

Aufbereitung von Seewasser mit Membranfiltration

Welche weiteren Aufbereitungsstufen sind erforderlich?

Nachdem die Ultrafiltration mit Membranen bei der Aufbereitung von Quellwässern insbesondere aus Karstgebieten heute zum Stand der Technik geworden ist, wird sie jetzt auch in grossen Seewasserwerken eingesetzt. In den komplexen Aufbereitungsketten herkömmlicher Anlagen sind der Partikelabtrennung weitere Behandlungsstufen nachgeschaltet. Heute stellt sich die Frage, wie diese Behandlungsstufen am besten mit der Membrantechnik kombiniert werden.

Im Gegensatz zu Quellwässern enthalten Oberflächenwässer in den grossen Schweizer Seen nicht nur mineralische Partikel, Keime, Humin-

stoffe und weitere natürliche organische Stoffe (natural organic matter, NOM), sondern auch synthetische, organische Spurenstoffe und Algen. Die Spurenstoffe wie die natürlichen, algenbürtigen Stoffe können nicht nur eine biologische (toxische, hormonaktive oder andere) Wirkung entfalten, sondern auch Geruch und Geschmack des daraus erzeugten Trinkwassers beeinträchtigen. Deshalb wird in herkömmlichen Aufbereitungsanlagen die Raumfiltration mit einer Oxidation mit Ozon und einer Adsorption/Biofiltration mit Aktivkohle ergänzt.

Bei der Aufbereitung von Quellwässern wie auch sogar in einem grossen Seewasserwerk wurden mit der druckbetriebenen Ultrafiltration als einziger Aufbereitungsstufe gute Ergebnisse erzielt. Dennoch werden bei der Sanierung von grossen Wasserwerken besonders in der Aufbereitung von Oberflächenwässern weitere Aufbereitungsstufen in Zukunft ihren Platz haben, da gerade in Kombination mit den neuen Membranverfahren eine qualitative Verschlechterung der Trinkwasserqualität nicht in Kauf genommen werden darf. In umfangreichen Pilotversuchen wurde und wird noch untersucht, wie die Membrantechnik am besten

in eine komplexe Aufbereitungskette integriert wird und welche Aufgaben jede Stufe zu bewältigen hat¹.

Die Grenzen der Membranfiltration

Zur Zeit sind in der Schweiz sechs Seewasserwerke geplant oder bereits im Betrieb, die eine Filtrationsstufe mit Ultrafiltrations-Membranen beinhalten. Dabei sollen die Membranen 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 kleinste Partikel wie die im Rohwasser enthaltenen Viren zurückgehalten. So hat das 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. Dieser Rückhalt von sämtlichen Partikeln trägt schon wesentlich dazu bei, dass nach einer UF beim Netzschutz mit geringeren Konzentrationen gearbeitet werden kann, weil die Wiederverkeimung durch abgelagerte Partikel stark vermindert wird.

Auf der anderen Seite können UF-Membranen aufgrund der eingesetzten Porengrössen gelöste Stoffe wie Nitrat, Mikroverunreinigungen, Geruchs- und Geschmackstoffe nicht oder nur teilweise zurückhalten. Gelöster, organischer Kohlenstoff (DOC) kann mit der UF allein nur zu ca. 10 bis 20% zurückgehalten werden. Dies ist oft zu wenig um ein biologisch stabiles Trinkwasser (mit AOC < 40 µg/l nach Hammes²) 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, antibiotische Wirkung) inaktivieren.

In der Folge werden einige Aufbereitungsschritte, die eine Membranfiltration ergänzen können, unter den Aspekten von Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit qualitativ bewertet.



UF-Anlage mit vorge-schalteter GAC-Stufe.

Fällung/Flockung

Mit der Fällung/Flockung wird erreicht, dass Partikel und Kolloide, die sich aufgrund ihrer Ladung abstossen und so dispers im Rohwasser suspendiert sind, in Flocken binden lassen. Im herkömmlichen Raumfilter können diese Flocken in der Folge zurückgehalten werden. Ohne die Flockung würden Partikel inkl. Keime und organische Stoffe in vielen Fällen nur ungenügend zurückgehalten. Um die Wirkung der Flockung zu verbessern, kann eine Vor-Oxidation mit Ozon vorgeschaltet oder es können zusätzliche, organische Flockungshilfsmittel dosiert werden.

Sowohl aus eigenen Erfahrungen als auch aus der Literatur ist bekannt, dass sich die Flockung mit der Membranfiltration kombinieren lässt. Dabei sind in der Regel geringere Einsatzkonzentrationen und deutlich kürzere Kontaktzeiten erforderlich, um im Vergleich mit der klassischen Flockungsfiltration eine wirksame Verminderung des Gehalts an organischen Stoffen erreichen zu können. So kann mit einer Vorflockung, die nur bei Bedarf zugeschaltet wird, der Rückhalt von DOC an der Membran auf Werte von 50% verbessert werden³. Die organischen Biopolymere können damit in Mikrofloccen eingebunden werden und verursachen so weniger Fouling an der Membran.

