

# ONLINE-MESSUNG MIKROBIOLOGISCHER PARAMETER

## ÜBERWACHUNG VON FLUSS- UND GRUNDWASSER MITTELS ONLINE-ANALYSEVERFAHREN

Mit der Online-Bestimmung der gesamten biologischen Aktivität und der Totalzellzahl während des Prozesses der Wassergewinnung und -aufbereitung können zeitnah Rückschlüsse auf die Qualität des Wassers gezogen werden. Labor- und Feldversuche bei IWB haben im direkten Vergleich der beiden Online-Messmethoden eine gute Korrelation gezeigt. Beide Grössen, gesamte biologische Aktivität und Totalzellzahl, lassen sich einfach und zuverlässig online bestimmen. Damit können die beiden Verfahren auch in kleineren Wasserversorgungen eine interessante Ergänzung zu bestehenden Systemen der Prozessüberwachung sein.

*Pascal Brand\*; Richard Wülser, Industrielle Werke Basel IWB*

### RÉSUMÉ

#### SURVEILLANCE DES EAUX FLUVIALES ET DES NAPPES PHRÉATIQUES AVEC UN SYSTÈME D'ANALYSE EN LIGNE

La surveillance en ligne du captage et du traitement de l'eau joue un rôle fondamental pour la gestion des risques (HACCP) liés à l'approvisionnement en eau. Si les ressources d'eau potable se trouvent p. ex. dans la zone d'influence d'eaux de surface, comme pour les puits d'eaux souterraines de l'IWB, des systèmes de mesure en ligne permettent d'identifier et d'évaluer le niveau de risque. En particulier en cas de crue ou après une revitalisation des rives d'une rivière, les captages d'eau situés à proximité du fleuve peuvent être contaminés sur les plans microbiologique. Depuis plusieurs années, le laboratoire d'analyse de l'eau potable de l'IWB évalue les systèmes d'analyse pour une surveillance efficace des captages d'eau souterraine proches de rivières. Le dénombrement fractionné des particules présentes dans l'eau avec des compteurs de particules s'est avéré insuffisamment sensible pour garantir un contrôle en ligne fiable. En outre, aucun système de mesure n'est parvenu jusqu'ici à saisir des indicateurs fécaux tels que l'*E. coli* ou les bactéries coliformes dans les concentrations requises. En revanche, il a été possible de mesurer de manière continue l'activité biologique globale. Les essais pratiques effectués sur le terrain ont révélé qu'une corrélation existait entre l'activité biologique globale et le nombre total de cellules (Fig. 4, 6 et 8).

### EINLEITUNG

Um den jährlichen Bedarf von rund 26 Mio. m<sup>3</sup> Trinkwasser zu decken, bereitet IWB Oberflächenwasser aus dem Rhein sowie Grundwasser über mehrere Stufen auf (Fig. 1). Das Versorgungsnetz erstreckt sich über rund 40 km<sup>2</sup> mit einer Rohrnetzlänge von knapp 600 km und umfasst 9 Pumpwerke sowie 10 Reservoir. Im Wassergewinnungsgebiet Lange Erlen erfolgt eine künstliche Grundwasseranreicherung durch Infiltration von vorgereinigtem Rheinwasser. Auf insgesamt 12 Wässerfeldern werden bis zu 1000 l/s Rheinwasser zur Versickerung gebracht. Während der Aufenthaltszeit im Untergrund erfolgt eine Reinigung des Rheinwassers. Die Bodenpassage dauert zwischen zehn und dreissig Tagen und das Grundwasser weist anschliessend in der Regel bereits Trinkwasserqualität auf. Durch Einblasen von Luft wird der pH-Wert des gewonnenen Grundwassers eingestellt. Das Wasser wird dann mit einer Aktivkohlefiltration von organischen Spurenstoff gereinigt. Am Schluss der Aufbereitungskette steht eine Desinfektion mit UV-Strahlung. Damit das «Lebensmittel Nr. 1» stets die hohen Ansprüche an die Qualität erfüllt, werden verschiedene Qualitätsparameter vor Ort oder im Labor gemessen und bewertet. Auf Grundlage der Identifikation von Risiken auf den verschiedenen Prozess-

\* Kontakt: [pascal.brand@iwb.ch](mailto:pascal.brand@iwb.ch)

