es keine fixe Um-

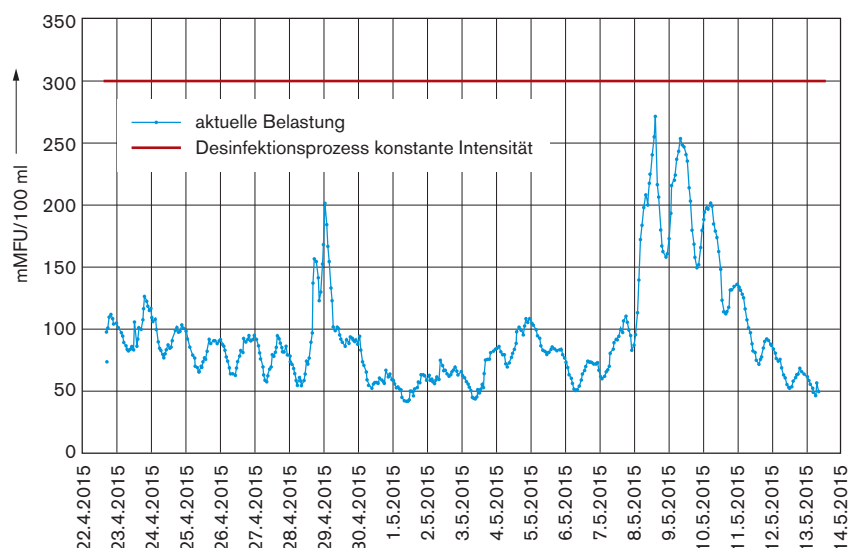


Bild 2 Gemessener Kontaminationsverlauf am Auslauf einer Kläranlage (blau)

* Es handelt sich um Produkte und Verfahren mit eingetragenen Markenzeichen.