Bewertung der Fällung/Flockung als Vorbehandlung zur Ultrafiltration

Vorteile: Sehr geringe Investitionskosten; gängige, leicht verfügbare und chemisch wenig aggressive Produkte.

Nachteile: Flockungsmittel müssen transportiert, gelagert und richtig dosiert werden und verlangen möglicherweise nach besonderen Massnahmen zur Behandlung der Rückspülwässer. Einfluss auf Lebensdauer der Membran?

Oxidation/Ozon

Bei der Erzeugung von Trinkwasser werden

UF-Anlage von eauservice Lausanne in Lutry.



mit der Oxidation mit Ozon die folgenden Aufbereitungsziele verfolgt:

- Desinfektion
- Fällung von gelösten Metallen (Fe, Mn ...)
Verbesserung der Flockung
- Transformation von DOC zu AOC
- Transformation von Desinfektionsnebenprodukten (DBP precursors)
- Transformation von synthetischen organischen Mikroverunreinigungen
- Transformation von natürlichen Algentoxinen
- Transformation von Geruchs- und Geschmacksstoffen (G&G)

Dabei kann die Ozonierung der eigentlichen Filtrationsstufe vor- oder nachgeschaltet sein. In herkömmlichen Aufbereitungsketten wird zuweilen in zwei Stufen vor und nach der Filtration oxidiert. In jedem Fall bedingt die Ozonierung eine nachfolgende Adsorptionsstufe mit Aktivkohle, damit überschüssiges Ozon vor der Abgabe des Trinkwassers ins Leitungsnetz gebunden wird. Es wird in der Regel granuliert Aktivkohle (GAC) verwendet, wobei pulverförmige Aktivkohle (PAC) diese Aufgabe auch übernehmen könnte.

Bewertung der Oxidation mit Ozon

Vorteile: Ozon kann vor Ort erzeugt werden, reagiert mit den meisten problematischen Spuren-, Geruchs- und Geschmacksstoffen und verursacht keine Abwasserbelastung (Rückspülwässer)

Nachteile: Aggressives Gas (Sicherheitsmassnahmen), bedeutende Investitions- und Betriebskosten, Reaktions-Nebenprodukte v.a. wenn erster Aufbereitungsschritt

Im Gegensatz zu herkömmlichen Aufbe-

reitungsanlagen tritt in der Kombination mit einer Membranstufe (Ultrafiltration) die Transformation von gelösten Stoffen als Hauptaufgabe der Oxidation in den Vordergrund. Sie kann in der Regel mit einer geringeren Einsatzkonzentration betrieben werden, wenn sie der Membranfiltration/Filtrationsstufe nachgeschaltet ist, da die Zehrung durch die im Rohwasser enthaltenen Mikro- und Nanopartikel dann entfällt. Andererseits können im Rohwasser enthaltene, natürliche Biopolymere durch die Oxidation ebenfalls transformiert werden, wenn zuerst oxidiert wird. Damit wird das Fouling-Potenzial des Rohwassers für die Membran vermindert und die Ultrafiltration kann knapper dimensioniert werden. Entscheidend ist in dieser Konfiguration, dass insbesondere UF-Membranen aus organischen Polymer-Werkstoffen durch die Bindung des Restozons in der zwischengeschalteten AK-Stufe dauerhaft geschützt werden, da diese Werkstoffe grundsätzlich durch starke Oxidationsmittel angegriffen werden können.

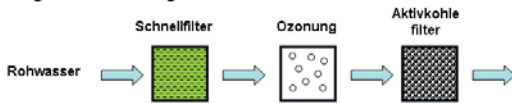
Aktivkohle

In einer Adsorptionsstufe hat die Aktivkohle die folgenden Aufgaben:

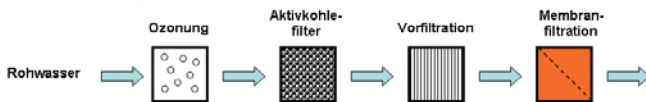
- Verminderung von AOC, Verbesserung der biologischen Stabilität
- Elimination von Desinfektionsnebenprodukten (DBP precursors)
- Elimination von Mikroverunreinigungen
- Elimination von Geruchs- und Geschmacksstoffen
- Bindung von Restozon

In der Kombination mit einer Membranfiltration kann die Aktivkohle grundsätzlich in beiden Anwendungsformen als Granulat (GAC) oder in Pulverform (PAC) eingesetzt werden, wo-

Bisherige Aufbereitung



Neue Aufbereitung



bei von Pilotversuchen, abgesehen mit PAC, in der Schweiz bisher kaum Betriebserfahrungen bestehen. Pulverkohle muss grundsätzlich vor der UF-Membran dosiert werden, wird somit der gesamten Fracht an organischen Stoffen im Rohwasser ausgesetzt und kann natürliche organische Stoffe nur adsorptiv und nicht durch biologischen Abbau eliminieren.