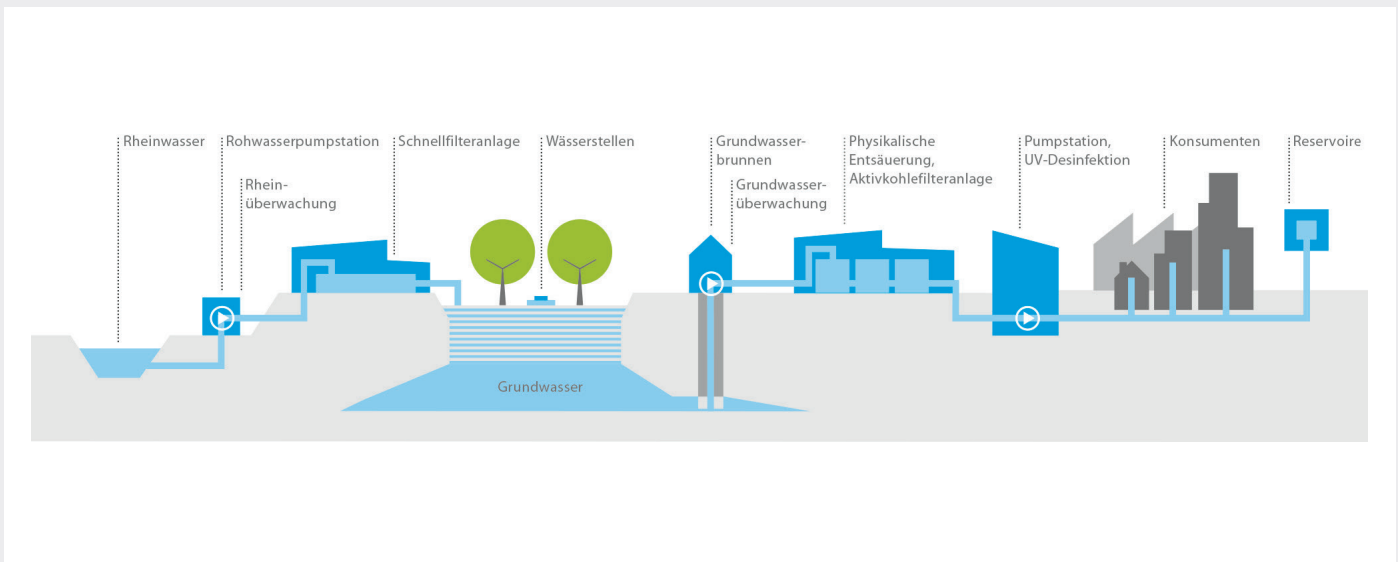


Fig. 1 Schematischer Aufbau der Wassergewinnung bei IWB mit Rhein- und Grundwasserüberwachung

Structure schématique du captage d'eau chez IWB avec surveillance de la nappe phréatique et des eaux du Rhin

stufen wurden Probenahme- und Messprogramme festgelegt. Vor-Ort-Messungen ergänzen die klassische Laboranalytik. So betreibt IWB heute sowohl eine Rheinüberwachungsstation als auch eine umfassende Grundwasserüberwachung mit zahlreichen Messsystemen (Fig. 1). Sämtliche Prozessstufen der Gewinnung und Aufbereitung werden nicht nur durch die Messung adäquater Parameter vor Ort überwacht, sondern auch dort wo erforderlich durch steuerungstechnische Weiterverarbeitung der Messsignale gesteuert bzw. geregelt. Die Wasserqualität vor Ort permanent zu erfassen, bietet einige Vorteile: Rund um die Uhr und zeitnah liefern die Online-Messungen Ergebnisse, die eine Beurteilung der Qualität ermöglichen.

## ÜBERSICHT DER EINGESETZTEN ONLINE-ANALYTIK

### FLUSSWASSER

Die Rheinwasserüberwachung dient hauptsächlich dazu, die qualitative Beschaffenheit des Wassers kontinuierlich zu verfolgen, um Veränderungen in der Zusammensetzung infolge von Einleitungen ungenügend gereinigter Abwässer, Havarien und Abschwemmungen bei Hochwassersituationen festzustellen. Bei einer Veränderung der Rohwasserqualität wird die Entnahme wie auch die künstliche Grundwasseranreicherung sofort ausser Betrieb genommen. In diesem Fall erfolgt die Trinkwassergewinnung mit dem natürlichen Grundwasser, was für einige Tage bis wenige Wochen problemlos möglich ist.

Für die Beurteilung der Rohwasserbeschaffenheit werden vor Ort die spezifische elektrische Leitfähigkeit, der pH-Wert, die Sauerstoffkonzentration, das Redoxpotenzial, die UV/VIS-Absorption sowie die Trübung gemessen. Ein Daphnientoximeter erfasst den Einfluss der Wassergüte auf das Schwimmverhalten von Kleinkrebsen (Daphnien). Diese reagieren empfindlich auf das Vorhandensein toxischer Substanzen im Wasser. Die Beobachtung ihres Schwimmverhaltens ermöglicht so eine Aussage zu unspezifischen Veränderung der Qualität des Rohwassers. Die weitergehende Auswertung der gemessenen Parameter, auch in Kombination miteinander, ermöglicht, frühzeitig einen Alarm zu generieren und die Rohwasserentnahme automatisiert einzustellen.

### GRUNDWASSER

Die Qualität des Grundwassers wird einerseits durch die Online-Messung klassischer Parameter, nämlich der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit, der photometrischen UV-Absorption bei 254 nm, der Partikelzahl, und andererseits durch die Online-Bestimmung zweiter mikrobiologischer Parameter überwacht.

#### Klassische Online-Messsysteme

Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Summenparameter und ein Mass für den Gehalt an Ionen (z. B. Magnesium-, Calcium-, Natrium-Kationen oder Chlorid-, Sulfat-, Hydrogencarbonat-Anionen) im Wasser. Steigt die elektrische Leitfähigkeit, so ist dies ein Indiz dafür, dass sich die Konzentration dieser Stoffe im Wasser erhöht hat oder zusätzlich andere, unerwünschte Stoffe dazugekommen sind.

Mit der Messung der Absorption bei 254 nm (spektraler Absorptionskoeffizient,  $SAK_{254}$ ) werden Stoffe erfasst, die aufgrund ih-



Fig. 2 Der Fluss Wiese, der durch das Grundwasserschutzgebiet Lange Erlen fließt, bei Hochwasser.

La rivière Wiese lors d'une crue





Fig. 3 Im flussnahen Brunnen 12 wurde eine Messstation eingerichtet, um Qualitätsveränderungen im Grundwasser durch Infiltration von Wiesewasser zu verfolgen.

