

Verkeimung im Trinkwassernetz

Problematik anhand eines Fallbeispiels

Fallbeispiel: Erhöhte Keimzahlen in Wasserproben

Bei routinemässigen Untersuchungen muss eine kleinere Schweizer Gemeinde-Wasserversorgung erhöhte Keimzahlen (AMK > 300 KBE/ml) im eigenen Trinkwassernetz feststellen. Das kantonale Laboratorium vermerkt im Untersuchungsbericht, dass das beprobte Wasser nicht den lebensmittelrechtlichen Anforderungen entspricht und gemäss Schweizerischer Hygieneverordnung (Art. 5) als im Wert vermindert gilt. Weitere Probenahmen an verschiedenen Stellen im Netz ergeben teilweise wieder bessere Befunde unterhalb der Toleranzwerte; nachdem jedoch mehrere Proben hintereinander den Wert von 300 KBE/ml überschreiten, entschliesst sich der Wasserversorger, das Netzwasser mittels Zudosierung von Javellauge zu desinfizieren. Obwohl die Chlorkonzentrationsgrenzwerte eingehalten werden, führt diese Massnahme zu Reklamationen bei den Kunden – der Chlorgeschmack im Trinkwasser sei kein ertragbarer Zustand. Zu diesem Zeitpunkt ist den Verantwortlichen nicht ganz klar, wie weiter vorgegangen werden soll. Das Problem wird deshalb unter Beizug von Spezialisten aus Forschung und Privatwirtschaft und unter Berücksichtigung verschiedener Gesichtspunkte systematisch angegangen (siehe Abb. 1).