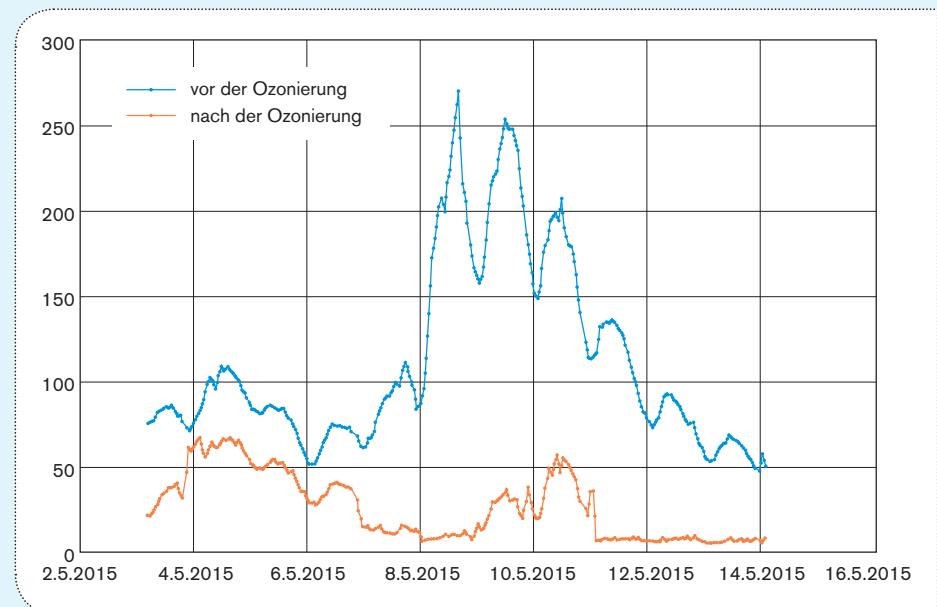


Bild 3 Gemessener Kontaminationsverlauf vor und nach der Ozonierung

Quellen (5): VWM

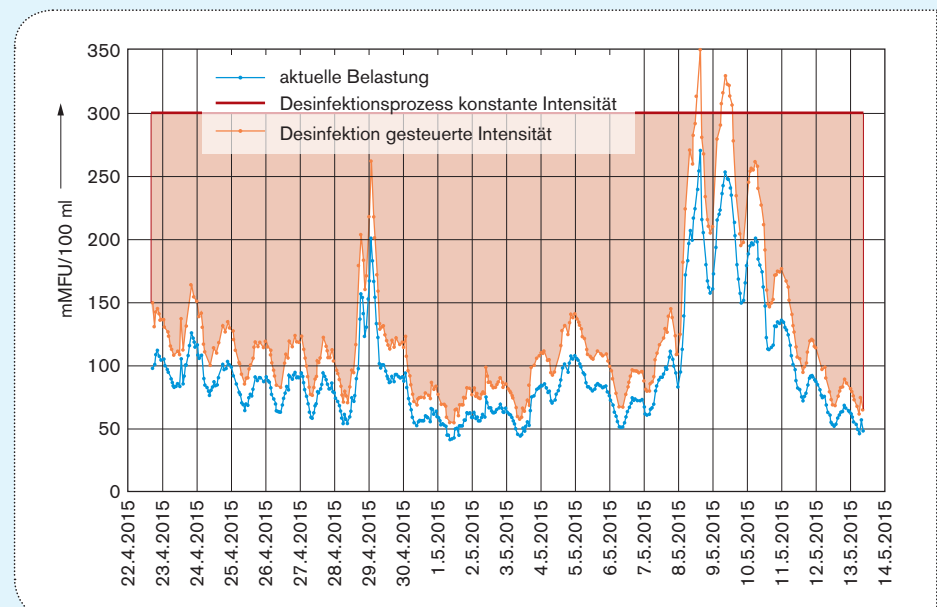


Bild 4 Einsparungspotenzial durch einen an die vorhandene Kontamination angepassten Desinfektionsprozess

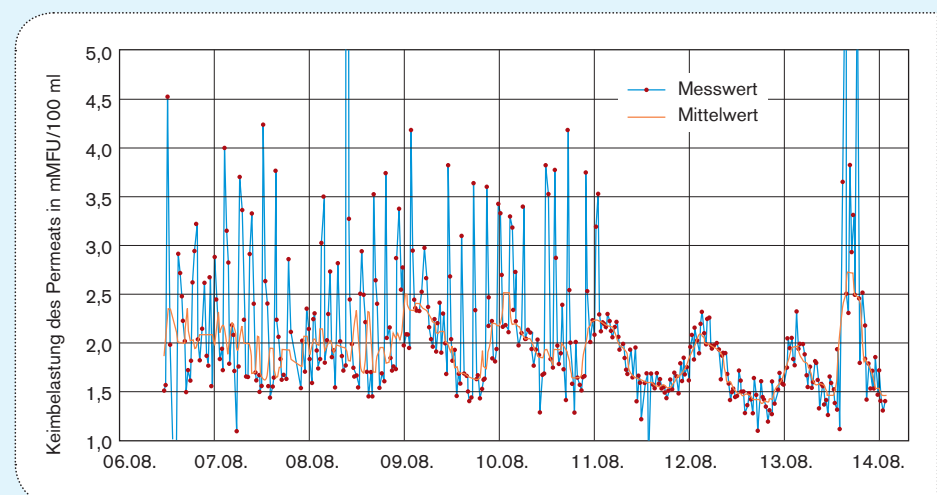


Bild 5 Kontaminationsverlauf nach einer Ultrafiltrationsstufe zur Keimelimination

rechnung, weil sie auf der Betrachtung unterschiedlicher Eigenschaften der Mikroorganismen beruhen.

Der Grund dafür ist, dass nicht alle Bakterien die über einen Stoffwechsel verfügen, auch Kolonien bilden d. h. die enzymatische Methode liefert auch dann noch ein Messsignal wenn die Bakterien zwar vorhanden sind und Stoffwechsel betreiben, aber keine Kolonien mehr bilden.

