

Neues Multibarrieren-Konzept

Am Beispiel der Wasserversorgung Hergiswil

Un nouveau concept multi-barrières

A l'exemple du Service des Eaux d'Hergiswil

Malgré la proximité d'un lac à Hergiswil, on préfère boire l'eau des sources du Pilatus qui contribuent également à l'approvisionnement énergétique de la commune. La nouvelle station de traitement à Schöneegg comprend une ultrafiltration, une adsorption sur charbon actif granulé ainsi qu'une désinfection finale à l'UV. Depuis sa mise en service en novembre 2008, cette chaîne de traitement a pu faire ses preuves lors des fontes des neiges et des premiers orages estivaux. Celle-ci et d'autres chaînes de traitement comprenant une étape de filtration membranaire sont également développées pour la potabilisation des eaux de lac.

New Multibarrier Concept

At the Example of the Hergiswil Waterworks

Despite Hergiswil's proximity to the lake, the community's waterworks prefer the springs on the slopes of the Pilatus mountain. In November 2008, the new treatment plant comprising ultrafiltration, granulated activated carbon adsorption, UV disinfection, and a small hydropower generation was taken into operation. Neither the melting snow period in spring nor the first summer storms had any remarkable impact on produced water quality or operation of this plant. Thus, the new treatment concept has proven to be suited for Hergiswil. This and other multi-stage membrane-based systems are being developed for the treatment of surface water.

Joachim Klahre



Obwohl am See gelegen, trinkt man in Hergiswil lieber Quellwasser vom Pilatus, das ausserdem einen Beitrag zur Energieversorgung leistet. Im November 2008 konnte die neue Quellwasserversorgung Schöneegg mit Ultrafiltration, Adsorption an granulierter Aktivkohle und abschliessender UV-Entkeimung in Betrieb gehen. Mit der Schneeschmelze und den ersten Sommergewittern hat dieses für die Schweiz neue Konzept seine Bewährungsprobe bestanden. Damit ist die Versorgungssicherheit in qualitativer wie quantitativer Hinsicht für die Gemeinde Hergiswil langfristig sichergestellt. Weitere mehrstufige Verfahrensketten mit Membranen werden auch für die Aufbereitung von Seewässern erprobt.

1. Einleitung

Über die letzten zehn Jahre konnten sich Membranverfahren als Stand der Technik bei der Aufbereitung von Trinkwasser etablieren. Im Vordergrund steht dabei die *Ultrafiltration* (UF), mit der trübe und hygienisch bedenkliche Quell- und Oberflächenwässer in einem Schritt mechanisch geklärt und entkeimt werden können [1, 2]. Gewisse Quell- und Oberflächenwässer enthalten zudem *gelöste Stoffe*, die mit der UF allein nicht abgetrennt werden können. Bei den Quellwässern sind dies weniger die anthropogenen Verunreinigungen wie Pestizide als sogenannte NOM (*Natural Organic Matter*, natürliche organische Stoffe) und allenfalls einzelne geruchs- oder

geschmackswirksame Stoffe (G&G) aus der Landwirtschaft. Zur Frage, wie weitere Aufbereitungsstufen (Oxidation mit Ozon, Adsorption mit Aktivkohle) mit der Membranstufe am besten kombiniert werden können, wird weiter geforscht [3]. Für die Aufbereitung der Quellwässer in Hergiswil wurde aus verschiedenen Varianten ein Verfahren ausgewählt, das die strengen Qualitätsanforderungen der geltenden Gesetzgebung jederzeit erfüllt und einen einfachen, automatischen Betrieb erlaubt. Die Membranfiltration als rein physikalischer Aufbereitungsprozess bietet die geforderte langfristige Sicherheit, ist gegenüber konventionellen Verfahren überlegen und braucht ca. 40–50 % weniger Installationsplatz, was wiederum zu tieferen Investitionskosten führt. Aus *Abbildung 1* ist das Verfahrensschema der gebauten Aufbereitung ersichtlich.

