# „Moderne Trinkwasserüberwachung – Teil 1+2“

**Frank Sacher**

Dr. Frank Sacher berichtet in der Aktuellen Wochenschau in zwei Teilen (Woche 4 und 5) über moderne Trinkwasserüberwachung.

Dabei greift er auf seinen Beitrag „Wie wird Trinkwasser überwacht?“ zurück, den er in der Ausgabe 3/2013 der Zeitschrift Chemie in unserer Zeit veröffentlicht hatte. Wir danken dem Verlag Wiley-VCH und der Redaktion der Chemie in unserer Zeit für die Möglichkeit einer erneuten Veröffentlichung wesentlicher Inhalte in der Aktuellen Wochenschau.

Trinkwasser ist unser wichtigstes und gleichzeitig das am besten kontrollierte Lebensmittel. Die Verbraucher in Deutschland und vielen anderen europäischen Ländern erwarten, dass es stets in ausreichender Menge und in einwandfreier Qualität zur Verfügung steht. Die Qualität des Trinkwassers wird in Deutschland durch die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) geregelt, die eine Umsetzung der EG-Richtlinie 98/83 „über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ in nationales Recht darstellt. Die aktuelle Fassung der TrinkwV ist zum 1. November 2011 in Kraft getreten. Sie enthält sowohl Anforderungen allgemeiner Art als auch spezifische Anforderungen hinsichtlich der mikrobiologischen und chemischen Qualität des Trinkwassers. Diese Anforderungen sind in den Anlagen der Trinkwasserverordnung durch Grenzwerte für einzelne mikrobiologische und chemische Parameter unterlegt. Dabei sind die Grenzwerte, die der Gesetzgeber für das Trinkwasser vorsieht, häufig sehr viel niedriger als für viele andere Lebensmittel.

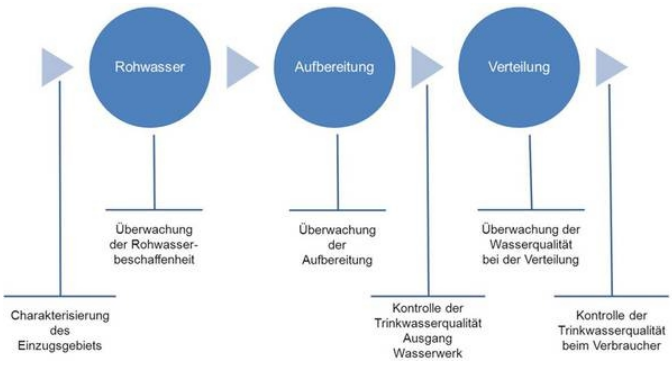



**Abbildung 1:** Überwachung der Wasserqualität von der Quelle bis zum Verbraucher

Die behördliche Überwachung der Trinkwasserqualität erfolgt in Deutschland i.d.R. durch die Gesundheitsämter. Daneben betreiben aber auch die Wasserversorgungsunternehmen selbst einen hohen Aufwand, um die Qualität ihres Produkts jederzeit sicherstellen zu können. Die moderne Trinkwasserüberwachung beschränkt sich dabei nicht auf eine Qualitätskontrolle des Wassers beim Verlassen des Wasserwerks oder am Zapfhahn des Verbrauchers, sondern sie beginnt bereits bei der Charakterisierung des Einzugsgebiets und der Überwachung des zur Trinkwassergewinnung genutzten Rohwassers (Bild 1). Darüber hinaus ermöglichen moderne Analysetechniken die Überwachung der Wirksamkeit der Aufbereitung im Wasserwerk und der Effizienz einzelner Aufbereitungsstufen und garantieren damit eine gleichbleibend gute Qualität des aufbereiteten Wassers. Schließlich können durch geeignete analytische Verfahren Änderungen der Wasserqualität während der Verteilung festgestellt und die Trinkwasserqualität am Zapfhahn des Verbrauchers überprüft werden. Zuverlässige Analyseverfahren zur Trinkwasserüberwachung liefern dabei nicht nur wertvolle Daten für Wasserversorger und Überwachungsbehörden, sondern tragen auch in hohem Maße zum Vertrauen des Verbrauchers in die Qualität seines Trinkwassers bei.