Der große Vorteil der enzymatischen Methode ist ihre Geschwindigkeit und die vollautomatische Messung. Musste man bisher drei Tage warten und das Ergebnis im Labor auswerten, hat man hier nach 15 Minuten ein Ergebnis. Das Ergebnis und der Verlauf kann online verfolgt werden oder man erhält eine E-Mail-Warnung zum Beispiel wenn ein Grenzwert überschritten wird oder ein Problem auftritt. Diese Tatsachen eröffnen eine Fülle an Möglichkeiten. Die Kosten pro Messung sind dabei vergleichsweise gering. Es besteht somit erstmals die Möglichkeit den zeitlichen Verlauf der mikrobiologischen Belastung online zu messen und damit das Verhalten von Prozessen und Wassersystemen in Echtzeit zu verfolgen. Man kann sich natürlich auch mit dem Gerät über eine Wasseroberfläche bewegen, die Verteilung der Belastung messen und dann grafisch darstellen (Mapping, für andere Parameter bereits üblich), und ist jetzt auch für die mikrobiologische Belastung möglich.

Einheiten

Die Geräte sind auf die Definition von enzymatischer Aktivität kalibriert, das bedeutet, das Ergebnis zur aktuellen Belastung einer Probe wird jeweils entsprechend der wissenschaftlichen Definition für die enzymatische Aktivität des gemessenen Enzymes angegeben. Für die E.coli Messung wird das Enzym β -Glucuronidase verwendet, die zugehörige Einheit sind Modified Fishman Units und das Messergebnis wird in mMFU/100 ml, also tausendstel MFU pro 100 ml, dargestellt. Für die Gesamtkeimzahl wird die Alkaline Phosphatase Aktivität gemessen, die zugehörige wissenschaftliche Einheit sind Diethanolamin Units oder DEAU, hier lautet das Ergebnis μ DEAU/100 ml.

Einsatz und Applikationen

Die möglichen Einsatzbereiche der Technologie sind sehr vielfältig und umfassen verschiedenste Anwendungen, bei denen entweder eine permanente Überwachung der Keimbelastung oder auch nur ein rasches Ergebnis erwünscht ist. Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Prozessüberwachung und Steuerung besonders interessant. Als Beispiel: der Einsatzbereich Desinfektion. Desinfektion, also die gezielte Reduktion einer vorhandenen mikrobiologischen Kon-

tamination, ist sicher einer der bedeutendsten Wasserbehandlungsprozesse, der natürlich mit Risiken behaftet und mit Prozesskosten verbunden ist. Mit dem zunehmenden weltweiten Wasserbedarf und der daraus folgenden Notwendigkeit, Wasser vermehrt aufzubereiten und wieder zu verwenden, steigt das Bedürfnis, diese Prozesse effizient und sicher zu gestalten.

Angenommen das Wasser aus einer Kläranlage wird in ein Badegewässer geleitet oder soll für die Bewässerung in der Landwirtschaft weiterverwendet werden, dann muss dem Klärprozess (der üblicherweise keine Entkeimung beinhaltet) zusätzlich noch ein Desinfektionsprozess nachgeschaltet werden, um die nötige Wasserqualität zu gewährleisten.

Es ist einleuchtend, dass der zur Entkeimung nötige Aufwand – die nötige Prozessintensität – vom Grad der Keimbelastung abhängt. Die blaue Linie in Bild 2 zeigt den gemessenen Kontaminationsverlauf am Auslauf einer großen Kläranlage (3,3 Mio. EW). Deutlich ist ein Tagesgang der Belastung zu erkennen, überlagert von einer doch erheblichen zeitlichen Veränderung in der Belastung der Emissionen. Würde man einen Desinfektionsprozess installieren, beispielsweise eine Ozonierungsanlage, so wäre die für die Desinfektion nötige Leistung von der aktuellen Belastung abhängig. Bild 3 zeigt die Belastung der unbehandelten Emissionen (blau) und nach einer Ozonbehandlung (orange). Diese Messungen wurden in Kooperation mit dem Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft der Technischen Universität Wien durchgeführt, dabei wurde die Ozonierungsstufe auf jeweils unterschiedlicher Ozongeneratorleistung betrieben, was eine unterschiedliche Desinfektionsleistung zur Folge hatte. Diese Messungen erfolgten mit einem ColiMinder-Gerät, wobei automatisch jeweils abwechselnd das Wasser vor und nach der Ozonierungsanlage gemessen wurde.

