

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 74 (1982)
Heft: 7-8

Artikel: Methoden der wartungsarmen, physikalisch-chemischen
Dauerüberwachung von Trinkwasser
Autor: Züllig, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941141>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Methoden der wartungsarmen, physikalisch-chemischen Dauerüberwachung von Trinkwasser

Hans Züllig

Zusammenfassung

Verschiedene Trinkwasserversorgungen prüfen die Anschaffung von automatischen Einrichtungen zur Wasserqualitätsüberwachung in bezug auf hygienisch und technisch störende Parameter. Die erfassbaren Parameter sollen als Qualitätsindikatoren auf allfällige Störungen hinweisen und rechtzeitig Alarm auslösen. Verschiedene Messsonden und optische Einrichtungen ermöglichen heute eine wartungsarme Dauerüberwachung, welche rechtzeitig, wie die hydraulischen und elektronischen Überwachungseinrichtungen, Alarm melden sollen.

Résumé: Le contrôle permanent et automatique de la qualité de l'eau

Différents services des eaux étudient l'acquisition d'appareils automatiques pour le contrôle de qualité de l'eau, permettant de suivre les paramètres susceptibles de provoquer des perturbations sur le plan de l'hygiène et de la technique. Les paramètres mesurés, en tant qu'indicateurs de qualité, doivent rendre attentif à des perturbations possibles et déclencher à temps une alarme. Tout un nombre de sondes de mesure et d'appareils optiques permettent aujourd'hui, avec un minimum de surveillance, de réaliser un contrôle permanent et d'assurer l'alarme en cas de nécessité, tel que cela est déjà le cas pour les installations de contrôle hydrauliques et électroniques.

Summary: Automatic monitoring of the quality of drinking water

Various water works are examining the installation of automatic devices for monitoring the water quality relative to any possible hygienic and technical problems. The parameters registered are to act as quality indicators, thereby pointing immediately disturbances and giving warning in good time. A range of modern probes and optical equipment today allow continuous, low maintenance surveillance with early alarm, as in the case of hydraulic and electronic control systems.

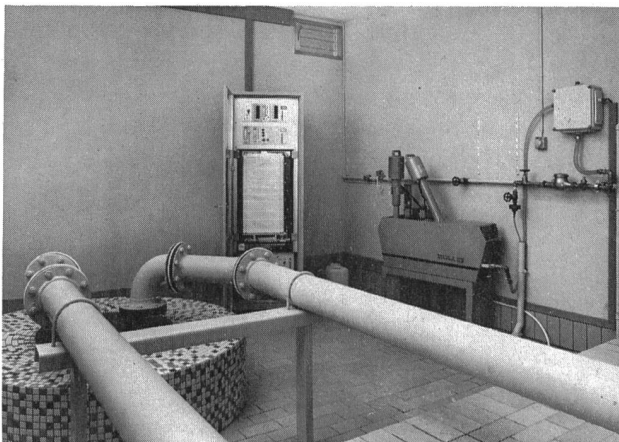


Bild 1. Installation einer Wasserqualitätsüberwachungs-Station mit dauernder Probenahme aus dem Fördernetz einer Pumpstation, Sondenbehälter, Auswerte- und Registrieranlage.

Wasserwerke befassen sich in neuerer Zeit aus verschiedenen Gründen mit der Anschaffung von Wasserqualitätsstationen. So sind zum Beispiel weite Kreise der Bevölkerung heute beunruhigt über die Kontamination der Nahrungsmittel und des Trinkwassers durch anthropogene Schadstoffe. Wasserbauliche Eingriffe, Gewässerverschmutzung, aber auch intensive Nutzung des Bodens beginnen das Filtrations- und Abbauvermögen der natürlichen Grundwasserleiter zu überfordern und Trinkwasser chemisch und physikalisch zu ändern. Diese Erscheinungen bleiben zwar dem Konsumenten eher verborgen, sie bereiten den Betreibern von Wasserversorgungsanlagen jedoch oft wegen zunehmender Korrosionsgefahr, Einschleppen von Eisen- und Manganbakterien, Geruchsbelästigungen usw. ernsthafte Sorgen, auch in technischer Hinsicht. In neuerer Zeit führen auch zahlreiche Autobahnen durch ausgedehnte Grundwassergebiete, oft nahe an Grundwasserfassungen vorbei. Verkehrsunfälle durch Lastenzüge, welche flüssige Brennstoffe und andere wassergefährdende Stoffe über das gut ausgebaute Verkehrsnetz transportieren, insbesondere aber Umschlagsunfälle oder Inhalte leerer Tanks können ins Grundwasser versickern und lokal konzentrierte Verschmutzungen verursachen, welche vom Grundwasserstrom mitgeschleppt, unter Umständen in Trinkwasserpumpwerke gelangen. Die Schadstoffe nehmen im Pumpwerk dabei meist nicht schlagartig zu, sondern allmählich.