Die heutigen Anforderungen an moderne Analysetechnologien und Analyseverfahren zur Trinkwasserüberwachung sind enorm und vielfältig [1,2]. Sie sollen eine große Anzahl an möglichen biologischen und chemischen Verunreinigungen zuverlässig erfassen können,

wobei sich die Liste der Zielverbindungen und -organismen in immer kürzeren Zeitabständen verlängert. Sie sollen eine zeitnahe – wenn möglich, sofortige – Rückmeldung bei jedweder Veränderung der Rohwasserbeschaffenheit oder Störung im Aufbereitungsprozess geben. Gleichzeitig sollen die modernen Analysetechnologien und -verfahren einfach zu bedienen und anzuwenden sein, sie sollen nur einen geringen Wartungsaufwand erfordern, sie sollen robust und doch sehr empfindlich und spezifisch sein und schließlich sollen sie kostengünstig in Anschaffung und Betrieb sein. Es ist leicht verständlich, dass all diese Anforderungen nicht durch ein einzelnes Analysesystem zu erfüllen sind. Daher werden in der modernen Trinkwasserüberwachung verschiedene Analysegeräte eingesetzt und teilweise komplementäre Ansätze verfolgt, mit dem Ziel jederzeit eine größtmögliche Sicherheit für den Verbraucher zu gewährleisten.

Betrachtet man die wissenschaftlichen Entwicklungen im Bereich der Analysetechnologien und -verfahren und ihre Auswirkungen auf die Trinkwasserüberwachung in den letzten Jahren, so lassen sich einige allgemeine Trends erkennen, wie eine zunehmende Automatisierung oder der Einzug von hochwertigen und leistungsfähigen Messgeräten in die Labors vieler Wasserversorger, was zu einer zunehmenden Messempfindlichkeit und dem Nachweis vieler vermeintlich neuer Verbindungen geführt hat. Darüber hinaus gewinnen die effekt-bezogene Analytik von Roh- und Trinkwässern und die Online-Überwachung, insbesondere zur Kontrolle der Betriebsabläufe im Wasserwerk und als Frühwarnsysteme zur Erkennung von möglichen Gefährdungen des Rohwassers, immer mehr an Bedeutung. Im Folgenden sollen einige dieser Entwicklungen vorgestellt und anhand von Beispielen aus der Praxis erläutert werden.

**Chemische Parameter**

Für die Erfassung von Grundparametern zur Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit wie Temperatur, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit oder Basekapazität, aber auch für die routinemäßige Bestimmung von klassischen Kationen und Anionen wie Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Chlorid, Nitrat oder Sulfat lässt sich ein klarer Trend hin zu automatisierten Analyseverfahren erkennen. Fließinjektionsanalysatoren (FIA) oder Continuous-Flow-Analysatoren (CFA), aber auch Systeme, welche Roboter für die Durchführung standardisierter und sich immer wiederholender Arbeitsschritte einsetzen, haben in den letzten Jahren Einzug in viele moderne Wasserlaboratorien gehalten. Solche Systeme ermöglichen die rasche Bearbeitung einer großen Anzahl an Proben bei gleichzeitig vergleichsweise geringem Einsatz an Laborpersonal. In vielen Fällen werden die Ergebnisse der automatisierten Analysen direkt an ein Laborinformationssystem übergeben, in dem die weitere Verarbeitung der Analysedaten häufig ebenfalls in automatisierter Form erfolgt. Gleichzeitig gewinnt die Qualitätssicherung immer mehr an Bedeutung. Nahezu jedes Trinkwasserlaboratorium ist heute nach der internationalen Norm DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert, welche die allgemeinen Kompetenzanforderungen an ein Prüflaboratorium festlegt. Die Dokumentation von Zuständigkeiten und Betriebsabläufen im Labor und aller Details der Durchführung der Analysen sind dabei ebenso fester Bestandteil des Qualitätsmanagementsystems wie die regelmäßige Teilnahme an Ringversuchen und Vergleichsuntersuchungen oder Audits durch externe Fachleute.