La Wiese traverse la zone de protection des eaux souterraines de Lange Erlen. Au puits 12, une station de mesure a été aménagée pour surveiller les variations de la qualité des eaux souterraines dues à l'infiltration d'eau fluviale.

rer molekularen Struktur die Fähigkeit besitzen, das Licht bei dieser spezifischen Wellenlänge aufzunehmen, also zu absorbieren. Licht der Wellenlänge 254 nm befindet sich im kurzwelligen, ultravioletten Bereich und ist für das menschliche Auge nicht sichtbar. Mit dem Summenparameter  $SAK_{254}$  werden primär organische Stoffe natürlichen Ursprungs wie Huminstoffe, aber darüber hinaus auch organische Stoffe aus industriellen und gewerblichen Abwässern erfasst. Je grösser der Wert der Absorption, desto höher der Gehalt dieser Stoffe im Wasser. Für die Bestimmung der Anzahl und Grösse der Partikel im Wasser gibt es verschiedene Messverfahren. Meistens beruht das Messprinzip auf eine Interaktion zwischen einem Lichtstrahl eines Lasers und den zu messenden Partikeln. Wahlweise wird die Brechung, die Streuung oder der Schattenwurf zur Auswertung beigezogen.

#### Mikrobiologische Online-Überwachung

Bei der Grundwasserüberwachung in den Langen Erlen steht die mikrobiologische Beschaffenheit des Grundwassers im Vordergrund. Der Fluss Wiese fliesst durch die Grundwasserschutzzone S2 und gefährdet damit das Grundwasser im Zustrom der

### GESAMTEN BIOLOGISCHE AKTIVITÄT GEMESSEN ALS ENZYMAKTIVITÄT DER ALKALISCHEN PHOSPHATASE

Enzyme sind Proteine, die als Biokatalysatoren den Auf- oder Abbau von Stoffen beschleunigen und daher für den Stoffwechsel der Zellen unabdingbar sind. Die Phosphatasen sind Enzyme, welche die Spaltung von Phosphomonoestern katalysieren. Je nach pH-Optimum des Enzyms wird zwischen sauren und alkalischen Phosphatasen unterschieden. Das pH-Optimum der alkalischen Phosphatasen liegt zwischen 7 und 8. Alkalische Phosphatasen kommen in fast allen Lebewesen vor, so auch in Bakterien. Im Messsystem Bactiguard wird die von der alkalinen Phosphatase katalysierte Reaktion verwendet, um die gesamte biologische Aktivität in Wasserproben zu bestimmen. Dazu wird der Wasserprobe eine organische Phosphorverbindung zugegeben, aus der durch die enzymatische Spaltung ein fluoreszierendes Produkt entsteht. Durch Fluoreszenzmessung wird die Bildung dieses Produktes verfolgt und kann als Mass für die Zellaktivität herangezogen werden.

Box 1

### BESTIMMUNG VON *E. COLI* UND COLIFORMEN BAKTERIEN MITTELS ENZYMAKTIVITÄT

Die Bestimmung von *E. coli* und coliformen Bakterien mittels enzymatischer Reaktion ist schon seit längerer Zeit eine etablierte Labormethode. Die aktuelle TBDV verweist für die Bestimmung von *E. coli* auf die EN/ISO 9308-1. Die Überarbeitung dieser Norm erfolgte bereits im 2014. Dabei wurde der Nachweis von *E. coli* und coliformen Bakterien mittels Lactose-TCC-Agar durch den Nachweis über die enzymatische Aktivität ersetzt. Das *Colilert*®-Verfahren als Labormethode verwendet die enzymatische Aktivität zur Bestimmung und Differenzierung schon seit Jahren und ist in der EN/ISO 9308-2 beschrieben. Das Bactiguard-System macht sich in ähnlicher Weise die Anwesenheit der Enzyme  $\beta$ -Galactosidase in coliformen Bakterien respektive der  $\beta$ -Glucuronidase in *E. coli* zunutze. In einer Wasserprobe vorhandene Bakterien werden durch Filtration angereichert. Dann wird die Enzymaktivität bestimmt. Hierzu wird die Änderung der Konzentration eines fluoreszierenden Produktes der Enzymreaktion als Funktion der Zeit gemessen. Die daraus abgeleitete  $\beta$ -Galactosidase- oder  $\beta$ -Glucuronidase-Aktivität korreliert mit den Ergebnissen der Bestimmung von coliformen Bakterien respektive *E. coli* mittels Membranfiltration und anschliessender Plattierung. Das Bactiguard-System ist in der Lage, Resultate in viel kürzerer Zeit zu generieren, weil die Kultivierung (ca. 24 h) wegfällt.

Box 2

Brunnen durch Infiltration des Flusswassers, das zeitweise eine ungenügende hygienisch-mikrobiologische Qualität aufweist. Insbesondere Hochwassersituationen (Fig. 2) führen dazu, dass die flussnahen Brunnen vorübergehend eingeschränkt oder gar nicht mehr genutzt werden können. Der Brunnen 12 befindet sich an exponierter Lage, weswegen dort seit einigen Jahren die Grundwassermessstation betrieben wird (Fig. 3). Die vorgängig beschriebenen klassischen Online-Messsysteme werden seit 2011 durch den *mbo*line-Bactiguard-Apparat (Box 1 und 2) und seit Mitte 2016 durch ein Online-Durchflusszytometer (*BactoSense TCC*; *Sigris*t Photometer) ergänzt. Diese beiden Geräte liefern zeitnahe Aussagen zur mikrobiologischen Qualität des Grundwassers.