Der Membranstufe nachgeschaltet wurden eine druckbetriebene, geschlossene *Adsorptionsstufe* mit granulierter Aktivkohle sowie eine abschliessende *UV-Entkeimung*. Die Filterkohle soll gelöste organische und geruchs- oder geschmackswirksame Stoffe, die durch den Membran-

ranfilter nicht zurückgehalten werden, adsorptiv binden. Nach der zu erwartenden Ausbildung einer biologisch aktiven Schicht auf der Aktivkohle ist auch ein biologischer Abbau zu erwarten. Die UV-Entkeimung dient dazu, die aus dem Aktivkohle-Filter allenfalls ausgetragenen Keime zu inaktivieren und bildet neben der Membran eine zusätzliche Barriere für Keime.

2. Wasserversorgung Hergiswil

Wie für andere Innerschweizer Wasserversorgungen am Alpennordhang sind auch für Hergiswil die im Bergsturzgebiet gelegenen Quellen wichtige Lieferanten eines mittelharten, chemisch meist einwandfreien, aber oft trüben Wassers. Der *Gehängeschutt* im Einzugsgebiet der Quellen «Renggeli», «Brunni», «Nestel», «Müsli» und «Rossmoos» fungiert als Hangwasserleiter, dessen Speisung durch die im Einzugsgebiet fallenden Niederschläge erfolgt. Ein gewisser Anteil des Hangwassers stammt aber auch aus Infiltrationen vom Mülibach. Die *Schwankungsziffer* der genannten Quellen erstaunt daher nicht (Mittel 2090 l/min; min. 800 l/min; max.



Abb. 2 Aussenansicht des neuen Reservoirs Schönegg.

5900 l/min). Wenn es stark regnet oder im Frühling der Schnee schmilzt, werden mit der auftretenden Trübung aus der dünnen Bodenschicht auch Keime ausgeschwemmt. Die bakteriologischen Befunde werden eindeutig auch durch die Landwirtschaft beeinflusst. Deshalb wurden alle Quellen bisher separat und automatisch bei einer Trübung über 0,7 TEF¹ in den Verwurf abgeleitet. Damit ging viel Quellwasser, das jetzt im neuen Reservoir ausserdem turbiniert wird, unnützlich verloren.

Damit diese Quellen auch in Zukunft das Rückgrat für die Wasserversorgung bilden können, wurden sie auf einen guten baulichen Zustand gebracht und deren Einzugsgebiete möglichst vor Verunreinigungen geschützt. Verschiedene Quellableitungen wiesen aber zu kleine Nennweiten auf und vermochten deshalb nicht alles zu nutzende Wasser abzuleiten. Im Rahmen der *Quellsanierungen* wurden sie ersetzt, richtig dimensioniert und ins Reservoir Schönegg (*Abb. 2*) abgeleitet.

Das *neue Reservoirbauwerk* erfüllt mehrere Aufgaben:

- Speicherung von Brauch- (700 m³) und Löschwasser (500 m³)
- Aufbereitung des Quellwassers aus «Rossmoos», «Müsli» und «Nestel»
- Stufenpumpwerk für die Wasserförderung in die Hochzone
- energetische Nutzung der Höhenunterschiede
- alleinige Versorgungsaufgabe der Mittelzone, da das sanierungsbedürftige, auf praktisch gleicher Höhe gelegene Reservoir rückgebaut wurde.