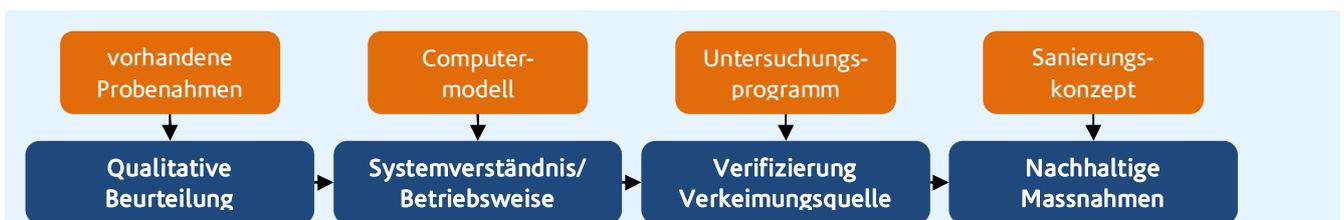


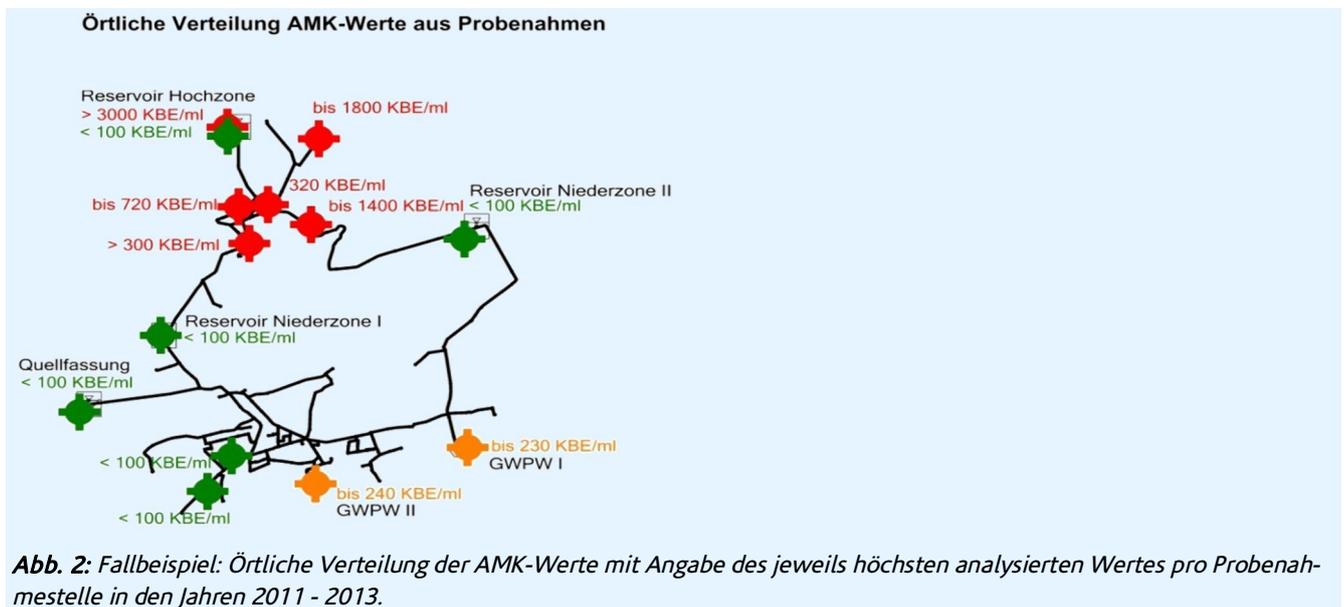
Abb. 1: Systematische Vorgehensweise zur Behebung der Verkeimungsproblematik im Fallbeispiel.

Qualitative Beurteilung basierend auf Wasserproben

Zunächst wurde basierend auf den zahlreich vorhandenen bakteriologischen Standarduntersuchungen an verschiedenen Stellen im Netz eine qualitative Beurteilung des Trinkwassers vorgenommen. Im Fallbeispiel gaben nur die erhöhten AMK-Werte in den Wasserproben Anlass zur Beanstandung, ein Parameter, der nebst E. coli und Enterokokken bei der periodisch durchgeführten mikrobiologischen Kleinuntersuchung durch das Kantonale Laboratorium geprüft wird. Mit der AMK-Zahl (aerobe, mesophile Keime) soll die Präsenz lebender und vermehrungsfähiger Bakterien bestimmt werden – unter definierten Laborbedingungen lässt man dazu die Keime einer Wasserprobe während 3 Tagen zu zählbaren Kolonien heranwachsen. Damit werden aber keinesfalls alle im Trinkwas-

ser vorhandenen Keime erfasst, sondern nur rund 0.01 - 1%. Dies ist schon seit vielen Jahren bekannt und kann zum Beispiel mit der neu entwickelten Messmethode – Durchflusszytometrie – auch eindrücklich aufgezeigt werden [Egli, 2008]. Trotzdem dient der AMK-Wert als guter Hinweis zur Beurteilung der allgemeinen mikrobiologischen Qualität und Hygiene des Wassers, welche im Fallbeispiel offensichtlich beeinträchtigt war. Hingegen konnte eine akute Gefährdung durch gesundheitsgefährdende, pathogene Keime bzw. eine fäkale Verschmutzung eher ausgeschlossen werden, da die Indikatorkeime E. coli und Enterokokken nicht nachgewiesen wurden.

Um die mögliche Kontaminationsquellen einzuschränken, wurde beim Fallbeispiel die örtliche Verteilung der AMK-Werte aufskizziert (siehe Abb. 2). Es zeigte sich, dass die erhöhten Werte ausschliesslich in der Hochzone festgestellt wurden. Allerdings gab es auch dort immer wieder Probenahmen deutlich unterhalb des Toleranzwertes.