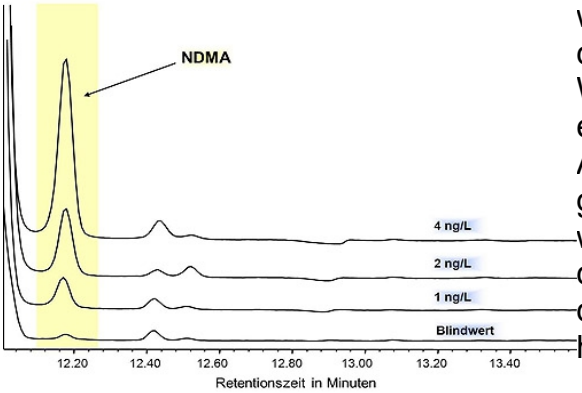



**Abbildung 2:** GC/MS-Chromatogramme verschiedener Konzentrationen an NDMA

Im Hinblick auf konventionelle, labor-basierte Analyseverfahren zur Bestimmung organischer Mikroverunreinigungen in Roh- und Reinwässern mittels Gaschromatographie oder Flüssigchromatographie hat das Massenspektrometer als universeller und doch spezifischer Detektor inzwischen in die meisten Wasserlaboratorien Einzug gehalten, was in vielen Fällen neben einem Gewinn an Nachweisempfindlichkeit und Selektivität eine deutliche Verbesserung der Qualität der Analysedaten zur Folge hatte. Die durch moderne Analysesysteme in Kombination mit intelligenten Verfahren der Probenvorbereitung erreichbare Nachweisempfindlichkeit lässt sich sehr schön am Beispiel der Nitrosamine verdeutlichen. Bild 2 zeigt Chromatogramme, die mittels der Kopplung aus Gaschromatographie und Massenspektrometrie für die Verbindung N-Nitrosodimethylamin (NDMA) erhalten wurden. Man erkennt, dass bereits bei einer Konzentration von 1 ng/L (einem Milliardstel Gramm je Liter) ein erkennbares Signal erhalten wird, das sich auch deutlich vom Blindwert unterscheidet. Dieses Beispiel belegt zum einen die hohe Leistungsfähigkeit moderner (aber auch teurer) Analysesysteme, beantwortet zum anderen aber auch die Frage nach der Notwendigkeit solcher Messungen im Spurenbereich. NDMA ist nämlich eine gentoxische Verbindung, die bereits bei extrem niedrigen Konzentrationen negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann. Vor einigen Jahren haben wissenschaftliche Untersuchungen gezeigt, dass dieses Nitrosamin bei der Behandlung von Wasser, welches ein Abbauprodukt eines Pestizidwirkstoffs enthält, mit Ozon gebildet werden kann [3]. Das Umweltbundesamt hat als Folge dieses Befundes einen gesundheitlichen Orientierungswert für NDMA im Trinkwasser von 10 ng/L veröffentlicht. Bei Einhaltung dieses Wertes ist auch bei lebenslanger Aufnahme keine Beeinträchtigung für den Menschen über das Trinkwasser zu befürchten. Für die Überwachung dieser sehr niedrigen Konzentration ist aber der Einsatz moderner Analysesysteme unabdingbar. Auch die Wirkschwellen einiger hormonaktiver Verbindungen für aquatische Organismen liegen bei wenigen ng/L oder sogar darunter und machen so die Anwendung hoch empfindlicher Analysetechniken erforderlich.

**Abbildung 3:** HPLC-Tandem-Massenspektrometer im Labor des TZW

Ein großer Fortschritt in der Trinkwasserüberwachung ist mit der Einführung der Kopplung aus Flüssigchromatographie und Massenspektrometrie (oft sogar Tandem-Massenspektrometrie) verbunden (Bild 3). Durch dieses Instrument wurde das analytische Fenster für polare Verbindungen geöffnet, die mit anderen Analysetechniken nicht oder nur mit erheblichem Aufwand bestimmt werden konnten. Polare Verbindungen sind aber oftmals von besonderer Relevanz für Wasserversorger, da sie mit konventionellen Aufbereitungsverfahren nur eingeschränkt zurückgehalten werden. So wären beispielsweise die Erkenntnisse zum Vorkommen und Verhalten von Arzneimittelrückständen in der aquatischen Umwelt ohne die moderne Kopplung aus Flüssigchromatographie und Tandem-Massenspektrometrie nicht vorstellbar. Arzneimittelrückstände sind ein Beispiel für chemische Verbindungen oder Verbindungsklassen, die in den letzten Jahren die Aufmerksamkeit der Wasserversorger und der Verbraucher auf sich gezogen haben und die nicht überwiegend bei ihrer Produktion in die Umwelt eingetragen werden, sondern die bei oder nach ihrem bestimmungsgemäßen Gebrauch in das (häusliche) Abwasser und in die kommunalen Kläranlagen gelangen. Weitere prominente Beispiele für solche Verbindungsklassen sind

künstliche Süßstoffe, Korrosionsschutzmittel (beispielsweise aus Geschirrspülmitteln), Weichmacher und Flammschutzmittel, perfluorierte Verbindungen oder synthetische Komplexbildner, aromatische Sulfonate und Moschusduftstoffe.