Die *Produktionskapazität* der Aufbereitung (UF) beträgt ca. 110 m³/h, aufgeteilt auf zwei

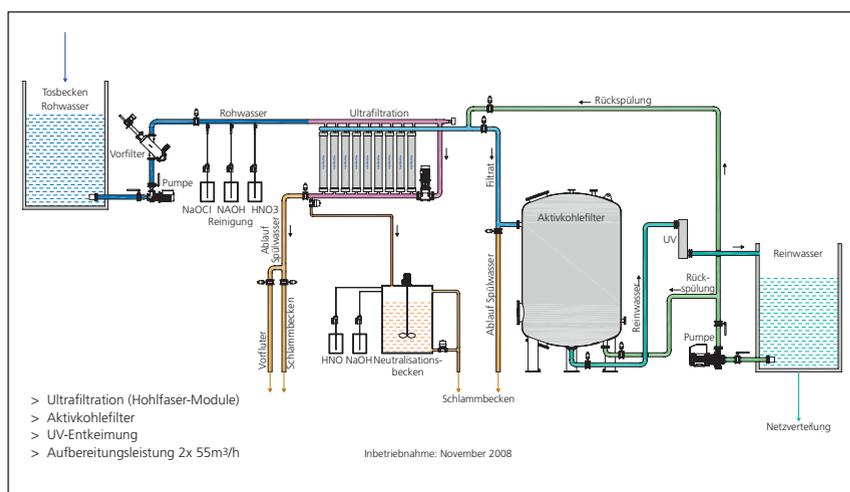


Abb. 1 Verfahrensschema der Aufbereitungsanlage Schönegg, Gemeinde Hergiswil.

¹ TEF = Trübungseinheiten Formazin

Strassen à 55 m³/h, d.h. bis 2200 m³/d im Normalbetrieb über 20 Stunden und 2640 m³/d bei Vollast während 24 Stunden. Die Anlage könnte in Zukunft ohne bauliche Anpassungen um eine Membranstrasse erweitert werden.

Die Versorgungssicherheit der ganzen Gemeinde Hergiswil ist damit in Kombination mit den Bezugsmöglichkeiten von Alpnach und Horw langfristig sichergestellt.

3. Aktivkohle im Aufbereitungsverfahren

Die Membranen sollen das Wasser in erster Linie klären und desinfizieren. Dass sie diese Aufgaben vollständig, dauerhaft und bei stabilem Betrieb erfüllen, ist mittlerweile bekannt. Insbesondere werden dabei auch die im Rohwasser enthaltenen Viren zurückgehalten. So haben die *California Department of Health Services* (CDHS) für die in der Schweiz gängigen UF-Membranen einen Rückhalt von Viren um 3,5 bis 4 logarithmische Einheiten identifiziert.

Auf der anderen Seite können UF-Membranen aufgrund der eingesetzten Porengrößen gelöste Stoffe wie Nitrat, Mikroverunreinigungen, Geruchs- und Geschmacksstoffe (G&G) nicht oder nur teilweise zurückhalten. Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC) kann mit der UF allein nur zu ca. 20 % zurückgehalten werden. Dies ist manchmal zu wenig, um ein biologisch stabiles Trinkwasser zu erreichen.

Daraus ergibt sich der Bedarf nach weiteren Aufbereitungsschritten, die gelöste Verunreinigungen eliminieren oder doch wenigstens bezüglich ihrer unerwünschten Eigenschaften (Geruch, Geschmack, Toxizität, hormonelle und antibiotische Wirkung) inaktivieren. In konventionellen Anlagen hat die Aktivkohle (meistens granuliert Aktivkohle GAK) die folgenden Aufgaben:

- Elimination von Geruch, Geschmack, Mikroverunreinigungen und Vorläufersubstanzen für Desinfektionsnebenprodukte
- Bindung von Restozon
- Verminderung von durch Mikroorganismen adsorbierbarem, organischem Kohlenstoff (AOC), Verbesserung der biologischen Stabilität

Dabei ist es für die Wirksamkeit und für das erreichte Aufbereitungsziel in dieser Kombination von Bedeutung, ob die Aktivkohle-Adsorption vor oder nach der UF erfolgt.

