

WASSERAUFBEREITUNG MIT INLINE-MIKROKOAGULATION IN LA SAGNE

Die Gemeinde La Sagne hatte in der Vergangenheit regelmässig mit Trübung, Keimen, Eisen und Mangan und schwankendem Gehalt an organischem Material im Rohwasser zu kämpfen. Diese Zeiten sind vorbei: Heute durchläuft das Wasser eine komplexe Aufbereitungskette, die unter anderem eine Inline-Mikrokoagulation zur Entfernung des organischen Materials enthält. Die Aufbereitungsanlage wurde 2015 von Membratec entwickelt und implementiert. Nun ist sie seit zwei Jahren erfolgreich in Betrieb.

Jean-Julien Dessimoz; Florence Bonvin; Vanessa Hugo, Membratec SA*

RÉSUMÉ

TRAITEMENT DE L'EAU PAR MICRO-COAGULATION À LA SAGNE

La Commune de La Sagne (env. 1000 habitants) dans le Jura neuchâtelois est alimentée en eau par une nappe superficielle qui se situe au milieu de la vallée, entourée de pâturages et de cultures agricoles. Cette situation génère une ressource en eau avec plusieurs problèmes de qualité, notamment des fortes concentrations de bactéries fécales, des pics de turbidité et de carbone organique dissous (COD) par temps de pluie, ainsi que la présence de fer dissous. Une filière de traitement multi-barrières qui répond aux différents problèmes de qualité a été mise en place en 2015. Elle comprend une aération, une préfiltration, une coagulation en ligne, une ultrafiltration (UF) membranaire, une filtration sur charbon actif en grains (CAG) et une désinfection finale par irradiation UV. L'étape initiale d'aération a pour but d'oxyder le fer dissous en particules d'oxyde et d'hydroxyde de fer. Ensuite, la membrane UF permet non seulement une clarification et une désinfection, mais également la rétention de particules d'oxydes et hydroxydes de fer. Le COD n'est que faiblement éliminé par l'UF, ainsi une faible dose de coagulant peut être injectée directement en amont de l'UF en fonction de la qualité de l'eau. Une telle coagulation en ligne, nommée micro-coagulation, engendre la formation de micro-flocs de coagulant et de matière organique, ce qui permet non seulement d'augmenter l'abattement du COD, mais aussi d'éviter le colmatage de la membrane lors de pics de turbidité et de COD. Le filtre CAG assure également une adsorption/dégradation biologique d'une fraction du COD présent dans l'eau et la désinfection finale par irradiation UV garantit une eau traitée exempte de germes.

La filière mise en œuvre offre un abattement élevé de la matière organique (jusqu'à 60%). La micro-coagulation-UF et la filtration sur CAG sont des étapes complémentaires, car la première abat les grandes molécules de matière organique et la seconde les plus petites (essentiellement le carbone organique assimilable), favorisant ainsi la production d'une eau biologiquement stable. Cette filière de traitement multi-barrières permet une production d'eau potable limpide, de très bonne qualité et la double étape de désinfection (abattement de bactéries: UF: > 6 logs; UV: > 4 logs) garantit une sécurité maximale en termes microbiologiques.

Die Gemeinde La Sagne befindet sich im gleichnamigen Tal im Neuenburger Jura. Die Gemeinde mit 950 Einwohnern bezieht ihr Wasser aus einem oberflächigen Aquifer, der sich in der Mitte des Tales befindet. Die Qualität des gepumpten Wassers unterscheidet sich deutlich von derjenigen des mittleren Kalkaquifers im Hochjura. Der Talgrund war früher von Mooren bedeckt, die im Verlaufe der Zeit zunehmend künstlich entwässert und zu landwirtschaftlichen Nutzflächen, Wiesen und Äckern umgewandelt wurden. Die Rohwasserqualität ist beeinträchtigt durch hohe Keimzahlen, die Präsenz von Eisen und Mangan, schwankenden Trübungswerten und hohen Konzentrationen an organischem Material sowie dessen hohe Oxidierbarkeit nach Regenereignissen.