Die hohe Nachweisempfindlichkeit moderner Analysegeräte ermöglicht dem Wasseranalytiker auf der einen Seite immer geringere Spuren an organischen Verbindungen in den Roh- und Trinkwässern nachzuweisen. Daneben bietet sie aber auch die Möglichkeit, Wasserproben direkt, d. h. ohne zusätzlichen Anreicherungsschritt, zu untersuchen. Neben dem Vorteil der Zeitersparnis können so beispielsweise auch Verbindungen erfasst werden, für die heute noch keine geeigneten Anreicherungsverfahren zur Verfügung stehen.

Über den gezielten Nachweis von Einzelstoffen in Roh- oder Trinkwässern hinaus, ist eine andere analytische Disziplin dabei, sich im Bereich der Trinkwasserüberwachung zu etablieren: Die Identifizierung von noch unbekannten Verbindungen mittels neuester Analysetechniken wie der hochauflösenden Massenspektrometrie [4]. Analysesysteme wie Time-of-flight (TOF) Massenspektrometer oder das Orbitrap-System eröffnen neue Möglichkeiten, die molare Masse einer unbekannten Verbindung mit hoher Genauigkeit zu ermitteln und so durch die Ableitung von Summenformeln ihre Identifizierung wesentlich zu vereinfachen. Sowohl für den Nachweis bislang unbekannter Verbindungen als auch für die Aufklärung von Transformationsprodukten, die bei biologischen oder chemischen Aufbereitungsschritten (biologische Filtration, Oxidation, Desinfektion) gebildet werden, gewinnen solche Analysetechniken zunehmend an Bedeutung, so dass davon auszugehen ist, dass sie – trotz ihrer immer noch hohen Anschaffungskosten – zukünftig vermehrt in modernen Wasserlaboratorien zu finden sein werden. Gleichzeitig werden derzeit Datenbanken und Spektrenbibliotheken aufgebaut, welche die Anwendung der hochauflösenden Massenspektrometrie in der Praxis zukünftig unterstützen und vereinfachen werden.

## Kontakt:

**Dr. Frank Sacher**

DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)
Karlsruher Str. 84
76139 Karlsruhe
E-Mail: sacher@tzw.de

## Schlauer Fuchs

Unsere Schlaue-Fuchs-Frage zu diesem Beitrag lautete:

Durch welche analytische Methode konnten Erkenntnisse zum Vorkommen und Verhalten von Arzneimittelrückständen in der aquatischen Umwelt gewonnen werden?

TZW Technologiezentrum Wasser

http://www.tzw.de/

## Literatur:

[1] F. Sacher und B. Hambsch, in: TECHNEAU: *Safe drinking water from source to tap* (Hrsg.: T. v. d. Hoven und C. Kazner), IWA Publishing, London, New York, **2009**, S. 135.

[2] F. Sacher: *Chem. Unserer Zeit* **2013**, 47, 148

[3] C. K. Schmidt und H.-J. Brauch, *Environ. Sci. Technol.* **2008**, 42, 6340.

[4] W. Seitz, W. Schulz und W. H. Weber, *Rapid Comm. Mass Spectrom.* **2006**, 20, 2281.

[5] B. Bendinger, K. Botzenhart, I. Feuerpfeil, W. Kohnen, J. Meyer, U. Obst, G. Preuss, T. Schwarz, U. Szewzyk, H, Volkmann, J. Wingender und N. Zullei-Seibert, *gwf Wasser Abwasser* **2005**, 146, 466.

[6] R. Amann und B. M. Fuchs, *Nature Reviews Microbiology* **2008**, 6, 339.

[7] M. Hügler, K. Böckle, I. Eberhagen, K. Thelen, C. Beimfohr und B. Hambsch, *Water Sci. Technol.* **2011**, 64, 1435.

[8] F. Hammes, M. Berney, W. Yingying, M. Vital, O. Köster und T. Egli, *Water Res.* **2008**, 42, 269.

[9] Weltgesundheitsorganisation (WHO), *Guidelines for Drinking-water Quality*, 4. Aufl. IWA Publishing, **2011**.