Solche Gründe veranlassen heute Behörden und Betriebsleitungen von Wasserwerken, zusätzlich zu den zahlreichen elektrischen und hydraulischen Überwachungs- und Alarmanlagen ihrer Wasserversorgungsanlagen, nach Möglichkeiten einer kontinuierlichen Wasserqualitätsüberwachung Ausschau zu halten.

Auf dem Markt sind heute hochentwickelte Analysengeräte für Labor- und Industriebedarf erhältlich. Teils ermöglichen sie durch manuelle, diskontinuierliche Messungen Wasserinhaltsstoffe in kaum vorstellbaren Minimalmengen aufzuspüren und quantitativ zu bestimmen, die man früher im Trinkwasser kaum vermutete. Solche Gerätschaften haben auch in Laboratorien zur routinemässigen Überwachung von Trinkwasser, insbesondere in Wasserwerken mit Trinkwasseraufbereitung, Eingang gefunden. In begrenzterem Masse ermöglicht jedoch der heutige Stand der Technik die kontinuierliche Erfassung gewisser Qualitätsparameter. Die Hersteller solcher Geräte bemühen sich nicht nur, die Nachweisgrenze für chemische Parameter herabzusetzen, sondern die Geräte auch wartungsfreundlich und für möglichst lange wartungsfreie «Standzeit» zu bauen [1]. Ein Musterbeispiel gemischter Überwachungsanalytik, das heisst der Verbindung von manueller und automatischer Überwachung, bietet die Wasserversorgung der Stadt Zürich [2]. Die Zielsetzung bezüglich der Analytik und der mit ihr erfassbaren Wasserinhaltsstoffe reicht aber weit über das hinaus, was kleinere und mittlere Wasserversorgungen von Einrichtungen zur Qualitätsüberwachung fordern.

Die Zielsetzungen solcher Wasserwerke sind aufgrund bisheriger Erfahrungen etwa folgende:

- Erfassung *technisch* relevanter Parameter:
 - Sauerstoffgehalt
 - Wasserstoffionenkonzentration pH
- Erfassung *hygienisch* relevanter Parameter:
 - Temperatur
 - Elektrische Leitfähigkeit (Härte)
 - Trübung
 - «Organische» Komponenten
 - Freies Chlor

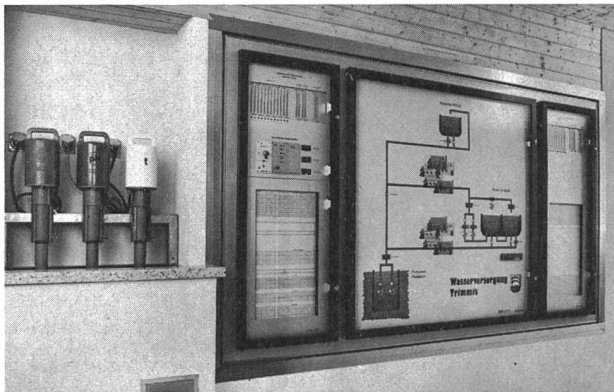


Bild 2. Zentrale Betriebswarte mit Sondenbehälter (links) zur Überprüfung der Parameter im Versorgungsnetz der Wasserversorgung Trimmis.