Im Jahr 2014 wurde es nötig, die alte Wasseraufbereitungsanlage von 1968, die bereits eine komplexe Folge von verschiedenen Aufbereitungsprozessen (Ozonierung-Sandfilter-Ozonierung-Aktivkohlefilter-UV) enthielt, zu ersetzen. Es wurde eine innovative Aufbereitungskette gewählt, die ohne grössere Umbauten in das bestehende Gebäude eingebaut werden konnte (Fig. 1). Mit der neuen Multibarrieren-Aufbereitungskette werden seit Juni 2015 die verschiedenen Rohwasserqualitätsprobleme in La Sagne etappenweise behandelt.

ROHWASSERQUALITÄT

Das Wasser der Gemeinde La Sagne stammt aus den «Puits des Marais». Es ist durch verschiedene Wasserqualitätsprobleme beeinträchtigt (Fig. 2). Aufgrund der Beschaffenheit des Bodens, seiner Nutzung (37% Wald, 60% landwirtschaftliche Fläche, 3% Bauland) und einer raschen Infiltration der Niederschläge, schwankt die Qualität der Ressource stark. Das Wasser weist zudem eine hohe Härte von 34 °F auf.

Das Wasser enthält nur einen geringen Sauerstoffanteil (3 mg O₂/l), was auf die Redox-Bedingungen einwirkt, sodass eine hohe Konzentration an gelöstem Eisen (bis 0,2 mg Fe/l) entsteht und eine Überschreitung des empfohlenen Wertes von 0,05 mg/l verursacht. Das Wasser enthält auch Mangan in geringerem Umfang (0,015 mg/l). Die Konzentration liegt jedoch unter

* Kontakt: vanessa.hugo@membratec.ch



Fig. 1 Maxime Cassi, Brunnenmeister von La Sagne, vor der Multibarrierenaufbereitungskette.

Maxime Cassi, fontainier de La Sagne, devant la chaîne de traitement multibarrières.

dem Erfahrungswert des Schweizerischen Lebensmittelbuchs (SLMB) von 0,02 mg/l [1].

Durch die mehrheitlich landwirtschaftliche Nutzung des Wassereinzugsgebietes enthält die Wasserressource oft eine erhöhte Konzentration an Fäkalbakterien. Auch die erhöhte durchschnittliche Oxidierbarkeit des Wassers, die mit über 7 mg KMnO_4 /l ebenfalls über dem SLMB-Erfahrungswert von 3 KMnO_4 /l liegt [1], deutet auf eine starke Verschmutzung des Wassers mit organischem Material hin. Gerade bei Regen steigt

die Konzentration an organischem Material stark an. Die Trübung, die als Indikator der gelösten Stoffe und Mikroorganismen im Wasser dient und normalerweise unter 2 NTU (Nephelometrischer Trübungswert) liegt, kann bei starken Regenereignissen Werte bis zu 10 NTU erreichen. Doch auch ohne solche Regenereignisse liegt die Trübung gelegentlich über dem empfohlenen Toleranzwert von 1 NTU [2].

MULTIBARRIEREN-AUFBEREITUNGSKETTE

Die neue Aufbereitungskette löst etappenweise die Gesamtheit aller Qualitätsprobleme des Rohwassers. Die im Juni 2015 installierte und in Betrieb genommene Anlage hat eine Netto-Aufbereitungskapazität von 360 m³/Tag.

Die Aufbereitungskette (Fig. 2) enthält eine Belüftung, eine Vorfiltration, eine Inline-Mikrokoagulation, die aufgrund der Trübungs- oder SAK-Werte reguliert wird, eine Ultrafiltrationsstufe (UF), einen granulierten Aktivkohlefilter (GAK) und eine abschliessende UV-Entkeimung.

Das Wasser der «Puits du Marais» wird durch zwei alternierende Pumpen mit Frequenzumrichter gefördert. Das Halten eines tiefen Wasserniveaus in den Brunnen zur Regulation des Durchflusses optimiert den Ressourcenverbrauch, während das Volumen der Wasserförderung maximiert wird.