Systemverständnis mittels hydraulischem Computermodell

Als Grundlage für die richtige Interpretation der Probenahmen wurde in einem nächsten Schritt die Betriebsweise des Wasserversorgungssystems genauer studiert. Aufgrund der Komplexität des Netzes mit verschiedenen Pumpwerken und Zwischenspeichern wurde im Fallbeispiel ein computerbasiertes hydraulisches Modell des Verteilsystems erstellt. Damit war es möglich, die Wasserflüsse in Abhängigkeit der Tageszeit zu simulieren und sogar das Wasseralter im Hauptleitungsnetz abzuschätzen. Zwei wichtige Erkenntnisse konnten daraus gewonnen werden:

- Das Wasseralter in der obersten Druckzone ist aufgrund des Netzaufbaus mit Pump-Zwischenspeichern und einem überdimensionierten Reservoir (mit Löschreserve) mit bis zu 10 Tagen relativ gross (siehe Abb. 3). Die neue SVGW-Richtlinie W4 empfiehlt zum Beispiel, dass Verweilzeiten im Rohrnetz von weniger als 3 Tagen anzustreben sind [SVGW, 2013]. Erfahrungen aus der Praxis sowie Forschungsarbeiten zeigen aber auch, dass ein hohes Wasseralter bzw. Stagnationen bei der Trinkwasserverteilung nicht zwangsläufig zu einem hygienischen Problem führen müssen [Korth, 2010]. Für das Fallbeispiel bedeutete dies, dass bezüglich Aufenthaltszeiten eher ungünstige Verhältnisse vorliegen, welche ein vorhandenes Qualitätsproblem negativ beeinflussen können; die Ursache war damit aber noch nicht geklärt.

- Die Herkunft des Netzwassers in der obersten Druckzone ist aufgrund des vorhandenen Pumpregimes stark tageszeitabhängig. Währendem sich im betroffenen Netzbereich Nachts und am Vormittag grösstenteils „frischeres“ Wasser befindet, welches direkt von der unteren Druckzone hochgepumpt wurde, beziehen die Kunden im selben Gebiet mittags bis abends vor allem älteres Wasser, welches bereits einmal im Reservoir der obersten Druckzone war (siehe Abb. 4).

Mit diesen Erkenntnissen aus der hydraulischen Modellierung konnte die Variation in den Analyseresultaten erklärt werden. Proben, welche während oder kurz nach dem Pumpbetrieb genommen wurden, wiesen tiefe AMK-Konzentrationen deutlich unterhalb des Toleranzwertes auf. Wasserproben mit „älterem“ Trinkwasser, welches sich bereits einmal im Hochzonen-Reservoir befand, wiesen deutlich schlechtere Werte auf. Damit lag die Vermutung Nahe, dass die Verkeimungsquelle bei diesem obersten Reservoir zu suchen sei. In einem nächsten Schritt sollte dieser Verdacht überprüft werden.