Nitrat, Chlorid

– *Berechnung des Verschmutzungsgrades:*

Alarmmeldung bei Überschreiten von festgelegten Extremwerten

- Für kontinuierlich und selbsttätig messende Einrichtungen, *grosse Nullpunktstabilität, extrem hohe Standzeiten und Wartungsfreundlichkeit.*

Wasserversorgungen kleinerer und mittlerer Grösse verfügen meistens bereits über einen vollautomatischen Förder- und Verteilbetrieb und erfordern von der Technik her nur eine minimale Wartung. Störungen werden oft nach Prioritäten geordnet, rechtzeitig gemeldet, damit nach Möglichkeit kein nach aussen sichtbarer und spürbarer Wassermangel eintreten kann. In bezug auf die Qualitätsüberwachung gehen die Überlegungen in die gleiche Richtung.

Ausgewählte technisch und hygienisch relevante Parameter sollen teils als sekundäre Indikatoren wirken und Alarm melden, das heisst ein Ereignis ankündigen, sobald Messwerte ausserhalb empirisch festgelegter Messbereiche auftreten. So kann beispielsweise eine kurzfristig ansteigende Leitfähigkeit und ein gleichzeitiger Zusammenbruch des Sauerstoffgehaltes das Eindringen von Jauche in eine Grundwasserfassung vermuten lassen, ohne dass im Moment weitergehende Detailanalysen zum Beispiel über Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen erfolgen müssen. Der Wasserwart kann alsdann den Pumpbetrieb unterbrechen und die Gesundheitsbehörde benachrichtigen, welche die Gründe näher abzuklären hat!

Die Anforderung an hohe Standzeit bedeutet, dass Messgeber über Monate hin nullpunktstabil bleiben und ohne erforderliche manuelle Reinigung einwandfreie Messresultate liefern. Die übliche Wartung nach 4 bis 6 Monaten sollte vom Wasserwart durch einfache Handarbeiten ausgeführt werden können.

Bewährte Methoden und Messgeber zur langzeitstabilen und wartungsfreundlichen Messwerterfassung

Probenahme

Grundsätzlich wird für die kontinuierliche Trinkwasserüberwachung angestrebt, das im Versorgungsnetz zur Verfügung stehende Wasser an einem repräsentativen Ort «anzuzapfen» und als Teilstrom durch ein Messgefäss fliessen zu lassen. Je nach Problemstellung kann eine Überwachung des Wassers direkt im Filterbrunnen, zum Beispiel durch Dauerentnahme mittels Kleinpumpe, oder aus der Förderleitung (Bild 1) ferner an einem Punkt im Netz, zum Beispiel an der Betriebswarte (Bild 2), in extremen Fällen sogar im Hauptreservoir erfolgen.

Wahl der Messverfahren, Messsonden

Für die kontinuierliche Überwachung von Parametern eignet sich der Einsatz von Messsonden mit Elektroden, an denen sich teils chemisch-physikalische Reaktionen abspielen oder photometrische Verfahren unter Verwendung von Durchflusszellen.

Die handelsüblichen, erfolgreich in Laboratorien eingesetzten Sonden versagen mancherorts im Dauerbetrieb, weil sich ihre offenen oder membranbedeckten Elektroden durch die selbst im Trinkwasser mitgeführten Trübstoffe bedecken, durch Kalk verkrusten oder durch Pilz- oder Algenrasen belegen. Zur Verzögerung dieser Erscheinungen werden gewisse Kunstgriffe angewendet, zum Beispiel der Einsatz von Spülflüssigkeiten, künstlich erzeugte hohe Anströmung der Elektroden durch Pumpströme, Ultraschallreinigung usw. Dadurch kann der technische Aufwand zur Überlistung störender «Randeffekte» teure Zusatzinstallationen bedingen.

Dokumentation

Die meisten Parameter verändern sich ausserhalb von «Pannen» zeitlich nur sehr langsam. Die Aufzeichnung auf