### ONLINE-MESSSYSTEM BACTIGUARD

Im September 2011 wurde neu das Bactiguard-Messsystem zur Erfassung der biologischen Gesamtaktivität (siehe Box 1) bei IWB als zusätzliche Komponente in das Grundwassermonitoring aufgenommen. Nebst der Temperatur, der elektrischen Leitfähigkeit, dem  $SAK_{254}$  und der Partikelzahl konnte somit erstmals eine mikrobiologische Kenngrösse online gemessen werden.

Mit dem Bactiguard-System lassen sich verschiedene Enzymaktivitäten im Wasser ermitteln, aus denen Rückschlüsse auf die Anwesenheit und Aktivität verschiedener Bakteriengruppen gezogen werden können. Doch Versuche mit dem neuen Gerät zeigten schnell, dass die Bestimmung sowohl der coliformen Bakterien basierend auf der  $\beta$ -Galactosidase-Aktivität als auch von *E. coli* über die  $\beta$ -Glucuronidase-Aktivität (Box 2)

ungenügend empfindlich war. Auch die Erhöhung der Online-Anreicherung auf 3 Liter Probewasser ergab keine ausreichende Empfindlichkeit. Die gesetzliche Anforderung von  $< 1 E. coli/100\text{ ml}$  wie auch die zu erwartenden Keimzahlen der Coliformen von deutlich  $< 10\text{ KBE}/100\text{ ml}$  Probewasser konnten vom Gerät nicht zuverlässig erfasst werden.

Deshalb wurde das Messgerät umgerüstet, sodass durch Fluoreszenzmessung die Aktivität der alkalischen Phosphatase verfolgt werden konnte (Box 1). Aus dieser Aktivität lassen sich Aussagen zur gesamten biologischen Aktivität ableiten. Bei einem Hochwasserereignis (Mai/Juni 2013) wurden zusätzlich zur Online-Überwachung der gesamten biologischen Aktivität mit Bactiguard Grundwasserproben genommen. In diesen wurde im Labor mittels Durchflusssytometrie (CyFlow SL; Sysmex Partec GmbH) die Totalzellzahl gemessen. Die Bactiguard-Messwerte korrelierten gut mit der im Labor bestimmten Totalzellzahl, wie aus Fig. 4 ersichtlich ist. Die mit Bactiguard ermittelten Aktivitätswerte geben also einen Hinweis auf die Bakterienkonzentration im Wasser.

## HOCHWASSEREREIGNIS IM MAI/JUNI 2013

Bei starken Niederschlägen, insbesondere bei gleichzeitiger Schneeschmelze im Südschwarzwald, kann der Abfluss der Wiese stark ansteigen (Fig. 3). Der Fluss verlässt dann sein abgedichtetes Gewässerbett und steigt über die Ufer. Steigt der Wiesepegel an, so sinkt die elektrische Leitfähigkeit im Grundwasser infolge der Infiltration von wenig mineralisiertem Wiesewasser in den Aquifer. Dies wurde auch beim Wiesehochwasser vom Mai/Juni 2013 beobachtet (Fig. 5). 30 mm Niederschlag innert 48 h hatten damals die Wiese auf über 261 m ü.M. ansteigen lassen.

Auf Basis von früher durchgeführten Markerversuchen und hydrogeologischen Modellen war zu erwarten, dass die verstärkte Flusswasserinfiltration die mikrobiologische Grundwasserqualität im flussnahe gelegenen Brunnen 12 negativ beeinflusst. In der Tat stiegen die Totalzellzahl, die mittels Durchflusssytometrie im Labor bestimmt wurde, und die mit Bactiguard gemessene gesamte biologische Aktivität an (Fig. 6).

Es zeigte sich, dass die elektrische Leitfähigkeit im Grundwasserbrunnen nur mit wenigen Stunden Verzögerung auf den Anstieg des Flusspegels reagierte. Dagegen dauerte es ungefähr einen Tag, bis die gesamte biologische Aktivität anstieg. Dies ist damit zu erklären, dass Partikel wie Mikroorganismen durch die Bodenpassage eine Retention erfahren, während im Wasser gelöste Ionen die Bodenschichten schneller passieren. Nach dem Hochwasser pendelte sich die elektrische Leitfähigkeit relativ schnell wieder auf dem gewohnten Niveau ein. Dagegen dauerte es deutlich länger, bis die gesamte biologische Aktivität wieder absank und normale Werte erreichte. Auf Basis der kontinuierlichen Messungen kann die Fliesszeit des infiltrierten Flusswassers bis zum Grundwasserbrunnen bestimmt und die Förderung von Grundwasser in Abhängigkeit von der Qualität gesteuert werden.

## ONLINE-DURCHFLUSSZYTOMETER

Ab Mitte 2016 stand im Grundwasserbrunnen 12 erstmals zusätzlich zur Bestimmung der biologischen Aktivität für Vergleichszwecke ein Online-Durchflusssytometer zur Verfügung (Fig. 7). Eine mehrmonatige Testphase diente dazu, die Robustheit des neu entwickelten Apparats *in situ* zu prüfen und zu optimieren. Zur Bestimmung der Totalzellzahl mittels Online-Durchflusssytometrie wird eine geringe Menge Probewasser mit Fluoreszenzfarbstoff (SYBR-Green) versetzt und dann inkubiert. SYBR-Green hat die Eigenschaft sich mit der DNA der Zellen zu verbinden und einen fluoreszierenden Farbstoffkomplex zu bilden. Anschließend wird der Volumenstrom der Wasserprobe in einer Durchflussküvette so fokussiert, dass die Bakterienzellen einzeln durch den Messbereich eines Laserstrahls geführt werden. Das dabei entstehende Streulicht und Fluoreszenzsignal werden von verschiedenen Detektoren erfasst. Zellen, die sich in ihrer Struktur und Grösse unterscheiden, generieren unterschiedliche Signale, sodass die Analyse einer grossen Anzahl Zellen innert kurzer Zeit eine Aussage über die Zellpopulation in der Wasserprobe ermöglicht. Typischerweise dauert ein Analysezyklus des Online-Durchflusssytometers 20 bis 30 Minuten. Am Ende jedes Messzyklus bestimmt das Gerät die Totalzellzahl sowie das Verhältnis zwischen den Zellen