[10] J. van den Broeke, P. S. Ross, A. W. C. van der Helm, E. T. Baars und L. C. *Rietveld, Water Sci. Technol.* **2008**, 57, 1169.

[11] G. Proll, J. Tschmelak und G. Gauglitz, *Anal. Bioanal. Chem*. **2005**, 381, 61.

**Frank Sacher**

## Mikrobiologische Parameter

Zur routinemäßigen Überwachung des Trinkwassers auf mikrobiologische (hygienische) Verunreinigungen wird in Deutschland seit mehr als 100 Jahren das Indikatorprinzip angewendet, das auch in der EU-Trinkwasserrichtlinie und der deutschen Trinkwasserverordnung verankert ist. Dabei erfolgt die Analyse auf die potentielle Anwesenheit von fäkalen Krankheitserregern über den Nachweis von Indikatororganismen. Der bekannteste und am häufigsten verwendete Indikatororganismus ist das Darmbakterium Escherichia coli (E. coli). Der Nachweis von E. coli im Trinkwasser zeigt eine mögliche Kontamination durch Fäkalien und fäkal ausgeschiedene Krankheitserreger an und löst daher unverzüglich Maßnahmen bei dem betroffenen Wasserversorger aus.

Im Gegensatz zu der Untersuchung auf chemische Parameter müssen für die mikrobiologische Überwachung des Trinkwassers nach Trinkwasserverordnung vorgegebene, meist genormte Analyseverfahren eingesetzt werden. Der Nachweis der Indikatororganismen erfolgt dabei über Kulturverfahren, bei denen sich die Zielorganismen auf entsprechenden Nährmedien (selektiv) vermehren und durch entsprechende Stoffwechselreaktionen quantitativ bestimmen lassen. Die Nachweisempfindlichkeit der Kulturverfahren ist i. d. R. mit einem Organismus in 100 mL Trinkwasser sehr hoch. Ihre Nachteile liegen in der vergleichsweise langen Zeit bis zum Vorliegen der Ergebnisse, die mehrere Tage betragen kann, und ihrer eingeschränkten Anwendbarkeit auf Mikroorganismen, die sich nicht oder nur sehr langsam kultivieren lassen. In den letzten Jahren wurden daher als Alternative zu den zeitaufwändigen Kulturverfahren molekularbiologische Methoden entwickelt [5]. Einige dieser Verfahren machen sich die Polymerasekettenreaktion (polymerase chain reaction, PCR) zu Nutze, bei der charakteristische Bruchstücke der DNA vervielfältigt und nachgewiesen werden. PCR-Verfahren können auch quantitative Aussagen liefern (qPCR) und sind, da die Zahl der Vervielfältigungsschritte nicht begrenzt ist, sehr empfindlich. Allerdings ist der labortechnische Aufwand für ihre Durchführung recht hoch. Andere molekularbiologische Verfahren zur Bestimmung von mikrobiellen Verunreinigungen in Trinkwasser beruhen auf dem Prinzip der Fluoreszenz-in-situ-Hybridisierung (FISH), bei dem der Nachweis der Mikroorganismen über die Einführung fluoreszierender Gensonden, die beispielsweise an bakterieneigene Nukleinsäuren binden, erfolgt [6]. Diese Verfahren sind schnell, aber wenig empfindlich und erfordern deshalb häufig eine Voranreicherung der nachzuweisenden Mikroorganismen. Allerdings gibt es bereits heute Ansätze, auf die Voranreicherung komplett zu verzichten oder aber nur eine sehr kurze Kultivierungsphase von wenigen Stunden zu verwenden, so dass Ergebnisse innerhalb eines Arbeitstages vorliegen können [7].

Es ist anzumerken, dass Kulturverfahren und molekularbiologische Methoden sich in ihrem Ansatz unterscheiden und daher die Ergebnisse nur eingeschränkt vergleichbar sind. Während mit Kulturverfahren die Vermehrung von Mikroorganismen verfolgt und quantifiziert wird, basieren die meisten molekularbiologischen Methoden auf dem

Nachweis von Nukleinsäuren (oder Bruchstücken davon). So stellt beispielsweise der Nachweis toter Zellen, welche keine Bedeutung für das Trinkwasser haben, bei vielen molekularbiologischen Nachweisverfahren ein großes Problem dar. Da sich tote Zellen nicht mehr vermehren, werden sie bei Kulturverfahren (richtigerweise) nicht erfasst. Da sie aber noch Nukleinsäuren enthalten, führen viele molekularbiologische Methoden zu einem positiven Nachweis.