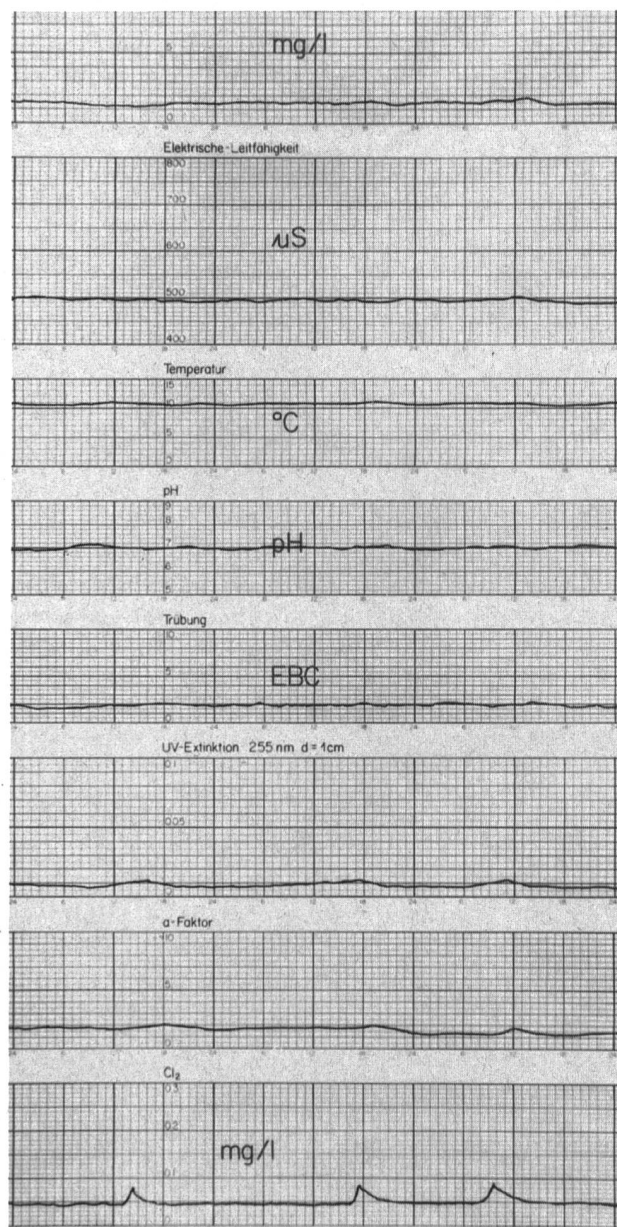


Bild 3. Aufzeichnung der Messwerte auf Wochendiagramm.

Wochendiagrammen (Bild 3) ist zwar übersichtlich und ermöglicht einen genauen zeitlichen Vergleich mit der Registrierung hydraulischer Grössen und Betriebszustände im Wasserversorgungsbetrieb, indessen ist damit ein Papierverschleiss verbunden. In Anlagen mit bestehender EDV-Infrastruktur ist es sinnvoll, die Daten elektronisch zu speichern.

Ermittlung des gelösten Sauerstoffes

In der Praxis werden Sauerstoffmessgeber mit sog. membranbedeckten und «offenen» Elektroden verwendet. Gemeinsam ist allen das elektrochemische Verfahren, bei welchem zwei verschieden edle Metalle in sauerstoffhaltigem Wasser einen elektrischen Strom erzeugen. Bei «bedeckten» Elektroden sind die Metalle durch eine für den Sauerstoff durchlässige Membran gegenüber dem Messmedium abgetrennt.

Als ausgesprochen nullpunktstabiler, wartungsfreudlicher Messgeber mit extrem hohen Standzeiten hat sich die Sauerstoffsonde nach Jaag, Hörler und Kalman mit selbstreinigender Elektrode erwiesen. Diese besteht aus coaxial angeordneten, verschieden edlen Metallzylindern, die in einer isolierenden Masse eingebettet sind und stirnseitig durch einen Schleifstein kontinuierlich geschliffen werden (Bild 4). Der erzeugte Strom wird temperaturkompensiert und ist linear zum gelösten Sauerstoff. Die Beeinflussung der sogenannten offenen, das heisst nicht membranbedeckten Elektroden durch ändernde Leitfähigkeit und pH ist bei Verwendung speziell ausgewählter Elektroden klein.