Vorgeschaltete Adsorptionsstufe

Hier wird die Aktivkohle-Filtration – meist in Kombination mit einer Ozonierung – einer

Ultrafiltration mit Membranen vorgeschaltet. Somit erfüllt die Aktivkohle-Filtration nicht nur die oben erwähnten Aufgaben, sondern dient überdies der Elimination von Partikeln. Ebenso muss mit der Oxidation eine erheblich grössere Menge an gelösten und partikelförmigen NOM transformiert werden, als dies bisher in herkömmlichen Anlagen mit vorgeschalteter Flockungs-Tiefenfiltration der Fall war. So ergeben sich die folgenden Vor- und Nachteile:

Vorteile

Kein Einsatz von chemischen Hilfsmitteln, die nicht vor Ort erzeugt werden können (ausser für Membran-Reinigung). Multibarrieren-System. Risiko für Membran-Fouling bei der UF wird durch die Vorbehandlung vermindert.

Nachteile

GAK muss häufiger und mit Luft rückgespült werden. Schlechtere Elimination von Spurenstoffen, weil die Poren der GAK durch NOM verstopft werden.

Zu den noch ungeklärten Fragen bei diesem Verfahren gehören jene nach der *Standzeit* der Aktivkohle, die in dieser Anordnung stärker beansprucht wird. Pilotversuche haben gezeigt, dass Mikroverunreinigungen wegen des ungünstigen Einflusses natürlicher organischer Stoffe (NOM) auf die Dauer nicht ausreichend adsorbiert werden [4]. Als mögliche Alternative für eine verbesserte Rückhaltung von Spurenstoffen gilt der Einsatz von *Pulver-Aktivkohle*. Biopolymere aus Oberflächenwässern, die für das Fouling der Membranen verantwortlich sind, werden im GAK-Filter nicht zurückgehalten [5, 6].

Das *Seewasserwerk Männedorf* wird seit 2005 nach diesem Aufbereitungsschema (Tab. 1) betrieben.

Eine weitere Seewasseraufbereitung mit 40000 m³/Tag ist beim *Service intercommunal de gestion* (SIGE) für die Gemeinden rund um Vevey am Genfersee im Bau.

Im Forschungsprojekt «WAVE 21» der Eawag wurde das System umfassend pilotiert [4].

	Ozon	GAK	UF
Partikel		+	+
Keime	+		+
DOC/AOC	+	+	
Spurenstoffe	+	(+)*	

Tab. 1 Aufbereitungsleistungen in der Kette Ozon – GAK – UF.

* Die Adsorptionsleistung der GAK für Spurenstoffe nimmt nach drei bis sechs Monaten stark ab.

Nachgeschaltete Adsorptionsstufe

In dieser Konfiguration kann eine Vorflockung, die nur bei Bedarf zugeschaltet wird, den Rückhalt von DOC an der Membran auf Werte von 50 bis 80 % [7, 8, 9] verbessern. Damit wird ebenfalls der Rückhalt von Biopolymeren, die Membranfouling verursachen, gegenüber einer vorgeschalteten Biofiltration mit granulierter Aktivkohle wesentlich verbessert [6]. Auf eine dem GAK vorgeschaltete Oxidation mit Ozon kann in vielen Fällen verzichtet werden, weil die Desinfektion und eine Elimination von 30 bis 50 % des DOC (eigene Daten) schon von der Membran bewerkstelligt werden. Sollte wegen G&G oder Spurenstoffen eine Oxidation dennoch erforderlich sein, kann sie im weitgehend partikelfreien Ultrafiltrat bei deutlich tieferen Einsatzkonzentrationen wirksam werden. Aus dem gleichen Grund wird der Betrieb der GAK in dieser Konfiguration einfacher, da die Wasserqualität nach der

	Flockung	UF	GAK	UV
Partikel		+	+	
Keime		+		+
DOC/AOC	+		+	
Spurenstoffe	(+)		(+)	(+)

Tab. 2 Aufbereitungsleistungen in der Kette Flockung – UF – GAK – UV.