Bewertung der Aktivkohle

Granulat (GAC)

Vorteile: einfacher Betrieb, biologische Aktivität (im Sommer)

Nachteile: hoher Raumbedarf, hohe Investitionskosten, rasch abnehmende Wirksamkeit

Pulver (PAC)

Vorteile: kann bedarfsabhängig dosiert werden, geringer Raumbedarf, gleichbleibend hohe Adsorptionsleistung

Nachteile: Handling technisch anspruchsvoll, Entsorgung von Rückspülwasser, Betriebskosten

Verschiedene Pilotversuche haben jedoch gezeigt, dass bezüglich der Abtrennung sowohl von natürlichen organischen Stoffen als auch von Mikroverunreinigungen mit der Pulverkohle Ergebnisse wie in einer Kette mit Oxidation erzielt werden können. In beiden Fällen werden einzelne Stoffgruppen weniger gut zurückgehalten, die Eliminationsleistung ist in der Kombination mit PAC jedoch gleichbleibend hoch, während sie im GAC-Filter abhängig vom filtrierten Volumen nach drei bis vier Monaten stark zurückgeht⁴. Der biologische Abbau im GAC-Filter ist stark temperaturabhängig und dürfte bei Wassertemperaturen von 6 bis 8 °C keinen nennenswerten Effekt haben.

Somit kann eine Kombination der Ultrafiltration mit einer Adsorption an pulverförmiger Aktivkohle (PAC-UF) die Oxidation mit Ozon weitgehend ersetzen.

Die komplexe Aufbereitung von Seewasser mit Membranfiltration

Lutry

Im Seewasserwerk Lutry (2880 m³/h) von eauservice Lausanne wird seit dem Jahr 2000 in einer einstufigen Aufbereitung mit Ultrafiltration Trinkwasser aus dem Genfersee gewonnen. Das Rohwasser hat eine Temperatur von 6 bis 8 °C und enthält im Mittel 0,8 mg TOC/L bei einem SAK₂₅₄ von 1,7 m⁻¹. Für den Bedarfsfall wurde eine Dosierung von Pulverkohle eingerichtet. Die Dosierung von Pulverkohle war bisher nicht erforderlich. Ebenso wenig sind bisher Probleme mit Geruch und Geschmack des Trinkwassers bekannt geworden⁵.

Männedorf, Vevey

Die Gemeinden Männedorf, Stäfa und Oetwil haben im November 2005 ein neues Seewasserwerk (800 m³/h) in Betrieb genommen. Hier wurden Ozonierung und Aktivkohle-Filtration 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 nach der bisherigen Flockung-Tiefenfiltration der Fall war. Nach anfänglichen Problemen anlässlich der periodisch auftretenden Algenblüten sind die Betriebsergebnisse durchwegs positiv und es kann sogar seit Sommer 2007 auf die Netzschutz-Chlorung verzichtet werden⁶.

Service intercommunal de gestion (SIGE)

Ein weiteres Seewasserwerk mit diesem Aufbereitungsschema (1800 m³/h) ist zur Zeit beim Service intercommunal de gestion (SIGE)

für die Gemeinden rund um Vevey am Genfersee im Bau. Das Rohwasser ist in seiner Zusammensetzung demjenigen von Lutry sehr ähnlich, es wurden allerdings höhere Trübungswerte bis 6 NTU beobachtet. In einer ersten Umbau-Etappe wird zur Zeit mit der UF allein Trinkwasser produziert, in der zweiten Etappe wird die Vorbehandlung mit Ozonierung und Adsorption an Aktivkohle in Betrieb gehen.

Weitere Seewasserwerke sind zur Zeit in Horgen (UF-O₃ - GAC, 1100 m³/h) und in Küssnacht am Rigi (Flockung-UF, 210 m³/h) im Bau und werden die bestehenden Betriebserfahrungen ergänzen.

Fazit

Um entscheiden zu können, welche Stufen die Aufbereitungskette enthalten muss, damit ein bestimmtes Qualitätsziel erreicht wird, muss neben der analytischen Erfassung der Rohwasserqualität eine Risikoabschätzung für die Lebensdauer des projektierten Wasserwerks vorgenommen werden. 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 einer Flockung und/oder PAC-Dosierung ebenfalls die Verminderung des DOC/AOC sichergestellt werden können. Die Problematik der unerwünschten Nebenprodukte aus der Ozonierung entfällt.

www.membratec.com

Anmerkungen/Literatur

- 1 von Gunten, U. et al. (2009): Wave21 final report, Eawag Schriftenreihe Nr. 20
- 2 Hammes, F. (2006): Assimilierbarer organischer Kohlenstoff (AOC), Messung und Interpretation. Eawag Statusseminar 2006
- 3 Choi, K.Y. et al. (2004): In-line coagulation with low-pressure membrane filtration, Water Research 38: 4271-4281
- 4 Boller, M. et al. (2008): Trinkwasseraufbereitung mittels Aktivkohle. Neue Erkenntnisse, gwa 88 (1): 1-9
- 5 Schmidt, B. (2010): Ultrafiltration à l'exemple de Lutry après neuf années d'expérience, gwa 90 (1): 31-40
- 6 Hartmann, P. (2010): Membrantechnologie, Erfahrungen schweiz- und weltweit, gwa 90 (1): 11-17