Bei der Bestimmung von Organismen oder Zellen, die in höheren Konzentrationen in Wässern vorliegen, sind bereits in den nächsten Jahren weitere Verbesserungen zu erwarten. So wird die Durchflusszytometrie, bei der die Zellen in einer Wasserprobe direkt oder nach Anfärben über einen Laserstrahl und die Emission optischer Signale nachgewiesen werden können, zu einer deutlichen Beschleunigung des Analysevorgangs führen. Das Verfahren lässt sich heute schon anwenden, um Gesamtzellzahlen in einer Wasserprobe zu bestimmen, um spezifische Zelleigenschaften sichtbar zu machen oder um Zielorganismen nach Anfärben mit fluoreszenzmarkierten Antikörpern oder Oligonukleotiden quantitativ zu erfassen [8].

**Wirkungsbezogene Analytik**

Durch die kontinuierliche Verbesserung der konventionellen chemisch-analytischen Nachweisverfahren können immer mehr Stoffe in Roh- und Trinkwässern detektiert werden. Allerdings lässt sich auch durch die Überwachung einer sehr großen Anzahl an Einzelstoffen nicht völlig ausschließen, dass ein Wasser eine nachteilige Wirkung auf Mensch oder Tier haben kann. Hier setzen biologische Wirkungstests an, durch die schädliche Wirkungen eines Wassers (oder besser seiner Inhaltsstoffe) untersucht werden können, auch wenn seine chemische Zusammensetzung nicht in allen Einzelheiten bekannt ist. Biologische Testverfahren, insbesondere solche, die nicht an lebenden Organismen durchgeführt werden, sondern biologisch aktive Substanzen aufgrund von Effekten auf molekularer oder zellulärer Ebene nachweisen (sog. in-vitro-Tests), werden vor allem in der Umweltüberwachung immer populärer, weil sie Informationen liefern, die durch eine chemische Einzelstoffanalytik allein nicht zugänglich sind (Abbildung 4).

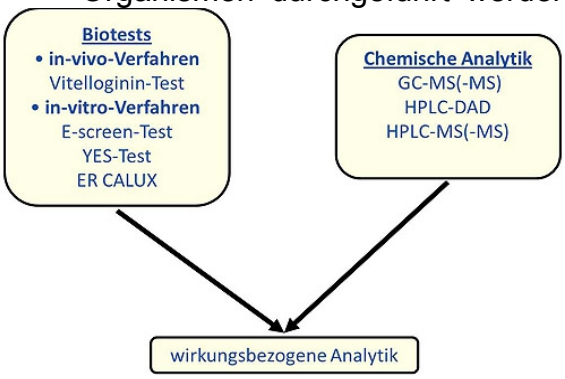


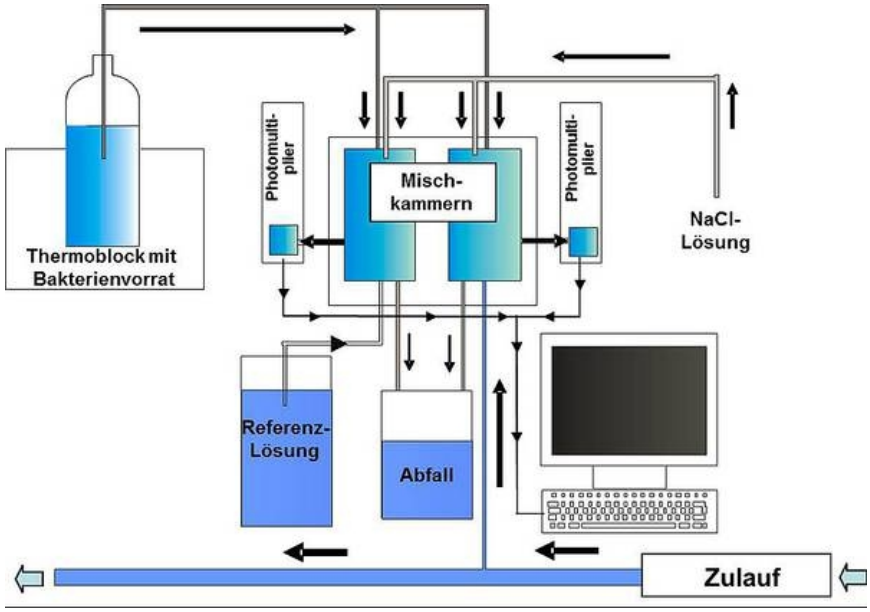

**Abbildung 4:** Zusammenwirken von biologischen Testverfahren und chemischer Einzelstoffanalytik am Beispiel des Nachweises estrogen wirkender Substanzen