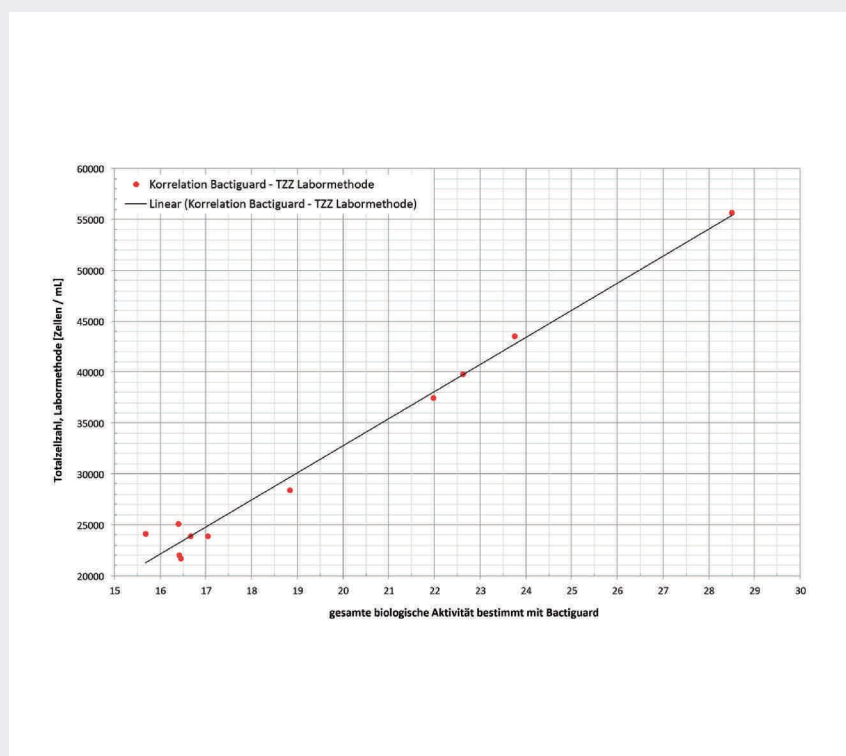


Fig. 4 Vergleich der Messwerte der Online-Überwachung der gesamten biologischen Aktivität mit Bactiguard mit den Ergebnissen der Totalzellzahl-Bestimmung im Labor (Durchflusssytometer: CyFlow SL). Hochwasserereignis vom Mai/Juni 2013.

Comparaison entre les valeurs de mesure de la surveillance en ligne de l'activité biologique globale avec Bactiguard et les résultats de la détermination du nombre total de cellules en laboratoire (cytomètre en flux: CyFlow SL). Crue de mai/juin 2013.

mit hohem (HNA) und niedrigem (LNA) Anteil an DNA (HNA/LNA) und gibt das Ergebnis als 4 bis 20 mA-Signal an das Prozessleitsystem weiter.

### HOCHWASSERSITUATION IM MAI 2017

Beim Wiesehochwasser im Mai 2017 zeigten die Labormessungen (*Accuri C6*, *BD Biosciences*) der Totalzellzahl und die Online-Messung vor Ort (*BactoSense*) einen übereinstimmenden Verlauf (*Fig. 8*). Die im Labor ermittelten Zellzahlen waren jedoch um den Faktor 1,5 höher als die Online-Messungen. Der Unterschied konnte durch Optimierung beider Messverfahren zu einem guten Teil eliminiert werden. Der Wiesepegel erreichte bei diesem Hochwasser ein Maximum von 260,4 m.ü.M., was deutlich tiefer ist als beim Ereignis im Mai/Juni 2013. Die Totalzellzahl stieg um einen Faktor von ca. 1,4 an; die Messung der gesamten biologischen Aktivität hingegen zeigte bei diesem Hochwasser keinen signifikanten Anstieg. Gut ersichtlich ist in *Figur 8* auch