Ermittlung der Wasserstoffionenaktivität pH

Die üblicherweise im Labor verwendeten Glaselektroden sind in ihrer Funktionsweise bekannt. Sie erfordern erfahrungsgemäss ein kurzzeitiges Nacheichen innert 1 bis 2 Wochen. Ein neues Differentialmesssystem (Bild 5) ermöglicht jedoch eine Standzeit von mehreren Monaten. Bei diesem ist die Bezugs elektrode als Standardzelle mit echter pH-Wahrnehmung ausgerüstet. Sie besteht aus einer zweiten pH-empfindlichen Elektrode, umgeben von einer Pufferlösung pH 7, welche vom Messmedium durch eine zusätzliche Kammer mit zwei Diaphragmen geschützt ist. Dieser als Einstabmesskette ausgerüstete Messgeber berücksichtigt selbstkompensierend Alterungsvorgänge, womit sich die erstaunliche Stabilität erklären lässt.

Ermittlung der Temperatur

Für die Ermittlung der Temperaturen haben sich die üblich verwendeten Temperaturmessfühler Pt 100 als langzeitstabil erwiesen.

Ermittlung der elektrischen Leitfähigkeit

Sie stellt ein grobes Mass für die Wasserhärte dar und wird als reziproker Wert des elektrischen Widerstandes, gemessen zwischen zwei unbedeckten Elektroden, berechnet. Als besonders geeignet für Dauermessungen hat sich das elektrodenlose Messverfahren mit sog. induktiven Leitfähigkeitsmessfühlern erwiesen. Anstelle von offenen Elektroden werden zwei Spulen verwendet, welche durch das Messmedium gekoppelt sind. Auf die eine Spule wird ein bekanntes, hochfrequentes Signal eingeprägt, so dass der entsprechende Ausgangsstrom der zweiten Spule proportional zur Leitfähigkeit des Mediums ist. Die temperaturabhängige Messung wird durch einen Temperaturfühler kompensiert. Dieses Messverfahren ist wegen fehlender Elektroden unabhängig von sog. Polarisierungseffekten sowie von Störungen durch Verschmutzung und Verkrustung. Eine Nachkontrolle ist mittels Eichwiderständen möglich. Der Messfühler ist in Kunststoff vergossen (Bild 6).

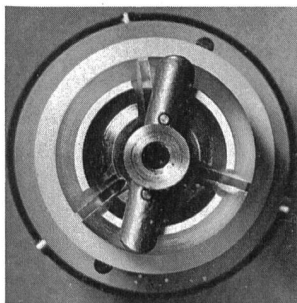


Bild 4. Offene Elektrode einer Sauerstoffsonde mit Schleifstein zur kontinuierlichen Reinigung der Elektrodenoberfläche.

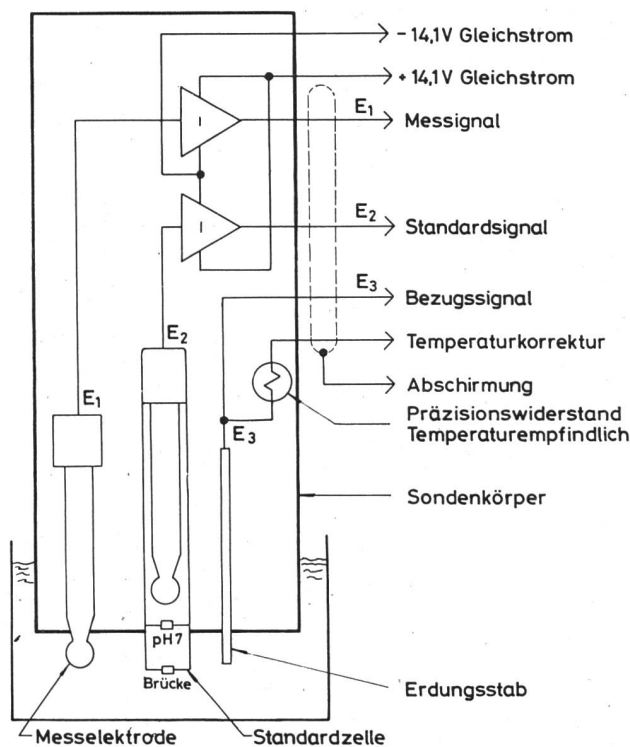


Bild 5. Schematische Darstellung der pH-Messung mit einem Differential-Messverfahren.

higkeitsmessfühlern erwiesen. Anstelle von offenen Elektroden werden zwei Spulen verwendet, welche durch das Messmedium gekoppelt sind. Auf die eine Spule wird ein bekanntes, hochfrequentes Signal eingeprägt, so dass der entsprechende Ausgangsstrom der zweiten Spule proportional zur Leitfähigkeit des Mediums ist. Die temperaturabhängige Messung wird durch einen Temperaturfühler kompensiert.