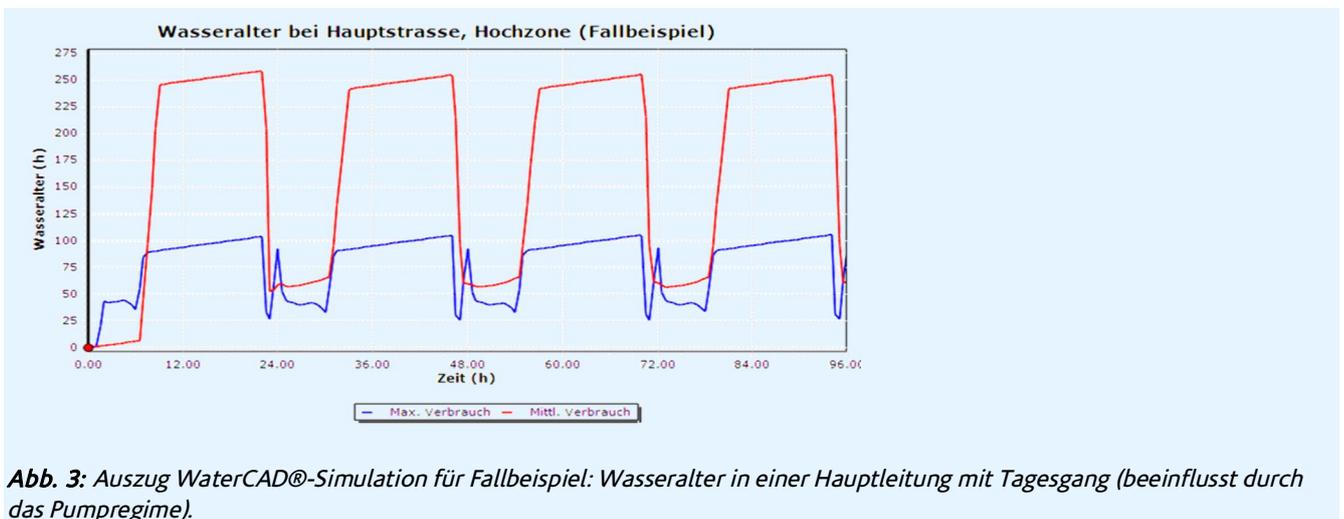


Abb. 3: Auszug WaterCAD®-Simulation für Fallbeispiel: Wasseralter in einer Hauptleitung mit Tagesgang (beeinflusst durch das Pumpregime).

