

Ultrafiltration zur Partikelentfernung aus angereichertem Grundwasser

Erfahrungen aus der Inbetriebnahme einer Ultrafiltrationsanlage zur weiter gehenden Behandlung eines angereicherten Grundwassers belegen, dass auch leicht calcitabscheidende Wässer mit dieser Technologie wirtschaftlich und sicher beherrschbar sind.

Der Zweckverband Filderwasserversorgung (Sitz: Filderstadt) bezieht ein Drittel seiner Wasserressourcen über das Wasserwerk Neckartailfingen aus dem Neckar und dem umliegenden Uferfiltrat. Die technische Betriebsführung erfolgt aus langer Tradition in Zusammenarbeit mit der EnBW Regional AG in Stuttgart.

Die Aufbereitungsanlage mit einer jährlichen Abgabemenge an Trinkwasser von ca. 2,5 Mio. m³ wurde im Jahr 1906 in Betrieb genommen [1]. Als Rohwasser wird das anstehende Grundwasser genutzt. Zusätzlich wird Wasser aus dem Neckar nach einer mehrstufigen Aufbereitung mittels Filtration, Verdüsung, Infiltration über Versickerungsbecken und Bodenpassage genutzt. Das resultierende Mischwasser wurde einem Sammelbrunnen zugeführt und nach Desinfektion mit Chlor als Trinkwasser abgegeben. **Abbildung 1** zeigt eine Luftaufnahme der Gewinnungs- und Aufbereitungsanlage.

Das im Sammelbrunnen anstehende Mischwasser weist einen TOC-Gehalt von ca. 1,5 bis 2 mg/l auf und fällt mit ca. 3,8 mmol/l Härte in den Härtebereich hart. Eine Übersättigung mit ca. 20 mg/l CaCO₃ führt zu einer leicht calcitabscheidenden Tendenz. Insbesondere Starkniederschläge und daraus resultierende erhöhte Wasserführungen im Vorfluter bedingen einen Trübungsanstieg im Bodenfiltrat. Damit verbunden ist eine Zunahme der mikrobiologischen Belastung, sodass in diesen Zeiträumen das Wasserwerk vorsorglich außer Betrieb genommen wurde.

Um solche Stillstandsphasen zu vermeiden, wurde eine Ultrafiltrationsstufe nachgerüstet. Diese wird mit dem Mischwasser aus dem Sammelbrunnen direkt beaufschlagt. Abschließend erfolgt eine Desinfektion mit Chlor. Mit einer Nennleistung von 7.500 m³/d zählt diese Anlage derzeit zu den größten Ultrafiltrationsanlagen der kommunalen Trinkwassergewinnung in Deutschland.

Verfahrenstechnik

Auf Grundlage des vom DVGW Technologiezentrum Wasser (TZW) erstellten Verfahrenskonzeptes wurde das Projekt in verschiedenen Phasen realisiert. Zunächst wurden aus mehreren Anbietern vier Anlagenbauer mit jeweils verschiedenen Ultrafiltrationsmembrantypen ausgewählt. Auf Basis einer wissenschaftlich-technischen Bewertung der Ausschreibungsunterlagen, verbunden mit einer Life-Cycle-Kostenbetrachtung wurde ein Anlagenbauer ausgewählt. In einer weiteren Phase wurde eine Pilotierung durchgeführt. Deren

Zielstellung bestand darin, abhängig von der Rohwassermatrix die Auslegungsparameter zu verifizieren. U. a. betraf dies die Auswahl geeigneter Spülchemikalien, die Festlegung der Spülintervalle und die Ermittlung der Spülwasserzusammensetzung als Voraussetzung für die Erteilung einer Einleitgenehmigung in den Vorfluter.