Membran weniger grossen Schwankungen unterworfen ist. Wird kein Netzschutz betrieben, muss eine UV-Entkeimung vorgesehen werden, um das Ausschwemmen aktiver Keime aus der GAK ins Netz zu verhindern. Dieses Verfahren, das mit der Anlage in Hergiswil in der Schweiz erstmals grosstechnisch realisiert wurde, hat die folgenden Vor- und Nachteile:

Vorteile

Adsorptionswirkung der GAK bleibt länger erhalten. Oxidation für Desinfektion und DOC-Elimination nicht erforderlich. Multibarrieren-System.

Nachteile

Höhere Investitionskosten durch zusätzliche UV-Entkeimung (kann durch Wegfall von O₃ und Luftspülung für GAK aber kompensiert werden). Flockungsmitelesatz und Schlammentsorgung.

Die dauerhafte Elimination von Spurenstoffen kann vermutlich nicht ohne eine Oxidationsstufe oder den Einsatz von PAK anstelle der GAK erreicht werden. Das Verfahren (Tab. 2) dürfte vor allem für Aufbereitungen mit stark schwankender Rohwasserqualität (Karstquellen, Oberflächenwässer) geeignet sein.

4. Integration ins System

Zur Aufbereitungsanlage im Reservoir «Schönegg» wurden vom Sammelschacht «Rösselrüti» und vom Reservoir «Brunni» zwei neue

Druckleitungen gebaut. Anstelle von herkömmlichen Druckbrechern wurden zwei Pelton-Turbinen integriert. Sie werden voraussichtlich mehr als 146 000 kWh/a CO₂-freien Strom produzieren. Für das Trinkwasserkraftwerk mussten neben dem Turbinenraum keine speziellen Bauten erstellt werden. Beide Turbinensysteme (Tab. 3, Abb. 3) sind mit eigener Druckleitung, Turbine, Steuerung, Notstromversorgung und Bypass-System voneinander unabhängig. Eine Notstromversorgung und das Bypass-System garantieren für die Versorgungssicherheit beim Trinkwasser.

Zu komplexen und zuverlässig funktionierenden Prozessen gehört die entsprechende Prozessleittechnik. Die Bauherrschaft hat diesen Fall gut vorbereitet. Schon 2002 wurde das alte Kopfrechnersystem abgelöst und von einem modernen System mit dezentraler Intelligenz abgelöst. Die Kommunikation zu den Aussenwerken war dabei die Knacknuss. Die bis zu 50 Jahre alten Kupfer-Steuerkabel wurden mit G.SHDSL-Modems datentauglich gemacht. Dabei wurde eine Kommunikation aufgebaut, welche auf Basis TCP/IP die 19 speicherprogrammierbaren Steuerungen der Aussenbauwerke verbindet. Alle erdenklichen Prozessdaten (Zonenverbräuche, Niveaustände, Produktionsmengen, Quellschüttungen, Trübungen, Betriebsstunden, Volumenströme, Verbrauch und Produktion von Elektrizität, Klappenstellungen, Drücke etc.) können überwacht werden.

Im ganzen Projekt wurde auf die Datendurchgängigkeit geachtet. So gibt es keine sogenannten «Black Boxes», die in die Prozesssteuerung integriert wurden. Es entstand ein Prozessleitsystem mit grosser Transparenz, Verfügbarkeit, Betriebssicherheit und grossem Bedienkomfort bei niedrigen Wartungskosten.

5. Erste Betriebsergebnisse

Anlagenbetrieb

Seit der Inbetriebnahme konnte ein weitgehend stabiler Betrieb hinsichtlich der Membran-Permeabilität und der online gemessenen Qualitätsparameter erreicht werden (Tab. 4). Einzig die UV-Entkeimung musste zu Beginn einmal gereinigt werden, da sich auf dem Quarzglas der Hüllrohre feine Partikel aus



Abb. 3 Blick in den Turbinenraum.