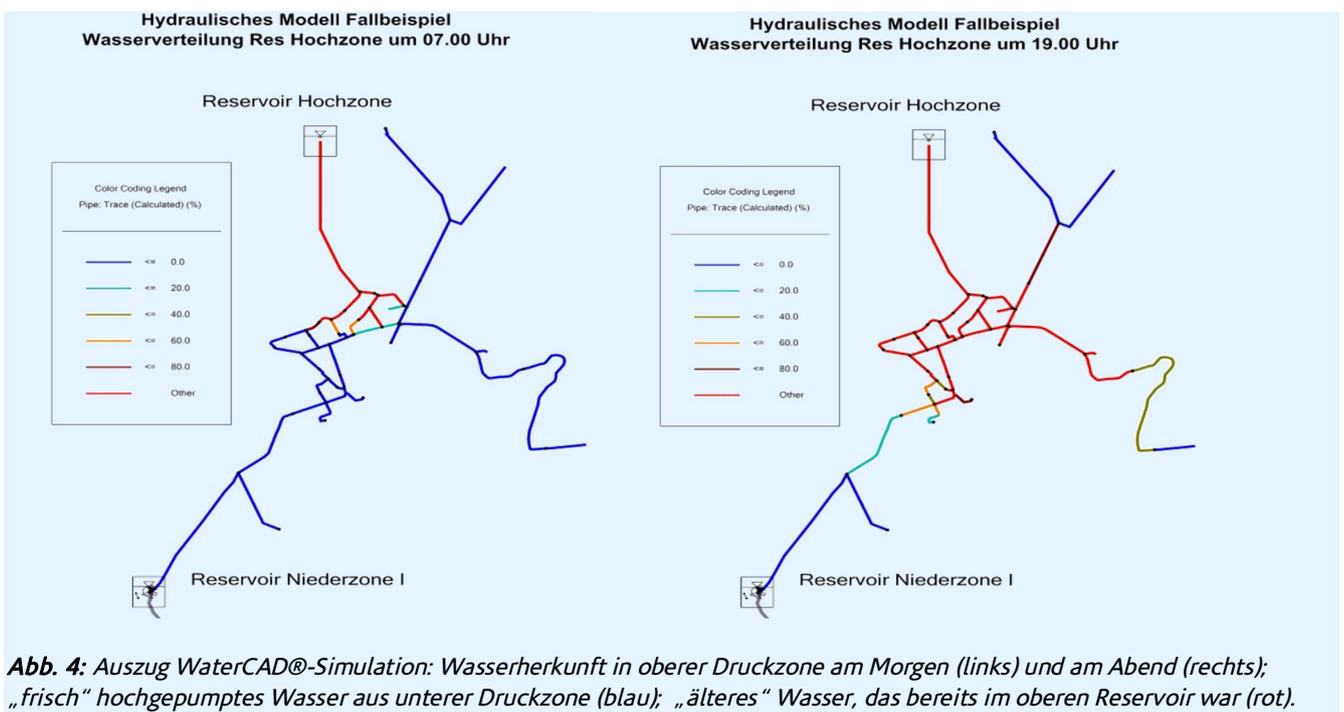


Abb. 4: Auszug WaterCAD®-Simulation: Wasserherkunft in oberer Druckzone am Morgen (links) und am Abend (rechts); „frisch“ hochgepumptes Wasser aus unterer Druckzone (blau); „älteres“ Wasser, das bereits im oberen Reservoir war (rot).

Verifizierung der Verkeimungsquelle

Bei der visuellen Begutachtung des alten Hochzonen-Reservoirs fiel vor allem der schlechte Zustand der Innenbeschichtung auf, was jedoch nicht in erster Linie mit hygienischen Problemen in Zusammenhang gebracht werden muss. Zumindest sind aber in Deutschland einige Verkeimungsfälle bei alten Trinkwasserspeichern mit zementgebundenen Innenbeschichtungen bekannt. Dazu gibt es Vermutungen, dass früher verwendete organische Zusatzmittel (z.B. Methylcellulose) in den Beschichtungen den Bakterien als Nährstoffe dienen könnten – dies wurde jedoch durch Forschungsarbeiten nicht bestätigt. Massgebender für allfällige hygienische Probleme scheinen nicht unbedingt die Inhaltsstoffe, sondern vielmehr der Zustand einer Innenbeschichtung zu sein. Denn eine vorbeschädigte Beschichtung kann den Mikroorganismen günstigere Lebensbedingungen bieten: Aufgelockertes und poröses Gefüge durch hydrolytische Korrosion (Fleckenbildung) ermöglicht die Anreicherung von Nährstoffen und ist zudem im pH-Wert abgesenkt [A. Gerdes et al., 2009]. Entsprechend sind möglichst dauerhafte Beschichtungen ohne Applikationsfehler (z.B. Mikrorisse) wünschenswert. Die Materialzusammensetzung der Innenbeschichtungen und insbesondere die Reduktion von biologisch abbaubaren organischen Verbindungen ist aber trotzdem eine wichtige Voraussetzung für die hygienische Speicherung von Trinkwasser. Nicht zuletzt deshalb unterliegen die heute verwendeten Produkte strengen Richtlinien hinsichtlich ihres Abgabeverhaltens von organischen Stoffen (DVGW Arbeitsblatt W 347) sowie deren Eignung in mikrobiologischer Hinsicht (DVGW W 270). Man kann davon ausgehen, dass die heute eingesetzten zertifizierten Produkte bei korrekter Applikation bezüglich der Trinkwasserhygiene unproblematisch sind.

Hingegen bestand beim Fallbeispiel aufgrund von Alter und Zustand der Verdacht, dass die beschädigte und unbekannte Innenbeschichtung als Ursache für die erhöhten Keimwerte in Frage kommt, eventuell auch durch Abgabe von biologisch verwertbaren organischen Substanzen. Man entschied sich, vorerst mit einer einfachen und schnellen Untersuchung des TOC-Gehaltes zu beurteilen, ob überhaupt ein solches Potential vorhanden ist. Der Wert von 0.36Gewichts-%-TOC in der Innenbeschichtung bestätigte zumindest, dass organische Bestandteile in der Beschichtung enthalten sind. Da für ein Biomassenwachstum aber nur jener Anteil an organischem Material entscheidend ist, der den Bakterien effektiv zur Verfügung steht und umgesetzt werden kann, konnten aus dieser Untersuchung alleine keine definitiven Schlüsse gezogen werden.