Die Keimbelastung in derartigen Anlagen ist allerdings üblicherweise nicht bekannt, da Laborergebnisse erst 24 Stunden später vorliegen. Der Desinfektionsprozess muss daher auf die maximal zu erwartende Belastung ausgelegt sein (rote Linie in Bild 2), um zu gewährleisten, dass auch im Falle von Kontaminationsspitzen der angestrebte Grenzwert für die Belastung der Emissionen nicht überschritten wird.

Ist jedoch die aktuelle Kontamination bekannt (Bild 4, blaue Linie) dann kann der Desinfektionsprozess in seiner Intensität an die aktuell vorhandene Kontamination angepasst werden (Bild 4, orangefarbene Linie). Die Fläche zwischen der orangenen und der roten Linie in Bild 4 ist dabei ein Maß für die möglichen Einsparungen in erforderlicher Desinfektionsintensität, und damit verbundenen Prozesskosten. Das kann bei der Ozonierung

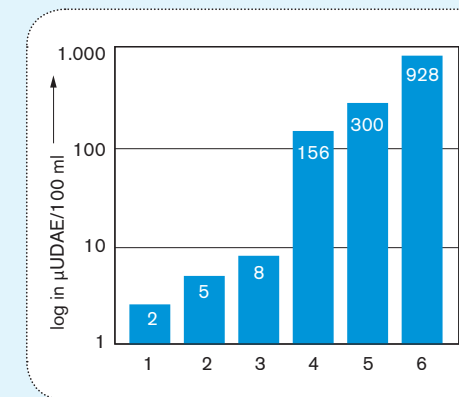


Bild 6 Logarithmische Darstellung des Kontaminationsgrades unterschiedlicher Proben

die Leistung des Ozongenerators sein oder bei einer Chlorierung die Dosis an Chlor die eingesetzt wird, um die nötige Desinfektionswirkung zu erzielen. Der Einsatz der enzymatischen Messmethode kann hier nicht nur helfen die Prozesskosten drastisch zu reduzieren, dadurch dass ein Gerät zwei Proben abwechselnd messen kann, ist es auch gleichzeitig in der Lage, das Prozessergebnis und damit die „Prozessperformance“ zu überwachen.

Membranintegrität

Um beim Beispiel Kläranlagen zu bleiben hier noch eine Anwendung in einer Krankenhauskläranlage mit Keimelimination durch Ultrafiltration. Hier soll über eine Ultrafiltrationsstufe dafür gesorgt werden, dass keine Bakterien aus der Krankenhauskläranlage in die Umwelt gelangen. Bekannt ist die Membranintegrität (die Unversehrtheit und damit die korrekte und fehlerfreie Funktion der Membrane) schwer zu überprüfen. Über die Messung der bakteriellen Belastung, die infolge einer schadhafte Membrane zwangsläufig auftritt, jedoch ist ein derartiger Fehler sofort zu

erkennen. Mit klassischen Methoden ist das allerdings schwer umsetzbar, da das Ergebnis hier ja erst einen Tag später vorliegt. Außerdem wäre es wirtschaftlich nicht vertretbar, routinemäßig 48 klassische Untersuchungen täglich durchzuführen.