Zur Pilotierung wurde ein Membranmodul mit einer Membranfläche von 45 m² eingesetzt. Hierbei zeigte sich, dass eine alleinige chemikalienunterstützte Spülung mit Natronlauge und Schwefelsäure nicht ausreichend

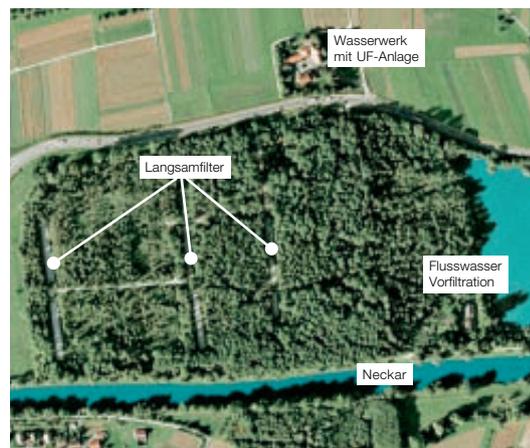


Abb. 1: Ansicht des Geländes des Wasserwerks Neckartailfingen

Quelle: Google Earth, 2008

Tabelle 1: Kenndaten der Ultrafiltrationsanlage

Nennleistung	m ³ /d	7.500
Anzahl Straßen		4
Membranhersteller		Inge AG
Membrantyp		dizzer 5000
Membranfläche/Modul	m ²	45
Gesamtanzahl der Module		88
Gesamtmembranfläche	m ²	3.960
Anlagenverfügbarkeit im Mittel	h/d	22
Flux bei Nennleistung	l/m ² /h	86
Filtrationsintervall	min	50-70*
chemikalienunterstützte Spülung (CEB)	n/d	2-4*
Spülwasserbedarf bezogen auf Filtrat	%	2,5-3,5*

* Erprobung unterschiedlicher Filtrationsintervalle während des Einfahrbetriebes der Großanlage

Quelle: EnBW/TZW

war, um die gewünschte Permeabilität aufrechtzuerhalten. Eine höhere Permeabilität resultierte bei Einsatz von Natriumhypochlorit als Spülchemikalie. Dementsprechend wurde bei der Großanlage lediglich eine chemikalienunterstützte Spülung mit elektrolytisch erzeugter Chlorlösung realisiert.

Die Ultrafiltrationsanlage besteht aus vier Straßen, wobei jeweils zwei Straßen über eine Pumpe mit Rohwasser versorgt werden. Den Membranmodulen sind spülbare Vorfilter mit einer Trenngrenze von 100 µm vorgeschaltet. Jede Straße verfügt über 22 Membranmodule des Typs dizzer 5000 der Firma Inge AG zuzüglich eines Leerfeldes, das gegebenenfalls mit einem zusätzlichen Modul nachgerüstet werden kann (Abb. 2). Entsprechend der bei diesem Membrantyp angewandten Betriebsweise wird das Modul feedseitig, d. h. rohwasserseitig, abwechselnd von oben bzw. von unten angeströmt. Daher sind die Module an zwei Feedleitungen und an eine Filtratleitung angeschlossen. Die Gesamtmembranfläche der Anlage beträgt 3.960 m². Bei einer Nennleistung von 7.500 m³/d und einer Anlagenverfügbarkeit von 22 h/d ergibt sich ein Flux von 86 l/m²/h (Tab. 1).

Das Filtrat der Ultrafiltrationsanlage wird für den Transport im Verteilungssystem mit ca. 0,2 mg/l Chlor versetzt und in zwei Edelstahlreinwassertanks mit jeweils 75 m³ Inhalt geführt. Von dort aus wird das Trinkwasser in das Transport- und Speichersystem eingespeist.

Die Spülung der Membranen erfolgt mit desinfiziertem Reinwasser, das den Reinwassertanks entnommen wird. Die Auswirkungen unterschiedlicher Filtrationsintervalle im Bereich zwischen 50 und 70 Minuten auf den Anlagenbetrieb wurden untersucht. Innerhalb des vorgenannten Intervalls waren keine wesentlichen Unterschiede im Betriebsverhalten zu erkennen. Als chemikalienunterstützte Spülung wird dem Spülwasser zweimal täglich Chlor in einer Konzentration von 30 bis 50 mg/l zugesetzt. Das Schlammwasser wird in einen Pufferbehälter mit 10 m³ Nutzvolumen eingeleitet und mit Natriumsulfid versetzt, um überschüssiges Chlor abzubinden. Der Pufferbehälter verfügt über eine Umwälzpumpe zur kontinuierlichen Durchmischung. Das behandelte Schlammwasser wird in den Vorfluter abgeführt.