Belüftung

In der ersten Etappe wird das Wasser in Gegenströmung durch einen Feinblasendiffusor belüftet. Diese Belüftung garantiert die Erhöhung des gelösten Sauerstoffgehalts und dadurch die Oxidation des gelösten Eisens zu Eisenoxid- und Eisenhydroxidpartikeln, die anschliessend durch die UF-Membranen zurück-

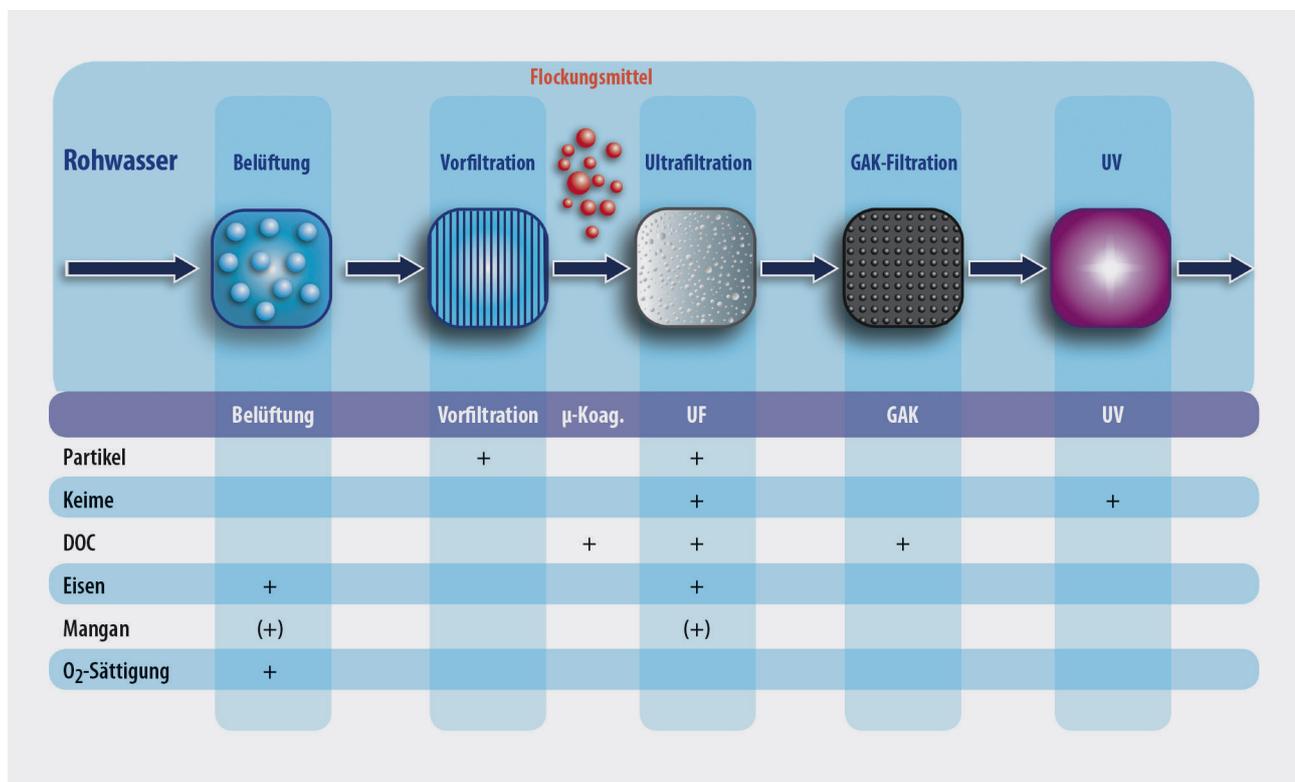


Fig. 2 Multibarrierenaufbereitungskette und Wirkung der einzelnen Prozesse auf die verschiedenen Wasserqualitätsprobleme des Rohwassers der «Puits du Marais».

Chaîne de traitement multibarrières et effet de chacune des étapes sur les différents problèmes de qualité de l'eau brute du « Puits du Marais ».

gehalten werden. In geringerem Masse wird hier auch ein Teil des gelösten Mangans oxidiert.

Vorfiltration

Eine Vorfiltration bei 200 µm hält grosse Partikel zurück und schützt die UF-Membranen.