Anlagentyp 1	Peltonturbine Rösselrüti-Schönegg Horizontal / 2-düsige / 1020 min ⁻¹
Installierte Leistung	16 kW
Fallhöhe brutto	58 Meter
Wassermenge	2200 Liter/Minute maximal
Anlagentyp 2	Peltonturbine Brunni-Schönegg Horizontal / 1-düsige / 1520 min ⁻¹
Installierte Leistung	11 kW
Fallhöhe brutto	206 Meter
Wassermenge	420 Liter/Minute maximal
Stromproduktion	146 000 kWh/a Entspricht dem Verbrauch von ca. 45 Haushaltungen
Inbetriebnahme	Dezember 2008

Tab. 3 Eckdaten der energetischen Nutzung.

Permeabilität [l/m ² hbar] (bei Fluxwerten von 26 bis 35 l/m ² h)	min.: 616; max.: 1313, Mittel: 988 (UF 1), 815 (UF 2)
Energieverbrauch	Im Mittel 0,24 kWh/m ³ (inkl. alle Verbraucher im Gebäude)
Chemikalienverbrauch	830 ml Javellewasser 7 % pro 1000 m ³ Trinkwasser
Trübung Reinwasser	immer < 0,03 NTU

Tab. 4 Übersicht Betriebsdaten.

den Kohlefiltern abgesetzt hatten und die Transmissionsleistung der Lampen dadurch unter den eingestellten Grenzwert abfiel.

Wasserqualität

Bei den bisher gemessenen Werten im Rohwasser kann ohne Flockung eine Verminderung um 24 bis 50 % der organischen Stoffe (TOC), 40 bis 60 % der UV-absorbierenden, höhermolekularen organischen Stoffe (SAK₂₅₄) und 70 bis 90 % der Farbe (SAK₄₃₆) über die gesamte Aufbereitung erreicht werden. Dabei wird die Farbe v.a. bei der Ultrafiltration, TOC und SAK v.a. in der Aktivkohle-Stufe zurückgehalten. Die mineralischen Eigenschaften des Rohwassers bleiben nach den verschiedenen Aufbereitungsstufen unverändert (Tab. 5).

6. Ausblick

Um entscheiden zu können, mit welchen Stufen eine Aufbereitungskette auf die Dauer ein bestimmtes Qualitätsziel erreichen kann, muss neben der aktuellen Rohwasserqualität bekannt sein, wie sich diese über die Lebensdauer des projektierten Wasserwerks allenfalls verändern könnte.

Es ist davon auszugehen, dass aus der herkömmlichen Aufbereitungskette vor allem die Oxidation mit Ozon wegfallen kann, da bereits mit der UF die Entkeimung und in der Kombination mit Aktivkohle und evtl. Flockung ebenfalls die Verminderung des DOC sichergestellt werden können. Die Problematik der unerwünschten Nebenprodukte aus der Ozonierung entfällt.

Wird die GAK der UF nachgeschaltet, kann die Einsatzkonzentration für Ozon sowie die Frequenz der Rückspülungen beim GAK vermindert werden. Auf eine Luftspülung der Filterkohle kann ganz verzichtet werden, wodurch die Einrichtung von voluminösen Gebläsen wegfallen kann.

Die Auswaschung von Keimen aus der GAK dürfte ebensowenig wie im klassischen Verfahren mit Sandfiltern ein Problem darstellen, da Partikel durch die UF rund zehnmals besser zurückgehalten werden als in der herkömmlichen Flockungsfiltration [10]. Ist nicht sowieso eine Netzschutz-Chlorung vorgesehen, kann als weitere Entkeimungs-Barriere eine UV-Bestrahlung vorgesehen werden, womit auch ohne Ozonierung die Forderung nach einem Multibarrieren-System erfüllt ist.