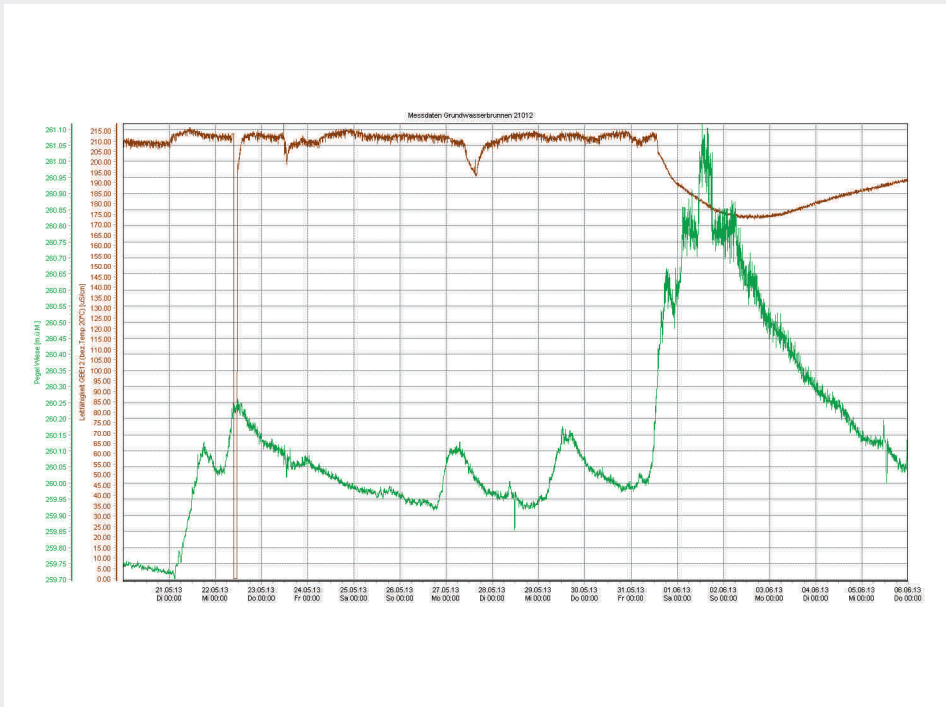


Fig. 5 Auswirkungen des Wiesehochwassers Mai/Juni 2013 auf die elektrische Leitfähigkeit im Grundwasserbrunnen 12

Impacts de la crue de la Wiese en mai/juin 2013 sur la conductivité électrique dans le puits d'eaux souterraines 12

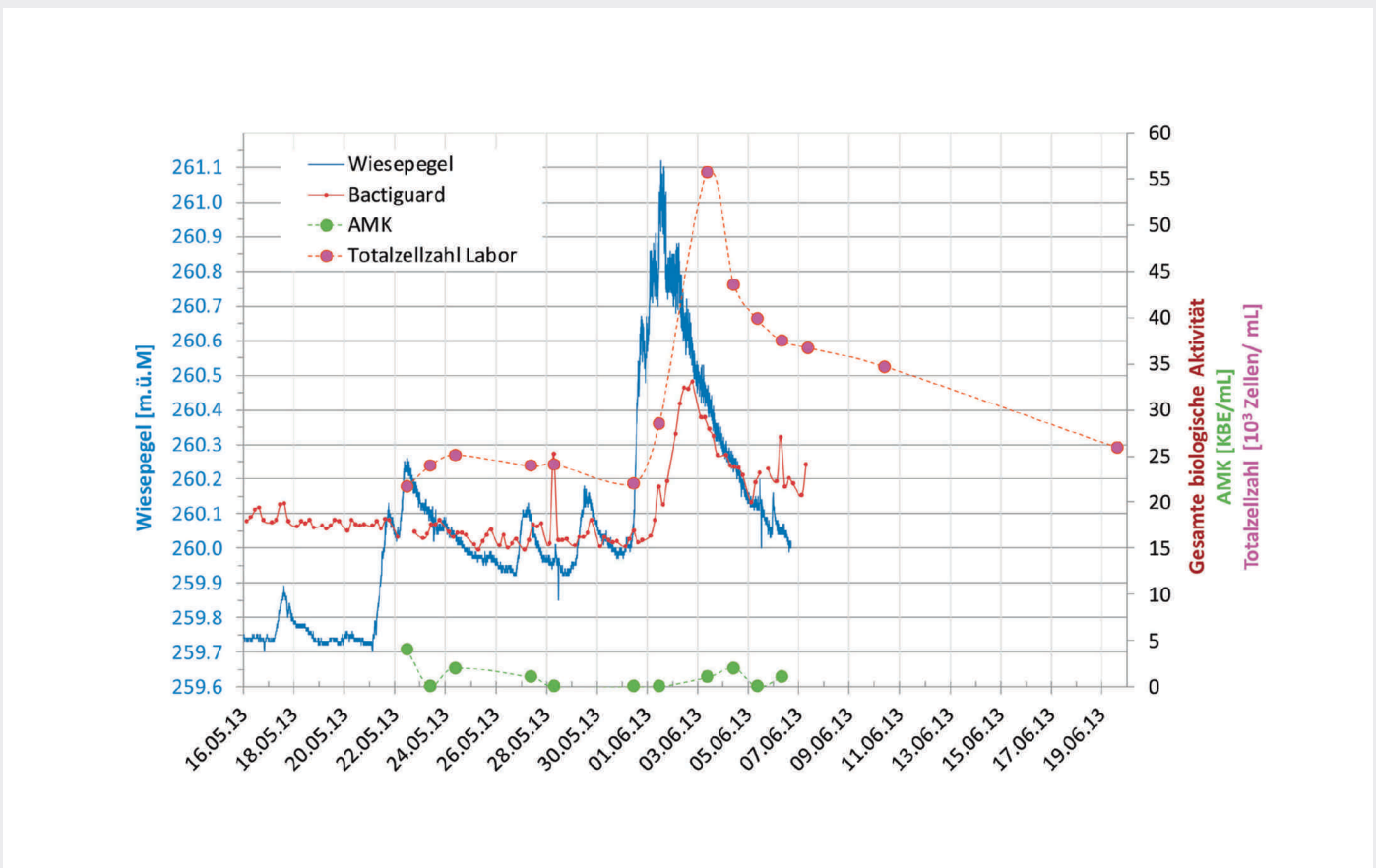


Fig. 6 Auswirkungen des Wiesehochwassers Mai/Juni 2013 auf die mikrobiologischen Parameter (gesamte biologische Aktivität mit Bactiguard bestimmt, Totalzellzahl mit Durchflusssytometrie bestimmt und aerobe mesophile Keime AMK mittels Plattierung bestimmt) im Grundwasserbrunnen 12