Dieses Messverfahren ist wegen fehlender Elektroden unabhängig von sog. Polarisierungseffekten sowie von Störungen durch Verschmutzung und Verkrustung. Eine Nachkontrolle ist mittels Eichwiderständen möglich. Der Messfühler ist in Kunststoff vergossen (Bild 6). Genauigkeit Bereich 0 bis 1000 μ S:

Linearitätsabweichung	0,2%	} bezogen auf Endwert
Genauigkeit	0,2%	

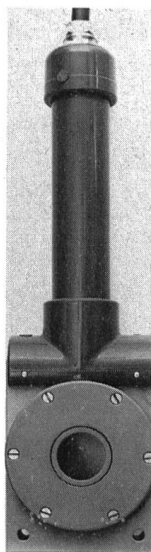


Bild 6. In Kunststoff vergossener, induktiver Leitfähigkeitsfühler.

Ermittlung der Trübung

Trübung ist ein optischer Eindruck und wird durch feinverteilte Partikel in einem Trägermedium, zum Beispiel Gas, Flüssigkeit, verursacht [3]. Die zum Beispiel oft nach intensiven Niederschlägen, aber auch bei Störungen in Filtereinrichtungen zu beobachtenden Trübungen durch anorganische und organische Partikel werden meistens nach der Streulichtmethode (Erfassung des Streulichtes in einem ganz bestimmten Winkel) im Durchflussverfahren erfasst. Bei dieser wird grundsätzlich das zu messende Medium von einer Lichtquelle aus durchstrahlt und das durchtretende Licht zum Beispiel unter 90° und unter 0° Ablenkung gemessen. Der Quotient der ermittelten Durchlässigkeiten wird als Trübung *S* definiert. Durch die Quotientenbildung werden insbesondere kleinere Linsenbelegungen selbst kompensiert, eine nicht systematisch gleich erfolgende Verschmutzung lässt sich dadurch verhindern, indem die Trübung im frei fallenden Strahl gemessen oder eine kontinuierliche Reinigung durch Wischen der Linsen vorgenommen wird (Bild 7). Um auch unabhängig vom Tageslicht messen zu können, ist es von Vorteil, als Lichtquelle Infrarot zu verwenden.

Um die Trübung in Masseinheiten ausdrücken zu können, verwendet man zum Beispiel sogenannte Standardsuspensionen, welche unter gleichen optischen Bedingungen mit dem Messgut verglichen werden.

Diese Trübungsstandarde sind Aufschwemmungen je einer bestimmten Menge leicht verteilter kleinster Teilchen einer organischen oder anorganischen Substanz pro Volumeneinheit.

Gut reproduzierbare Trübungsstandarde lassen sich mit Formazin, einer organischen Verbindung, herstellen. Ihre Einheit wird als FTU = Formazin Turbidity Unit bezeichnet. In der Getränkeindustrie ist die Bezeichnung EBC = European Brewery Convention üblich. 1 EBC = 4 FTU.

Ermittlung gelöster organischer Verbindungen

Trinkwasser kann eine hohe Zahl organischer Verbindungen enthalten, deren Einzelmengen üblicherweise sehr gering sind. Meistens handelt es sich um Abbauprodukte des Bodens, die oft als Humusstoffe bezeichnet werden, daneben aber auch um Spuren künstlicher, organischer Stoffe zum Beispiel halogenierte und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Als gelöste organische Stoffe bezeichnet man jene, welche ein Membranfilter der Porengrösse 0,45 µm durchdringen.

Organische, gelöste Stoffe werden summarisch als Extinktionsgrösse durch eine Absorptionsmessung im UV-Licht bei 254 nm ermittelt und auf 1 cm durchstrahlte Schicht bezogen.