Datum	Einheit	Rohwasser	nach UF1	nach UF2	nach GAK1	nach GAK2	Elim. gesamt
14.1.09							
SAK 254	/m	1,232 (unfiltr.)	1,128 (-9%)	1,050 (-17%)	0,498 (-56%)	0,482 (-54%)	61%
SAK 436	/m	0,065 (unfiltr.)	0,026 (-60%)	0,026 (-60%)	0,018 (-31%)	0,018 (-31%)	72%
TOC	mgC/l	0,51	0,53 (+0,02%)	0,49 (-0,02%)	0,26 (-51%)	0,25 (-49%)	50%
Leitf.	µS/cm	348	348	348	349	348	-
Datum	Einheit	Rohwasser	nach UF1	nach UF2	nach GAK1	nach GAK2	Elim. gesamt
24.3.09							
SAK 254	/m	1,588 (unfiltr.)	1,379 (-13%)	1,373 (-13%)	0,967 (-30%)	0,902 (-34%)	41%
SAK 436	/m	0,149 (unfiltr.)	0,027 (-82%)	0,029 (-80%)	0,016 (-41%)	0,012 (-59%)	90%
TOC	mgC/l	0,63	0,58 (-8%)	0,59 (-6%)	0,49 (-15%)	0,46 (-22%)	24%
Leitf.	µS/cm	353	353	353	353	354	-

Tab. 5 Eliminationsleistungen in den verschiedenen Aufbereitungsstufen.

Literaturverzeichnis

- [1] Boller, M.; Pianta, R. (2000): Trinkwasser aus Karstquellen – ein Fall für die Membrantechnik, Eawag News 48: 29–31.
- [2] Klahre, J.; Robert, M. (2002): Ultrafiltration zur Gewinnung von Trinkwasser, gwa 82 (1): 61–68.
- [3] Pronk, W. (2008): Trinkwasseraufbereitung der Zukunft, Eawag News 65: 28–31.
- [4] von Gunten, U. et al. (2009): WAVE21, final report. Eawag.
- [5] Boller, M. et al. (2008): Trinkwasseraufbereitung mittels Aktivkohle. Neue Erkenntnisse, gwa 88 (1): 1–9.
- [6] Wricke, B. (2009): Ergebnisse des Betriebes einer kleintechnischen Versuchsanlage zur Aufbereitung eines Talsperrenwassers einer eutrophen Talsperre mit hohem TOC-Gehalt durch Ultrafiltration, TZW News 26: 2–3.
- [7] Xia, S. et al. (2007): Ultrafiltration of surface water with coagulation pretreatment by streaming current control, Desalination 204: 351–358.
- [8] Bouchard, C. et al. (2003): Etude du colmatage des membranes en ultrafiltration et en coagulation-ultrafiltration d'eau de surface, Journal of Environmental and Engineering Sciences 2: 139–148.
- [9] Choi, K.Y. et al. (2004): In-line coagulation with low-pressure membrane filtration, Water Research 38: 4271–4281.

[10] Kaegi, R. et al. (2008): Size, number, and chemical composition of nanosized particles in drinking water determined by analytical microscopy and LIBD, Water Research 42: 2778–2768.

Keywords

Ultrafiltration – Aktivkohle – Aufbereitung – Karstquellen

Adressen der Autoren

Joachim Klahre, Dr., Membratec AG
Technopôle 3, CH-3960 Sierre
Tel. +41 (0)27 456 86 30
joachim.klahre@membratec.ch

Uli Lippuner
ULI LIPPUNER aqualog AG
Ingenieure und Planer
Bergwerkstr. 57, CH-7320 Sargans
Tel. +41 (0)81 723 02 25
lip@uli-lippuner.ch

Hanspeter Bachmann
Reatech AG
Industriestr. 11, CH-6343 Rotkreuz
Tel. +41 (0)41 348 08 55
hb@reatech.ch

Dank

Die Autoren bedanken sich bei Prof. Dr. Markus Boller für die Anregungen und die kritische Durchsicht des Manuskripts.