Impacts de la crue de la Wiese en mai/juin 2013 sur les paramètres microbiologiques (activité biologique globale déterminée avec Bactiguard, nombre total de cellules déterminé par cytométrie en flux et GAM déterminés par cultivation) dans le puits d'eaux souterraines 12





Fig. 7 Online-Durchflusszytometer BactoSense (Sigrist Photometer) zur Messung der Totalzellzahl

Cytomètre en flux en ligne BactoSense (Sigrist Photometer) pour mesurer le nombre total de cellules

die Beeinflussung der Mikrobiologie, wenn zur Änderung der Fördermenge die Brunnenpumpe ein- bzw. ausgeschaltet wird. Während der Grundwasserbrunnen ausser Betrieb war, stieg die Totalzellzahl um einen Faktor von ca. 1,8 an. Ein Anstieg war auch bei der gesamten biologischen Aktivität zu beobachten. Sie nahm um einen Faktor von ca. 1,6 zu.

### VERGLEICH DER BEIDEN ONLINE-MESSSYSTEME

Beide Systeme sind sehr robust gebaut und brauchen wenig Unterhalt. Im BactoSense-Durchflusszytometer sind sowohl die benötigten Reagenzien wie auch der bei den Analysen anfallende Abfall in einem Kartuschensystem untergebracht. Sind die Reagenzien aufgebraucht und der Abfallbehälter voll, wird die gesamte Kartusche ausgetauscht; somit entfällt das Handling von Reagenzien und Abfällen. Die Kartusche für 1000 Messungen reicht bei einer Messfrequenz von 1 Messung alle 4 Stunden rund 160 Tage. Das Bactiguard-Messsystem zur Bestim-

mung der gesamten biologischen Aktivität verfügt nicht über diese Autonomie und ist entweder auf einen Anschluss an die Kanalisation oder auf einen grösseren Abfallsammelbehälter angewiesen. Die Reagenzien werden einzeln bei Bedarf getauscht. Der Wartungszyklus für den Reagenztausch und die Leerung des Abfallsammelbehälters beträgt hier zwischen 2 und 4 Wochen.

### WEITERGEHENDE DATENAUSWERTUNG - ALARMSOFTWARE

Im Zusammenhang mit der weitergehenden Auswertung der Online-Messdaten und Alarmierung bei Qualitätsabweichungen beschäftigt sich IWB seit geraumer Zeit mit der Implementierung entsprechender Softwaretools in die Prozessautomation. Die Suche nach einem geeigneten Produkt verlief erfolglos, weshalb IWB im Rahmen des Projektes «Aufbau einer Rohwassermessstation am Rhein» eine eigene Datenauswertungssoftware konzipierte und durch externe Partnern programmieren liess. Diese

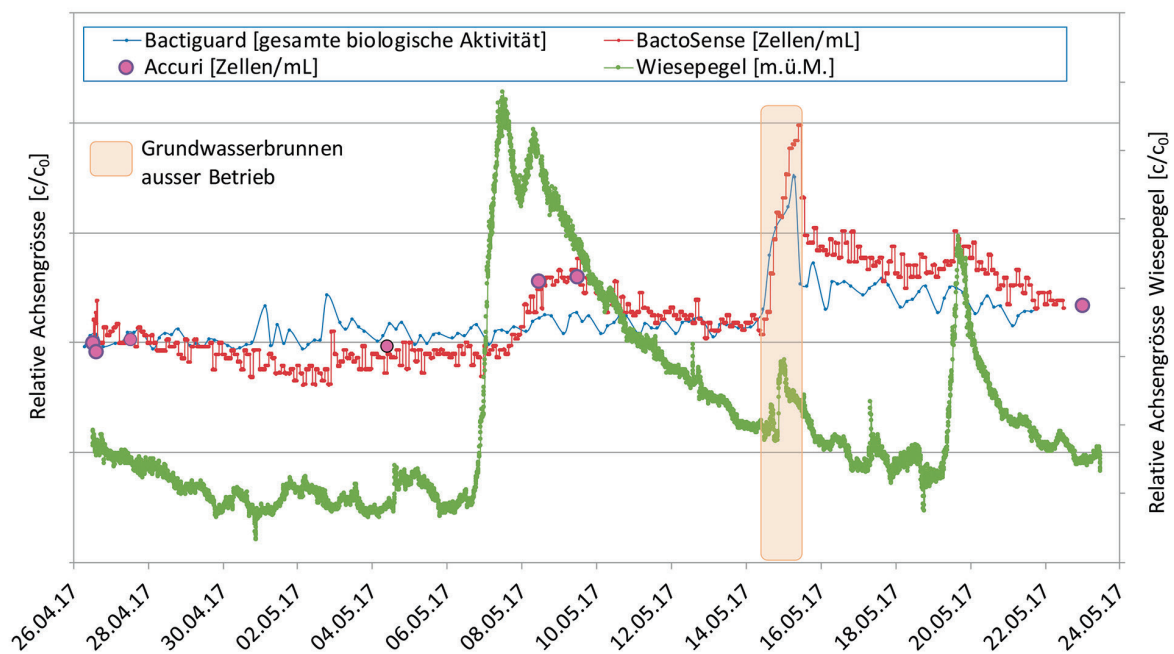


Fig. 8 Entwicklung des Wiesepegels, der Totalzellzahl (online gemessen mit dem BactoSense-Gerät und im Labor bestimmt mit einem Accuri-Durchflusszytometer) und der gesamten biologischen Aktivität (bestimmt mit Bactiguard) vor, während und nach dem Hochwasserereignis im Mai 2017.