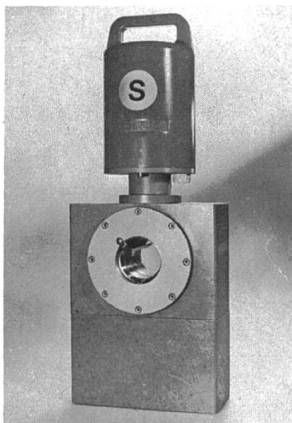


Bild 7. Trübungs-Streulicht-Messgeber mit kontinuierlicher Linsenreinigung.

Die kontinuierliche photometrische Messung erfolgt in Durchflussküvetten, die periodisch von allfälliger Glasbelegung mechanisch gereinigt werden müssen.

Ermittlung von «freiem Chlor»

Chlorgas reagiert schon bei Zimmertemperatur mit Wasser und bildet Salzsäure und unterchlorige Säure. Gechlortes Wasser enthält daher neben freiem Chlor auch unterchlorige Säure. Beide Verbindungen bilden mit Diäthyl- p-Phenylendiamin einen roten Farbstoff. Im kontinuierlichen Betrieb wird Probewasser mit Reagenzlösung gemischt und photometrisch ausgewertet. Die Farbreaktion ist sehr empfindlich und gestattet Mengen im üblichen Restchlor-Bereich 0,1 bis 0,3 mg/l Chlor zu erfassen. Die Farbreaktion wird durch weitere Oxydanten wie Ozon und Chlordioxyd beeinflusst. Für kontinuierliche Messungen in diesem Bereiche sind elektrochemische Methoden nicht geeignet oder sehr teuer.

Ermittlung von Nitrat- und Chlorid-Ionen

Im Zusammenhang mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung durch natürliche oder künstliche Düngung wurde verschiedentlich ein Anstieg der Nitrat- und Chloridgehalte im Grundwasser festgestellt. Es wurde die Frage aufgeworfen, ob der Gehalt an diesen Ionen selektiv im Dauerbetrieb überwacht werden könne. Zwar sind heute für ein ganzes Spektrum von Ionen ionenselektive Elektroden erhältlich, beispielsweise für Fluorid-, Chlorid-, Cyanid-, Sulfid-, Ammonium- und Nitrat-Ionen. Ihre Leistungsfähigkeit wurde sowohl unter Bedingungen des diskontinuierlichen als auch des kontinuierlichen Einsatzes geprüft. Während verschiedene ionenselektive Elektroden mit Erfolg im Laborbetrieb eingesetzt werden, äussern sich Lieferanten bezüglich der Erfolge im Dauerbetrieb, insbesondere aus Gründen kurzer Standzeiten, zurückhaltend. Es ist sinnvoll, hier weitere Entwicklungen abzuwarten.

Die Berechnung des Verschmutzungsgrades *a*

Der Hydrogeologe Dr. O. Lienert schlägt zur Früherkennung eines eingetretenen Ereignisses folgende, die Verschmutzung eines Trinkwassers ankündende Formel vor [4]:

$$a = \frac{\frac{\text{el. Leitfähigkeit } \mu\text{Scm}^{-1}}{100} \cdot \frac{\text{UV-Extinktion/cm}}{0,01}}{(\text{O}_2\text{mg/l gelöst})^2}$$

Darin sind gewisse kontinuierlich problemlos messbare Parameter als «Indikatoren» vereinigt.

Der Verschmutzungsfaktor *a* wird von automatisch arbeitenden Messstationen elektronisch errechnet. Überschreitet dieser einen festgelegten Wert, wird Alarm ausgelöst.

Die Erfahrungen der Zukunft werden zeigen, inwiefern das Messprogramm den Forderungen der Praxis zu genügen vermag.

Literatur

- [1] Züllig H. 1976. Wartungsarme Dauerüberwachung von Oberflächenwässern, «Plan» 33, 718.
- [2] Valenta J., und Kappeler W. 1961. Qualitätsüberwachung. «Gas, Wasser, Abwasser», 9, 142–146.
- [3] Sigrist-Photometer AG, Firma-Mitteilung «Trübungseinheiten» (Adresse: Zweierstrasse 129, 8036 Zürich)
- [4] Persönliche Mitteilung von Dr. O. Lienert, dipl. Ing. ETH, Hydrogeologe, Rehetobel.

Adresse des Verfassers: Dr. Hans Züllig, Züllig AG, Apparatebau für die Wasserwirtschaft, CH-9424 Rheineck.