Basierend auf den bereits vorhandenen Erkenntnissen, weiteren AMK-Untersuchungen beim Reservoir (mit/ ohne Pumpbetrieb) und aufgrund des sichtbar schlechten Zustandes der Reservoirinnenbeschichtung (siehe Abb. 5) entschlossen sich die Beteiligten trotzdem, auf weitergehende Untersuchungen zu verzichten und stattdessen eine baldige Sanierung des Reservoirs anzustreben. Andere denkbare Verkeimungsquellen (siehe nachfolgende Auflistung) wurden eher ausgeschlossen.



Abb. 5: Fallbeispiel: Innenbeschichtung im Reservoir der oberen Druckzone.

Ergänzend soll an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass theoretisch ein direkter Nachweis der Biomassenproduktion oder Migration organischer Substanzen aus dem Wandmaterial natürlich wünschenswert gewesen wäre, um den Verdacht akkurat zu bestätigen. Allerdings sind solche Untersuchungen sehr aufwendig und wären aus praktischer Sicht im vorliegenden Fall auch nicht ganz einfach durchzuführen gewesen. Die entsprechenden Standard-Methoden gemäss DVGW-Arbeitsblättern und EN-Norm gehen zum Beispiel von definierten Prüfformen des Materials aus, im Fallbeispiel hätte aber nur abgekratztes Wandmaterial für Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellt werden können. Auch könnten weitergehende molekularbiologische Methoden zur Untersuchung der bakteriellen Population (z.B. Fluoreszenzmikroskopie) bei der Aufklärung der Kontamination hilfreich sind, diese Verfahren sind aber ebenfalls sehr aufwendig [A. Gerdes et al., 2009].

Mögliche Verkeimungsquellen im Trinkwassernetz (Auflistung nicht vollständig):

- **Rohwasserqualität:** Ein hoher Anteil an organischem Kohlenstoff im Grund- oder Quellwasser (z.B. durch Altlasten im Zuströmbereich oder ungenügende Schutzzone) kann den Bakterien als Nährstoff für entsprechendes Wachstum dienen. Wie im Fallbeispiel sind aus den chemischen Trinkwasseruntersuchungen häufig DOC-Analysen (gelöster organischer Kohlenstoff) vorhanden, welche als erstes Indiz herangezogen werden können. Allerdings müsste für eine bessere Aussage nur jener Anteil gemessen werden, welcher durch die Bakterien auch abgebaut werden kann – sogenannter assimilierbarer organischer Kohlenstoff (AOC). Im Weiteren bieten Ausnahmesituationen, wie z.B. ein Hochwasser, zusätzliches Gefahrenpotential für eine Verunreinigung des Grundwassers und daraus folgende hygienische Probleme im Trinkwassernetz.
- **Systemundichtheit:** Eintrag von Verunreinigungen oder (toten) Organismen von Aussen können eine Verkeimung auslösen, z.B. bei Leitungsecks, Be-/Entlüftungsventilen, undichten Rückflussverhinderern bei Hausanschlussleitungen oder nach unsauberen Bau-/Sanierungsarbeiten.
- **Systemwerkstoffe & Biofilm:** Nicht trinkwasserkonforme Materialien bei Leitungen und Installationen können Nährstoffe für Bakterienwachstum bieten (z.B. organische Bindemittel bei alten Reservoirbeschichtungen, ungeeignete Kunststoffdichtungen oder -schieberkeile bei Armaturen). Ebenfalls können bei bestimmten Betriebssituationen übermässig viele Bakterien aus dem vorhandenen Biofilm der Rohrwandung in den Wasserkörper abgegeben werden (z.B. bei der Mobilisierung von Sedimenten durch Spülung oder schwankenden Desinfektionsmittelrestkonz.) [Korth, 2010]. Dazu muss man wissen, dass sich der grösste Anteil an Bakterien nicht im Wasser, sondern auf dem Biofilm der Rohrwandung befindet. Wird nun das Bakterien-Gleichgewicht zwischen Wachstum im Biofilm, Abgabe ins Wasser und Anlagerung an der Rohrwand gestört, ist ein grosses Potential zur qualitativen Beeinträchtigung des Trinkwassers gegeben.
- **Hausinstallationen:** Aus Forschung und Praxis ist bekannt, dass insbesondere bei Hausanschlussleitungen sowie Hausinstallationen die Trinkwasserqualität beeinträchtigt werden kann. Ungünstige Bedingungen wie Stagnationen und damit einhergehende Temperaturerhöhungen können mikrobielles Wachstum fördern. Zudem beinhalten die kleinen Rohrdurchmesser durch ihr grösseres Oberflächen/Wasservolumen-Verhältnis ein erhöhtes Potential zur Migration von unerwünschten Nährstoffen zum Beispiel aus ungeeigneten Kunststoffleitungen [Egli, 2011].