Evolution du niveau de la Wiese, du nombre total de cellules (mesuré en ligne avec l'appareil BactoSense et en laboratoire avec un cytomètre en flux Accuri) et de l'activité biologique globale (déterminée avec Bactiguard) avant et pendant la crue de mai 2017

auf LabVIEW basierende Software liest sämtliche vor Ort gemessenen Parameter ein und wertet diese in verschiedenen Kombinationen aus. Um die Eigenschaften der eingesetzten Messsysteme möglichst optimal zu nutzen, werden diese in verschiedenen Gruppen zusammengefasst. Dabei kann ein Messsystem durchaus auch in mehreren Gruppen eingebunden und unterschiedlich gewichtet ausgewertet werden. Durch die Analyse und Bewertung der Messsignale in den einzelnen Gruppen können so bei der Überschreitung vordefinierter Grenzen automatisiert Alarmer und Aktionen ausgelöst werden bis hin zur Abschaltung der Rohwasserfassung.

Seit Sommer 2017 arbeitet IWB mit einem Lieferanten zusammen, der eine neuartige Datenauswertungssoftware entwickelt hat, und testen diese App nun *in situ*. Dabei sollen die Leitfähigkeits-,  $SAK_{254}$ -, Temperatur- und Totalzellzahl-Messungen im Grundwasserbrunnen 12 ausgewertet werden mit dem Ziel, ein Frühwarnsystem für den Einfluss der Wiese auf die Grundwasserqualität aufzubauen. Die Software soll in der Lage sein, die mikrobiologische Qualität des Grundwassers nahezu in Echtzeit zu beurteilen und die Grundwasserentnahme zu steuern. Mögliche Massnahmen wie die gezielte Reduktion oder Ausserbetriebnahme der Grundwasserförderung können auf diese Weise frühzeitig und automatisch ausgelöst werden.

## FAZIT

Im Risikomanagement (HACCP) der Wasserversorgung spielt die Online-Überwachung der Wassergewinnung und Aufbereitung eine zentrale Rolle. Befinden sich beispielsweise die Trinkwasserressour-

cen im Einflussbereich von Oberflächen-gewässern, wie die Grundwasserbrunnen der IWB in den Langen Erlen, dienen Online-Messsysteme zur Erfassung und Bewertung von Gefährdungssituationen. Insbesondere bei Hochwassersituationen oder nach einer Flussufer-Revitalisierung können flussnahe Trinkwasserfassungen hygienisch-mikrobiologisch beeinträchtigt werden.

Seit mehreren Jahren evaluiert das IWB-Wasserlabor Analysesysteme für eine effektive Überwachung von flussnahen Grundwasserfassungen. Das fraktionierte Auszählen von Partikeln im Wasser mit einem Partikelzähler erwies sich als nicht genügend sensitiv, um ein zuverlässiges Online-Monitoring zu gewährleisten. Ausserdem gelang es bisher mit keinem Messsystem, Fäkalindikatoren wie *E. coli* oder coliforme Bakterien in den geforderten Konzentrationen zu erfassen. Hingegen gelang es, die biologische Gesamtaktivität kontinuierlich

zu messen. Die praktischen Versuche im Feld zeigten, dass eine Korrelation zwischen der gesamten biologischen Aktivität und der Totalzellzahl gegeben ist (Fig. 4, 6 und 8). Mit dieser Methode kann der Einfluss der Flusswasserinfiltration bei einem Hochwasser genügend empfindlich erfasst werden. Mittlerweile sind ebenfalls Online-Durchflusssytometer auf dem Markt. IWB setzt seit gut einem Jahr zur Grundwasserüberwachung auch solch ein Gerät ein.

Damit stehen heute Online-Analysegeräte zur Verfügung, die geeignet sind, Bakterienkonzentrationen und damit die Trinkwasserhygiene in kurzen Zeitabständen und zeitnah zu erfassen. Die Messgeräte sind ausreichend robust und können deshalb auch von kleineren Wasserversorgern gut eingesetzt werden. Dies bedeutet einen Meilenstein in der Prozessüberwachung und einen grossen Beitrag zur Erhöhung der Prozesssicherheit in der Trinkwasserversorgung.

## > SUITE DU RÉSUMÉ

Cette méthode permet de déterminer l'impact de l'infiltration d'eau fluviale lors de crues. Désormais, des cytomètres en flux en ligne sont disponibles sur le marché. L'IWB en utilise depuis un an un pour la surveillance des nappes phréatiques. Cela signifie qu'il existe aujourd'hui des appareils d'analyse en ligne appropriés pour déterminer rapidement les concentrations de bactéries et le niveau d'hygiène de l'eau potable, à des intervalles rapprochés. Ces appareils sont suffisamment robustes et peuvent donc être utilisés efficacement aussi par de petits distributeurs d'eau. Cela constitue un nouveau jalon dans la surveillance des processus et une importante contribution à l'optimisation de la sécurité des processus dans l'approvisionnement en eau potable.

natürlich  
Trinkwasser

Positionspapier Wasser des SVGW  
[www.svgw.ch/Positionspapiere](http://www.svgw.ch/Positionspapiere)