Die Ultrafiltrationsanlage wurde in einem neu errichteten Gebäude untergebracht (Abb. 3). In Abbildung 4 sind neben den Membranmodulen die Schaltschränke so-



Abb. 2: Ansicht der Ultrafiltrationsmembranmodule

Quelle: EnBW



Abb. 3: Außenansicht des Wasserwerks, rechts das Gebäude für die Ultrafiltrationsanlage und die Reinwasserbehälter

Quelle: EnBW

wie in der Mitte der Schlammwasserpufferbehälter zu erkennen. Abbildung 5 zeigt die beiden in demselben Gebäude befindlichen geschlossenen Reinwasserbehälter in Edelstahlausführung.

Betriebserfahrungen

Angepasst an den Wasserbedarf im Versorgungsgebiet wird die Anlage mit unterschiedlichen Durchsatzleistungen betrieben. Dies führt zu einem Schwankungsbereich im Flux. Die seit Inbetriebnahme eingestellten Fluxwerte sind in Abbildung 6 als Summenkurve dargestellt. Dabei wurde zwischen drei Zeiträumen unterschieden. Als Einfahrphase wurde der Zeitraum bis zum Erreichen eines spezifischen Durchsatzes von 100 m³ produziertes Filtrat pro m² Membranfläche bezeichnet. Dies entspricht im vorliegenden Fall einem Zeitraum von ca. zwei Monaten, in dem das Filtrationsintervall 60 Minuten betrug und zwei chemikalienunterstützte Spülungen pro Tag durchgeführt wurden. Die Betriebsphase zwischen 100 und 205 m³/m² erfolgte unter den gleichen Bedingungen. Nach einem spezifischen Durchsatz von 205 m³/m² wurde versuchsweise das Filtrationsintervall auf 50 Minuten verkürzt und die chemikalienunterstützte Spülung auf vier Spülungen pro Tag erhöht. Während des gesamten betrachteten Zeit-

raumes bewegte sich der Flux im Wesentlichen zwischen 70 und 100 l/m²/h. Angegeben ist auch der Bereich der mittleren Fluxwerte von Anlagen, die ebenfalls mit Ultrafiltrationsmodulen der Firma Inge AG bestückt sind und im Rahmen einer Umfrage [2] erhoben wurden. Die Fluxwerte der Anlage im Wasserwerk Neckartailfingen bewegen sich in einem Bereich, der auch von anderen Anlagen bekannt ist.

Eine entsprechende Darstellung für den Transmembrandruck (TMP) zeigt Abbildung 7. Erwartungsgemäß lag der TMP während der Einfahrphase deutlich un-

Neue Produkte ... von **elomat**®
... wir erfinden's einfach

Katalog anfordern, oder
www.elomat.de

Elomat Anlagenbau Wassertechnik GmbH
Mättich · Elomatstraße 10 · D-77880 Sasbach
Tel. 0 78 41 / 20 77-0 · Fax 0 78 41 / 20 77 - 22
wittenauer@elomat.de · www.elomat.de

IFAT, München Halle A3 Stand 315

ter den entsprechenden Werten der folgenden Betriebsphasen. Während der Betriebsphasen nahm der TMP im Mittel auf ca. 0,25 bar zu. Eine Gegenüberstellung mit anderen Anlagen mit vergleichbaren Modultypen zeigt, dass die Ultrafiltrationsanlage des Wasserwerks Neckartailfingen im Mittel bisher dennoch mit einem niedrigeren TMP läuft. Die Rücknahme des Filtrationsintervalls von 60 auf 50 Minuten bei gleichzeitiger Verdopplung der chemikalienunterstützten Spülungen (Betriebszeitraum $205 < Q < 250 \text{ m}^3/\text{m}^2$) hatte keine wesentliche Änderung des Betriebsverhaltens im Hinblick auf Veränderungen der Permeabilität zur Folge. Daher wird in noch andauernden Testläufen eine Verlängerung des Filtrationsintervalls auf 70 Minuten geprüft. Die Zielstellung besteht dabei in einer Minimierung des Spülwasserverbrauches.