Ultrafiltration

Die UF-Membranen, deren Poren bei 0,02 µm liegen, sind eine absolute Barriere für Keime bis zur Grösse von Viren (Bakterienrückhalt > 6 log) sowie für alle anderen Partikel. Die Ultrafiltration bewirkt somit eine Klärung und eine mechanische Desinfektion des Wassers in einem Schritt. In dieser Stufe werden auch die oxidierten Eisenoxid- und Eisenhydroxidpartikel im Wasser zurückgehalten. Gelöste, organische Stoffe, wie organisches Material, werden hingegen nur teilweise (ca. 10–20%) abgetrennt. Entsprechend der eher schwierigen Rohwasserqualität wurde die Oberfläche der Membran auf einen relativ tiefen Fluxwert von 66 l/hm² dimensioniert.

Inline-Mikrokoagulation

Bei erhöhten Konzentrationen von gelösten organischen Stoffen (DOC), die nicht nur die Qualität des Trinkwassers verringern, sondern auch die Durchlässigkeit der UF-Membranen beeinträchtigen, wird eine geringe Menge Flockungsmittel (in La Sagne: Polychlorsulfate Aluminium (PACS)) in Abhängigkeit der Rohwasserqualität direkt in den Rohwasserzulauf der UF-Anlage dosiert. Diese sogenannte «Inline-Mikrokoagulation» erzeugt Mikrofloccen bestehend aus Flockungsmittel und organischem Material. Dies bewirkt einen verbesserten Rückhalt

eines Teils des DOC mit der UF-Membran und schützt zudem die Membranen vor Membranfouling, sodass eine hohe Membrandurchlässigkeit selbst bei hohen DOC-Spitzen aufrechterhalten bleibt (Box) [3, 4].

Granulierte Aktivkohle (GAK)

Da die Inline-Mikrokoagulation vor der UF nur bei hohen DOC-Ereignissen eingeschaltet wird, wird das Wasser zusätzlich durch granulierte Aktivkohle (GAK) filtriert, um eine kontinuierliche DOC-Entfernung sicherzustellen. Vor allem kleine, durch Mikroorganismen

adsorbierbare organische Kohlenstoffe (AOC) werden durch Adsorption an das Aktivkohlegranulat (Kontaktzeit: 9 Minuten) entfernt. Die Adsorptionskapazität der GAK nimmt mit der Zeit progressiv ab, da die Aktivkohle durch adsorbiertes organisches Material gesättigt wird. Hingegen nimmt die biologische Aktivität der GAK zu, die einen biologischen Abbau des DOC garantiert.

UV-Entkeimung

Die abschliessende UV-Entkeimung verhindert das Ausschwemmen der Keime aus dem Aktivkohlefilter ins Netz. Die

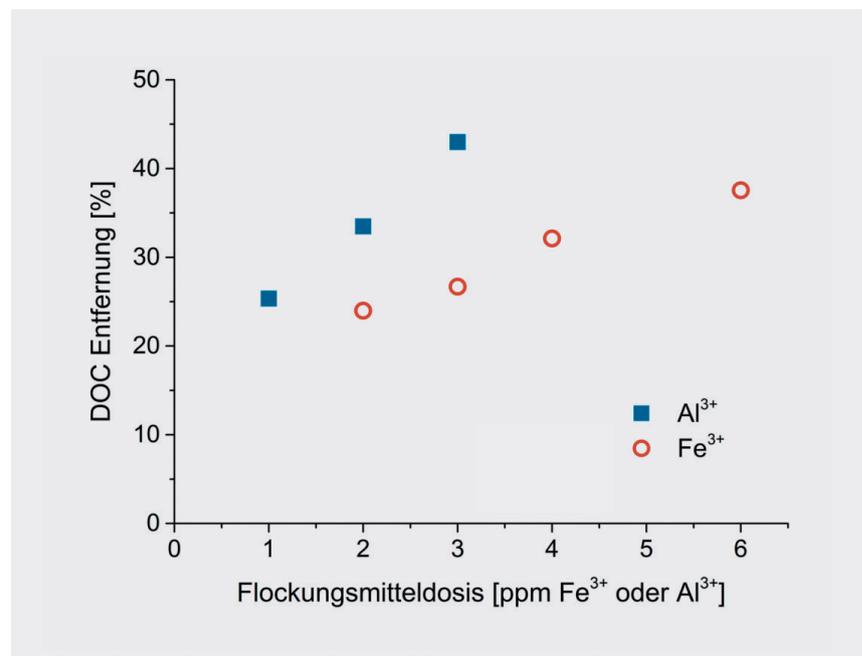


Fig. 3 DOC-Rückhalt im Wasser durch die Kombination von Mikrokoagulation-UF in Abhängigkeit vom Typ (FeCl₃ oder PACS) und der Dosis des Flockungsmittels während einer Regenperiode in La Sagne.