In dieser Installation wird der ColiMinder verwendet, um fehlerhafte Membraneinheiten zu erkennen. Das Gerät misst hier die Belastung des Permeats, also des Krankenhausabwassers nach der Ultrafiltration. Bild 5 zeigt den gemessenen Verlauf der Belastung (blaue Linie) sowie einen gleitenden Mittelwert derselben (orangefarbene Linie). Am Mittelwert (orangefarbene Linie) kann man wieder deutlich den für Kläranlagen typischen Tageszyklus in der Belastungsintensität erkennen, im Verlauf der gemessenen Belastung (blaue Linie) sieht man bis 11. August überlagerte Kontaminationsspitzen, verursacht durch fehlerhafte Membraneinheiten, die danach aus dem Prozess entfernt wurden. Im vorliegenden Fall handelt es sich um sehr kleine „Leaks“ in der Membrane, die zu relativ geringen Belastungen führen. Im Vergleich zu den Bildern 1 bis 3 ist auch sehr deutlich zu erkennen, dass das Kontaminationsniveau mit 1 bis 3 mMFU/100 ml deutlich niedriger ist als im ersten Beispiel, wo es sich im Bereich zwischen 50 und 270 mMFU/100 ml bewegte. Sind die Membrane in Ordnung, also nach dem 11. August sind hier keine koloniebildenden Einheiten nachweisbar, eine klassische Laboruntersuchung liefert hier erfahrungsgemäß 0 KBE/100 ml, was das eigentliche Ziel dieses Prozesses darstellt. Die Überprüfung dieses Ziels wäre mit der klassischen Methode nicht mit vertretbarem Aufwand möglich.

Gesamtkeimzahl

In den bisher gebrachten Beispielen wurde jeweils die E.coli spezifische Enzymaktivität als Indikator für fäkale Verunreinigung ge-

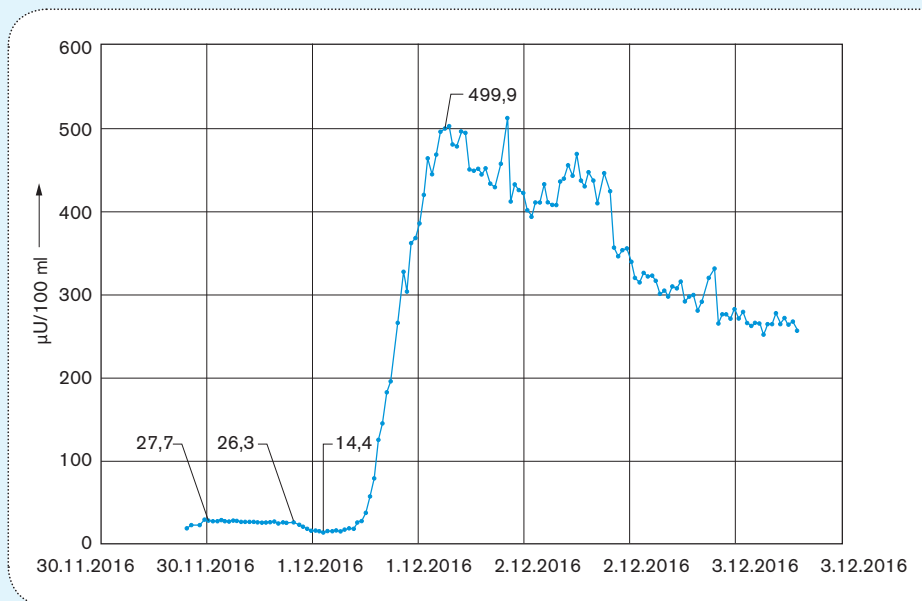


Bild 7 Belastungsverlauf (Gesamtkeimzahl) eines Uferfiltrat-Brunnens



Bild 8 Philipp Stadler mit dem CM-Mobil beim Surface Water Mapping

Quellen: VWM

mehreren Studien gleichzeitig arbeitet. Allein 2017 werden 6 bis 7 wissenschaftliche Arbeiten basierend auf den Messergebnissen der ColiMinder Geräte veröffentlicht werden. Besonders erwähnt sei eine sehr spannende Arbeit, die an der TU Wien entsteht: der Österreicher Philipp Stadler (Bild 8) der im Zuge seines Phd-Studiums am Vienna Doctoral Programme on Water Resource Systems das mobile Gerät verwendet hat, um gemeinsam mit der University of Wisconsin, Kontaminations-Landkarten großer Wasserflächen im Bundesstaat Wisconsin (USA) zu erstellen. Auch diese Arbeit wird in den nächsten Monaten erscheinen.