Massnahmen zur Behebung der Verkeimungsproblematik

Ist eine erhöhte Menge an Mikroorganismen im Trinkwassernetz feststellbar, so wird - nebst der Information der betroffenen Kunden und allfälliger Anweisung zur Abkochung des Wassers - häufig auch eine Netzchlorung als Sofortmassnahme eingeleitet. Eine solche Massnahme ist jedoch nur dann auch langfristig sinnvoll, wenn keine nennenswerte Kontamination im Netz stattfindet, denn die erlaubten bzw. üblicherweise angewandten Chlor-Dosierungen sind wahrscheinlich zu gering, um das Problem eines vorhandenen Kontaminationsherdes nachhaltig zu lösen [M. Boller, 1996]. Eine Chlorung dient lediglich der Minimierung des mikrobiellen Wachstums an den Rohrwänden. Statt einer solchen Symptombekämpfung wurde auch im beschriebenen Fallbeispiel empfohlen, möglichst die Ursache zu beseitigen. Dazu wurden folgende Massnahmen vorgeschlagen, welche nun fortlaufend umgesetzt werden:

- Entfernung der Verkeimungsquelle: Aufgrund der vorgängig beschriebenen Ursachenforschung wird im Fallbeispiel als Hauptmassnahme die alte Innenbeschichtung im betroffenen Reservoir entfernt. Im Rahmen der Reservoirsanierung wird eine neue Innenauskleidung eingebracht.
- Schaffung ungünstiger Randbedingungen für mikrobiologisches Wachstum: Als weitere Massnahme wird das Verrohrungssystem im Reservoir leicht angepasst, um die Wasserzirkulation im Speicher zu verbessern. Zudem kann die überdimensionierte Brauchreserve durch steuertechnische Anpassungen um rund 30% vermindert werden. Beides verringert die Aufenthaltszeit bzw. das Wasseralter und verungünstigt damit die Randbedingungen für ein mikrobiologisches Wachstum.
- Qualitätssicherung und -kontrolle: Schlussendlich wird dem Wasserversorger empfohlen, stagnationskritische Leitungen häufiger zu spülen, um allfällige Ablagerungen gezielt zu entfernen. Weiterhin sollen regelmässige Analysen von Wasserproben der Qualitätsüberwachung dienen.

Fazit und Tipps

Eine der wichtigsten Aufgaben der Wasserversorger ist die Gewährleistung einer einwandfreien Trinkwasserqualität; deren Überwachung hat in der Schweiz gesetzlich verpflichtend im Rahmen der Selbstkontrolle zu erfolgen. Dazu dienen u.a. die periodischen Wasserprobenahmen, welche normalerweise durch die Kantonalen Laboratorien untersucht werden. Obwohl sich dieses System bewährt hat, darf nicht vergessen werden, dass es sich bei diesen „Stichproben“ um netzabschnitts-spezifische Momentaufnahmen handelt, und sich deren Qualitätsbeurteilung auf einen begrenzten Analyseumfang bezieht. Entsprechend ist bei der Interpretation sowohl von günstigen als auch ungünstigen Untersuchungsergebnissen Vorsicht geboten. Die wichtigsten Erfahrungen, welche in diesem Zusammenhang im beschriebenen Fallbeispiel gemacht wurden, sind nachfolgend als Tipps und Hinweise zusammengefasst:

Tipps bei der Interpretation von Wasserproben-Analysen:

- Hydraulisches Computermodell als Hilfsmittel: Die Systembetriebsweise sowie die vorherrschenden Betriebsbedingungen vor und zum Zeitpunkt der Probenahme sollten bekannt sein und verstanden werden. Ein hydraulisches Computermodell des Versorgungssystems ist dafür ein sinnvolles Hilfsmittel; es dient zum Beispiel zur Beantwortung der Frage, woher das Wasser zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort im Netz stammt.
- Problematik Desinfektion: Untersteht das Versorgungssystem kurz vor und während der Probenahme einer provisorischen oder ständigen Desinfektion (z.B. Chlorung), ist eine korrekte Interpretation der mikrobiologischen Analysen hinsichtlich einer möglichen Verkeimungsquelle kaum möglich. Sowie so sollte eine Netzdesinfektion überlegt eingesetzt werden, da sie das Bakterien-Gleichgewicht stören kann und als nachhaltige Massnahme gegen einen Kontaminationsherd nicht unbedingt geeignet ist.
- Probenahmen nur Stichproben: Wasserproben mit Analyseresultaten unterhalb der Grenzwerte bedeuten nicht unbedingt, dass kein qualitatives Problem vorhanden ist. Um diesem Umstand etwas entgegen zu wirken, sollten Proben auch dann genommen werden, wenn erfahrungsgemäss die Gefährdung am höchsten ist (z.B. nach Schneeschmelze, nach starken Niederschlägen, zum Zeitpunkt mit vorherrschend älterem Netzwasser).
- Weitergehende Analysen in Verdachtsfällen: Die mikrobiologische Standarduntersuchung ist zwar sinnvoll, erfasst aber nur einen geringen Teil vorhandener Keime/ Bakterien, insbesondere werden krankheits-erregende Mikroorganismen nicht bzw. nur durch Indikatorkeime erfasst. Neuere Messmethoden (z.B. Durchflusszytometrie) und weitergehende Analysen geben möglicherweise bessere Hinweise und können gerade bei ungünstigen Befunden zur Ursachenermittlung gerechtfertigt und angebracht sein.

Quellenverweis

- M. Boller (1996); *Verkeimung von Trinkwasserleitungen, Tagungsbroschüre „Fachtagung Wasser 96“.*
- T. Egli (2008); *Neue Methode zur Beurteilung der Trinkwasserhygiene, Eawag News 65 d, Sept. 2008.*
- T. Egli (2011); *Mikrobiologische Beurteilung von Kunststoffen in Kontakt mit Trinkwasser, Tagungsbroschüre „Wasser 2011“ 14. LIPPUNER-Seminar*
- A. Gerdes, P. Bischoff, M. Schwotzer, J. Heinrichs, I. Schäufele (2009); *Präventiver Oberflächenschutz von Trinkwasserbehältern: Chemische und mikrobiologische Bewertung von zementgebundenen Beschichtungen, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft*
- A. Korth (2010); *Neue Erkenntnisse zur Güteveränderung bei der Trinkwasserverteilung, Tagungsbroschüre „Wasser 2010“ 13. LIPPUNER-Seminar*
- SVGW W4 (2013); *Richtlinie für Wasserverteilung; Planung, Projektierung, Bau, Prüfung sowie Betrieb und Instandhaltung der Trinkwasserverteilung ausserhalb von Gebäuden.*