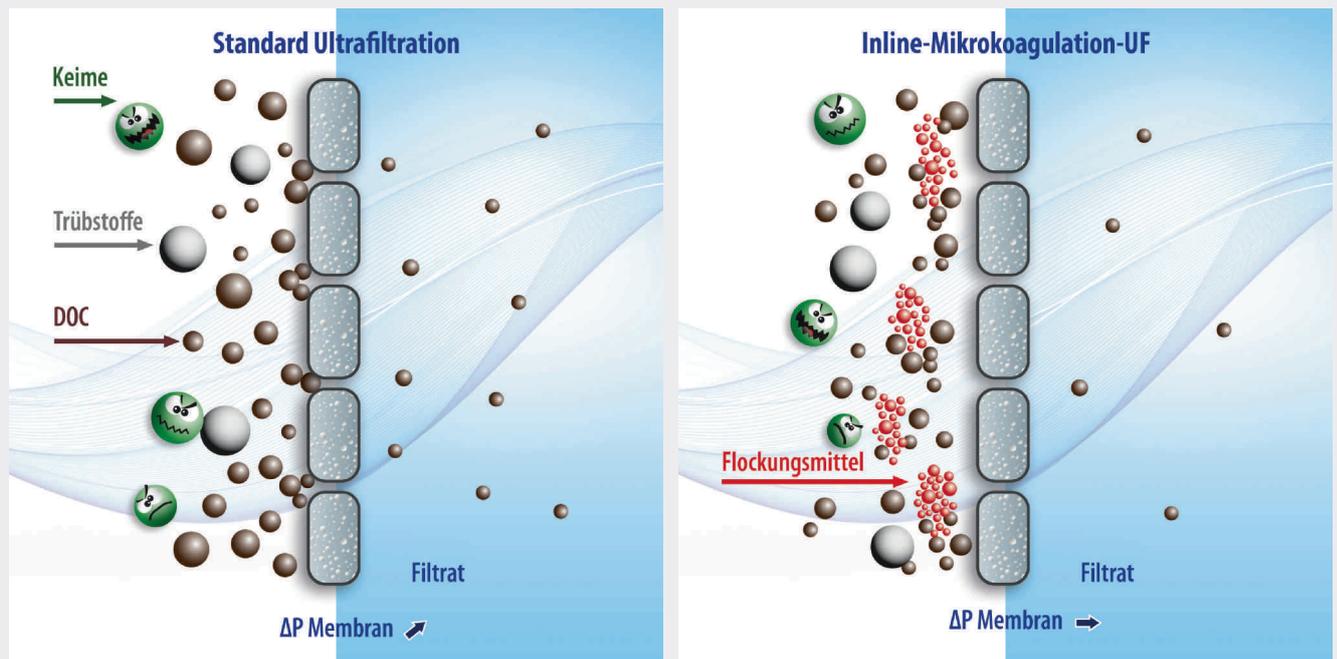
Abatement du COD dans l'eau brute par micro-coagulation-UF en fonction du type et de la dose de coagulant durant une période de pluie à la Sagne.

	Rohwasser	Reinwasser	Erfahrungswert	Toleranzwert	
Bakteriologische Werte					
AMK	10–800	<20	–	20	UFC/ml
<i>E. Coli</i>	0–4	0	–	0	UFC/100 ml
Enterokokken	0–11	0	–	0	UFC/100 ml
Chemische, physikalische Werte					
Trübung	0–10	<0,2	<0,2	1	NTU
DOC	1,0–2,7	<1	<1	–	mg/l
Oxidierbarkeit	2,4–7,5	<3	<3	–	mg KMnO ₄ /l
Eisen	10–450	<2	<50	300	µg/l
Mangan	0–20	<20	<20	50	µg/l
O ₂ -Sättigung	<50%	100%	30–100%	–	–

Tab. 1 Wasserqualität vor und nach der Multibarrieraufbereitungskette im Vergleich mit Erfahrungs- und Toleranzwerten [1].