Interesse der Industrie geweckt

Auch die Industrie wird mittlerweile auf die Technologie und ihre Möglichkeiten aufmerksam. Innovative Unternehmen und Institutionen die außergewöhnlich schnell auf neue Technologien reagieren und diese auch einsetzen sind z. B. das dänische DHI, die neuseeländische NIWA, die kanadische City of Quebec, aber auch die österreichische EVN-Wasser. Für das Jahr 2017 sind bereits Pilotprojekte mit weltweit agierenden Konzernen aus den Bereichen Trinkwasserversorgung, Getränkeproduktion, Desinfektionsanlagen und auch mit staatlichen Organisationen wie der P.U.B. und der N.E.A. in Singapur geplant.

Zu verdanken ist dies auch Personen wie Piers Clark, ehemaliger Commercial Director von Thames Water, der sich mit seinem Unternehmen ISLE Utilities das Ziel gesetzt hat, die große Wasserindustrie und kleine innovative Technologieentwickler miteinander zu vernetzen.

Auszeichnungen

Der ColiMinder von Vienna Water Monitoring Solutions (VWM) wurde im Jahr 2016 bei folgenden internationalen Wettbewerben mit dem ersten Preis ausgezeichnet:

- Januar 2016 IWS Abu Dhabi: First Place Innovator in the Industrial Water Sector
- Juli 2016 Singapur Water Week: Winner of Industrial Innovation Competition
- Oktober 2016 WaterSmart Innovation Summit Las Vegas: Most innovative New Technology.

KONTAKT

VWMs GmbH –
Vienna Water Monitoring Solutions
 Dipl. Ing. Wolfgang Vogl
 Favoritenstraße 4-6/13
 1040 Wien
 Tel.: +43 2284 20 188-0
 E-Mail: wolfgang.vogl@v-w-m.at
 www.v-w-m.at

messen. Ein weiterer Parameter, der aufgrund seiner extrem hohen Empfindlichkeit sehr interessant ist, die Alkaline Phosphatase (ALP) Aktivität, als Parameter vergleichbar dem klassischen Parameter der Gesamtkeimzahl. Dieser Parameter erfordert in der klassischen Variante eine Inkubationszeit von 72 Stunden, kann aber mit dem ColiMinder ebenfalls in 15 Minuten gemessen werden.

Im Gegensatz zur Messung der β -Glucuronidase Aktivität, die spezifisch für eine Gruppe von Bakterien ist, nämlich E.coli, liefert die Messung der Gesamtkeimzahl (ALP Aktivität) ein Signal sobald in der Probe lebende Organismen vorhanden sind, dabei kann es sich um Bakterien aber auch um Algen, Sporen oder Hefen handeln. Hier einige Messergebnisse unterschiedlicher Proben (siehe auch Bild 6):

- Sterilwasser aus frisch gereinigter Sterilwasser-Produktionsanlage: 2 μ U/100 ml
- Leitungswasser aus permanent durchströmter Wasserleitung: 4,9 μ U/100 ml

- das gleiche Leitungswasser nach der Enthärtungsanlage (Ionentauscher): 7,9 μ U/100 ml
- Leitungswasser nach schlecht gewarteter Haushalts RO-Anlage: 156 μ U/100 ml
- Hausbrunnen wenig verwendet: 300 μ U/100 ml
- Sterilwasser aus Produktionsanlage nach 6 Tagen ohne Reinigung: 928 μ U/100.

Auch hier ist natürlich der Kontaminationsverlauf wieder deutlich eindrücklicher als einzelne Messwerte. Als Beispiel zeigt Bild 7 den Belastungsverlauf eines Uferfiltrat-Brunnens bei steigendem Wasser-Pegel.

Wer setzt die ColiMinder Geräte ein?

Vorreiter war die TU Wien und die Universität für Bodenkultur (BOKU) Wien (seit 2014), gefolgt vom Karlsruhe Institut of Technology (KIT) und dem kanadischen Polytechnique Montreal, das seit Juni letzten Jahres über 3 ColiMinder verfügt und an