Eine Schwierigkeit bei der praktischen Anwendung einer wirkungsbezogenen Analytik ist, dass es eine große Anzahl an unterschiedlichen Tests für eine Vielzahl verschiedener biologischer Wirkungen gibt. So kann eine Untersuchung auf die akute Toxizität einer Wasserprobe mittels Bakterien, Algen, Daphnien, Muscheln, Fischeiern oder sogar ganzen Fischen erfolgen, wobei für jede Spezies verschiedene Tests und Testsysteme existieren, die sich sowohl in ihren grundlegenden Ansätzen als auch in den experimentellen Details unterscheiden. Hinzu kommt, dass die unterschiedlichen Spezies gegenüber verschiedenen chemischen Schadstoffen deutlich unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweisen. Welche Tests und welche Testsysteme für eine zuverlässige und aussagekräftige Roh- und Trinkwasserüberwachung eingesetzt werden sollen, ist derzeit Inhalt der wissenschaftlichen Diskussion im Wasserfach.

## Online-Überwachung

Als Ergänzung zu den beschriebenen analytischen Verfahren und Technologien, die häufig reine Laborverfahren darstellen und daher die gewünschte Information erst nach einer gewissen Zeit des Probentransports, der eigentlichen Analytik und der Datenauswertung liefern können, erhält man durch eine Online-Überwachung sehr rasch Auskunft über die aktuelle Wasserbeschaffenheit. Dies ist insbesondere hilfreich bei der frühzeitigen Erkennung von Änderungen in der Rohwasserbeschaffenheit (etwa im Falle von Unfällen) oder um bei Fehlfunktionen innerhalb des Aufbereitungsprozesses schnell reagieren zu können. Die Online-Überwachung einzelner Aufbereitungsstufen steht auch in Einklang mit den aktuellen Ansätzen der Weltgesundheitsorganisation WHO zur Sicherung der Trinkwasserqualität, bei denen im Rahmen eines sog. prozessorientierten Risikomanagements die kontinuierliche Überwachung der Aufbereitungsprozesse im Wasserwerk als Ergänzung zu einer Qualitätsüberwachung des aufbereiteten Trinkwassers gesehen wird [9].

**Abbildung 5**




In den letzten Jahren wurden verschiedene Ansätze für Online-Systeme zur Gewässer- oder Trinkwasserüberwachung realisiert und als technische Produkte auf den Markt gebracht. Die meisten dieser Systeme erfassen einfache Wasserqualitätsparameter wie pH-Wert, Temperatur, elektrische Leitfähigkeit oder die UV-Absorption bei einer spezifischen Wellenlänge (meist 254 nm). Auch für die Restgehalte an Oxidations- und Desinfektionsmitteln (Ozon, Chlor, Chlordioxid) werden in Wasserwerken schon seit einigen Jahren kommerzielle Online-Messgeräte eingesetzt. Durch intelligente Auswertung der Messdaten lassen sich auch aus vergleichsweise einfachen Parametern weitergehende Aussagen über die Wasserbeschaffenheit ableiten [10]. Ein großer Vorteil solcher Online-Sensoren ist, dass die Ergebnisse zeitnah zur Verfügung stehen und so für eine Steuerung der Betriebsabläufe im Wasserwerk – beispielsweise für die Einstellung der Ozondosierung – genutzt werden können.

Die Möglichkeiten für den Nachweis von organischen Einzelstoffen mittels Online-Analysesystemen sind noch immer begrenzt, obwohl in den letzten Jahren auch verschiedene Forschungsaktivitäten in diese Richtung unternommen wurden. So wurden Online-Analysengeräte entwickelt und im praktischen Einsatz getestet, mit denen sich organische Stoffe wie hormonell wirksame Verbindungen oder Pestizidwirkstoffe empfindlich und zuverlässig nachweisen lassen [11]. Die im Rahmen von Forschungsvorhaben durchgeführten Tests zeigten, dass die Prototypen der entwickelten

Analysesysteme auch beim Einsatz vor Ort hinsichtlich ihrer Nachweisempfindlichkeit und ihrer Zuverlässigkeit mit konventionellen Analysensystemen vergleichbar sind. Der erforderliche Wartungsaufwand ist relativ gering und die Analysenergebnisse sind i. d. R. bereits nach wenigen Minuten verfügbar. Allerdings wurden die Prototypen bislang noch nicht in kommerzielle Systeme umgesetzt, so dass ein Einsatz für die routinemäßige Roh- oder Trinkwasserüberwachung im Wasserwerk derzeit nicht möglich ist.