Qualité de l'eau avant et après la chaîne de traitement multibarrières en comparaison avec les valeurs directrices et les valeurs de tolérance [1].

MIKROKOAGULATION



Inline-Mikrokoagulation besteht aus einer Dosierung geringer Mengen von Flockungsmitteln (z. B. Eisenchloride FeCl_3 , poly-Aluminiumchlorid PACl) direkt in den Rohwasser-Zulauf der Ultrafiltrationsanlage. Im Gegensatz zur traditionellen Koagulation wird kein separates Kontaktbecken eingesetzt, da weniger als eine Sekunde reicht, um Mikroflokkeln aus Flockungsmitteln und organischem Material zu bilden. Die erzeugten Mikroflokkeln werden von der UF-Membran (Porengröße ca. 20 nm) zurückgehalten und erreichen somit eine stark verbesserte Abtrennleistung von gelösten organischen Stoffen (DOC). Zusätzlich bilden die Mikroflokkeln eine poröse Schicht auf der Membran, welche das Membranfouling vermindert.

VORTEILE

- verbesserte DOC-Abtrennleistung
- Verminderung des Fouling-Potenzials
- kein Kontaktbecken nötig: wenig Platz und Einbau in bestehende Gebäude vereinfacht
- Regulierung in Abhängigkeit des Rohwassers (SAK-Wert): geeignet für Wasserressourcen mit stark schwankender Rohwasserqualität
- tiefere Verbrauchsmaterialienkosten (weniger Flockungsmittel benötigt als bei herkömmlicher Flockung)

NACHTEILE

- Abwasseranschluss nötig für Flockungsmittellentlassung
- Überdosierung kann zu Membranverstopfung führen

UV-Lampe garantiert eine minimale Dosis von 400J/m^2 und somit eine $>4\text{-log}$ -Entfernung von Bakterien.

Am Ende der Aufbereitung wird das Trinkwasser in zwei Reservoirs gesammelt. Diese dienen der Rückspülung der Ultrafiltrationsmembranen und als Puffertank für die Pumpung Richtung Gemeindereservoir. Zwei vertikale, mehrstufige alternierende Pumpen speisen das Gemeindereservoir.

VOLLSTÄNDIG AUTOMATISIERTER BETRIEB

Da die Wasserressourcen starken Qualitätsschwankungen unterworfen sind,

muss sich die Aufbereitungskette an die Betriebsparameter anpassen, um jederzeit eine einwandfreie Wasserqualität gewährleisten zu können und gleichzeitig die Betriebskosten zu vermindern.

Der Betrieb wurde in Abhängigkeit der Trübungs- oder UV-Absorptionswerte vollständig automatisiert. Die UV-Absorption bei 254 nm (Spektrale Absorptionskoeffizient (SAK)-Messung) wird oft als Indikator für die Menge organischen Materials im Wasser benutzt. Die Inline-Mikrokoagulation setzt nach 2m^{-1} mit einer Dosis ein, die parallel zum SAK-Wert ansteigt. Ausserdem werden auch UF-Betriebsparameter wie die Frequenz

und Dauer der UF-Rückspülung und der Membran-Desinfektion auf die Rohwasserqualität angepasst.

Diese Flexibilität im Betrieb erlaubt es, eine gute Wasserqualität des Reiwassers beim Ausgang der Anlage zu erreichen und dies unabhängig von der Rohwasserqualität am Eingang der Anlage. Weiter erlaubt es die automatische Steuerung der Parameter, den Abfall der Durchlässigkeit zu verringern und die Anzahl chemischer Reinigungen der Membranen niedrig zu halten. So wird längerfristig die Installation geschont und ihre Lebensdauer verlängert. Die gesamte Aufbereitung und das Steu-

ersystem benötigen ca. 0,17 kWh/m³ elektrische Energie, die Förderpumpe verbraucht 0,38 kWh/m³. Die globalen Betriebskosten der Anlage inklusive Förderpumpe belaufen sich auf 10 Rp. pro aufbereitetem Kubikmeter Trinkwasser.

AUFBEREITUNGSLEISTUNG

Die Aufbereitungskette zeigt gute Ergebnisse bei der Entfernung von Eisen, Trübung und organischem Material (Oxidierbarkeit und DOC) und garantiert eine maximale Sicherheit in Bezug auf die Mikrobiologie (Tab. 1).