Wie bereits zuvor ausgeführt, stellen in Hinblick auf die Überwachung von Roh- und Trinkwässern auf toxische Substanzen biologische Testsysteme eine wertvolle Ergänzung zu chemischen Analysen dar. Dies gilt nicht nur im Bereich der Laboranalysen, sondern auch für die kontinuierliche Online-Überwachung der Wasserqualität. Sogenannte Biomonitore können eine Vielzahl von toxischen Substanzen anhand ihrer Wirkung erfassen und ermöglichen so die zeitnahe Erkennung von Veränderungen in der Wasserbeschaffenheit, wie sie beispielsweise bei Unfällen oder bei Anschlägen auftreten können. Derzeit werden für die Gewässerüberwachung insbesondere Testsysteme eingesetzt, die Bakterien, Algen, Daphnien, Muscheln oder Fische nutzen. Bei den einzelnen Testsystemen werden entweder Parameter, welche die biologische Aktivität der jeweiligen Testorganismen charakterisieren, wie Sauerstoffverbrauch, Produktion von Kohlendioxid oder Biolumineszenz, beobachtet oder aber das Verhalten des gesamten Organismus verfolgt. Beim Einsatz der Systeme zur Überwachung der Trinkwasserqualität muss allerdings beachtet werden, dass im Gegensatz zur Anwendung der Biomonitore für die Abwasser- oder Gewässerüberwachung sich dort die Randbedingungen unterscheiden und dass biologische Systeme sehr empfindlich auf diese Unterschiede reagieren können. So kann das begrenzte Angebot an verwertbarem Substrat in einem Trinkwasser die Funktionstüchtigkeit eines biologischen Testsystems merklich beeinflussen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die biologischen Systeme unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber verschiedenen Chemikalien aufweisen, so dass in einzelnen Fällen der Einsatz einer ganzen Batterie unterschiedlicher biologischer Testsysteme sinnvoll sein kann.

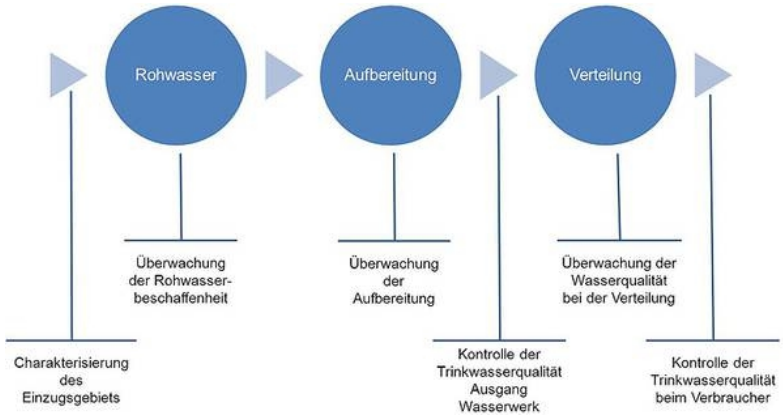



**Abbildung 6:** Prinzip eines on-line Biotest-Systems.

## Zusammenfassung

Die Überwachung unseres Trinkwassers wird immer auch durch neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Fortschritte bei dem verfügbaren analytischen Instrumentarium beeinflusst. Die moderne Trinkwasserüberwachung macht sich diese Entwicklungen zu Nutze, um jederzeit eine hohe Wasserqualität sicherstellen zu können. Trends in modernen Wasserlaboratorien sind eine zunehmende Automatisierung, die Einführung hochwertiger Messgeräte und neuer Analyseverfahren für chemische und biologische Parameter, das Auftreten immer neuer potentieller Verunreinigungen, der Einzug von effekt-bezogenen Analyseverfahren (Biotests) sowie von Analysesystemen zur Online-Überwachung der Trinkwasserqualität und zur frühzeitigen Erkennung von Kontaminationen und Störungen im Aufbereitungsprozess.