Die dargestellte Multibarrieraufbereitungskette hält einen grossen Teil des organischen Materials zurück. Das Ausmass des DOC-Rückhalts hängt davon ab, ob die Mikrokoagulation an- oder abgeschaltet ist und wird ausserdem von der Dosis und dem Typ Flockungsmittel sowie dem Charakter des organischen Materials beeinflusst.

Um das optimale Flockungsmittel und dessen Dosis zu bestimmen, wurden Versuche vor Ort durchgeführt (Fig. 3). Diese Versuche zeigten, dass es schon mit geringen Flockungsmitteldosen (1 ppm Fe³⁺/Al³⁺) möglich ist, 20–25% des DOC in der Etappe Mikrokoagulation-UF zu entfernen. In La Sagne wurde das Flockungsmittel Polychlorsulfate

Aluminium für die Mikrokoagulation gewählt.

In dieser Kette wirken die Mikrokoagulation/UF und GAK-Filtration als ergänzende Prozesse, da jedes eine andere Fraktion des DOC zurückhält: Während die Mikrokoagulation/UF vor allem grosse Moleküle des DOC (Biopolymere und humische Substanzen) vom Wasser entfernt [3,4], wirkt die GAK-Filtration auf die kleinere, bioverfügbare Fraktion, was schlussendlich zu einem biologisch stabilen Wasser führt [5,6]. Gekoppelt an die GAK können bei einer Dosierung von ca. 3 ppm Al³⁺ bis zu 60% des organischen Materials zurückgehalten werden.

Solch technologischer Fortschritt erlaubt es heute, auch schwieriges Rohwasser mithilfe von Ultrafiltrationsmembranen aufzubereiten [3]. Gute Kenntnisse der Rohwasserqualität sind jedoch zwingend, um die bestmögliche Aufbereitungskette zu bestimmen. Auch bei hohen DOC-Spitzen hält die Mikrokoagulation die Membrandurchlässigkeit aufrecht und verbessert die Qualität des aufbereiteten Wassers. Die Wahl der geeigneten Aufbereitungskette, die Beherrschung des Prozesses sowie die Wahl der richtigen Zusammensetzung der Chemikalien für die chemische Reinigung der Membranen erlauben einen zuverlässigen Betrieb der Anlage auf lange Sicht.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bundesamt für Gesundheit (2001): Beurteilungsrichtlinien des Lebensmittelbuches für Trinkwasser, Schweizerisches Lebensmittelbuch
- [2] Eidgenössisches Departement des Innern (EDI) (1995): Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln, SR 817.021.23
- [3] Klahre, J. et al. (2010): Ultrafiltration von Karstquellen. Flockung erweitert den Einsatzbereich, *gwa* (1), 23–29
- [4] Huang, H. et al. (2009): Pretreatment for Low Pressure Membranes in Water Treatment: A Review. *Environmental Science & Technology* 43 (9): 3011–3019
- [5] Boller, M. et al. (2008): Trinkwasseraufbereitung mittels Aktivkohle. Neue Erkenntnisse, *gwa* 88 (1): 1–9
- [6] Prest, E. et al. (2016): Biological stability of drinking water: controlling factors, methods and challenges. *Frontiers in Microbiology* 7 (45)

> SUITE DU RÉSUMÉ

La micro-coagulation est un prétraitement UF particulièrement adapté pour les ressources en eau à qualité variable et à forte charge en COD.

Leistungsstarke Technologien für Mikroverunreinigungen & Schlammwasseraufbereitung

ZUVERLÄSSIGER PARTNER FÜR

BERATUNG / PLANUNG / AUSFÜHRUNG / OPTIMIERUNG / SERVICE / ANALYSEN IM LABOR FÜR FESTSTOFFE UND WASSER

BSH BSH UMWELTSERVICE AG

ALLMENDSTRASSE 6, CH- 6210 SURSEE, SCHWEIZ / +41 41 925 70 25 T / +41 41 925 70 26 F / www.bsh.ch / bsh@bsh.ch



**PAK-FILTRATION
BODENWASCHANLAGEN
BOHRSCHLÄMME
KANALREINIGUNG
SCHLAMMWASSERAUFBEREITUNG**