Eine chemische Reinigung zur Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit der Membranmodule war bisher, entsprechend einem spezifischen Durchsatz von $250 \text{ m}^3/\text{m}^2$ bzw. einem Betrieb von ca. 130 Tagen, noch nicht erforderlich. Dies entspricht den Erwartungen aus der Vorplanung.

Als Folge eines Ausfalls von Systemkomponenten (Chemikaliendosierung bei der Spülung) verdoppelte sich der Transmembrandruck innerhalb von zwei Tagen bei konstantem Flux. Dies hatte eine entsprechende Verminderung der Permeabilität zur Folge. Nach unmittelbar durchgeführter Instandsetzung gelang es allein durch die Verdopplung der Einwirkzeit bei einer che-



Abb. 4: Ansicht der Ultrafiltrationsanlage mit Schlammwasserpufferbehälter und Schaltschränken

Quelle: ENBW

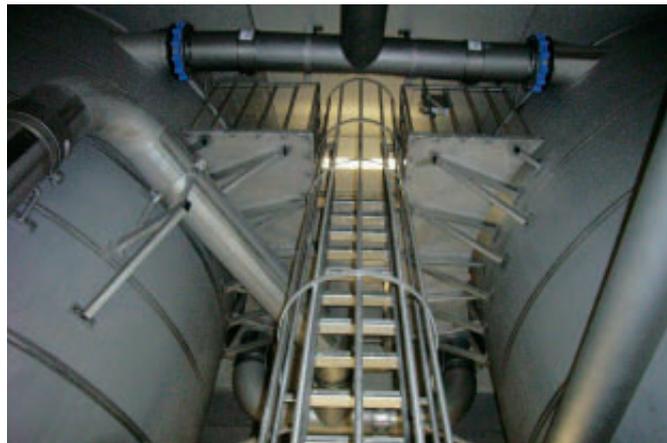


Abb. 5: Reinwasserbehälter

Quelle: ENBW

mikalienunterstützten Spülung, die ursprüngliche Permeabilität wiederherzustellen. Ein schneller Anstieg des Transmembrandruckes, wie beispielsweise eine Verdopplung innerhalb von 24 Stunden, bei gleichbleibender Filtratproduktionsmenge deutet auf eine Fehlfunktion der Anlage hin.

Filtratbeschaffenheit

Die Ultrafiltrationsanlage entfernt partikuläre Wasserinhaltsstoffe einschließlich Mikroorganismen, wie *E.coli* und coliforme Bakterien, unabhängig von deren Gehalt im Rohwasser und der Rohwasserbeschaffenheit. Diese Erfahrungen sind auch von anderen Anlagen bekannt [3-5].

Unmittelbar nach der Inbetriebnahme neu installierter Ultrafiltrationsanlagen kommt es in Einzelfällen zu einer Erhöhung der koloniebildenden Einheiten im Filtrat. Als Ursache hierfür wird die Anwesenheit biologisch leicht verwertbarer Substanzen in Betracht gezogen. Verstärkte Kontrollen während der Inbetriebnahmephase sind anzuraten. Im vorliegenden Fall erwiesen sich zusätzliche Spülungen der Anlage unter Zugabe von Chemikalien als weitgehend wirkungslos. Ein Austrag gelang durch kontinuierliches Durchströmen der Anlage im Normalbetrieb ohne zusätzliche Maßnahmen. Den zeitlichen Verlauf der Koloniezahlen bei $22 \text{ }^\circ\text{C}$ Bebrütungstemperatur im Zulauf der Ultrafiltra-

tion und im Sammelfiltrat einer Straße zeigt **Abbildung 8**. Nach einer Betriebsdauer von ca. vier Monaten waren im Sammelfiltrat die Befunde abgeklungen. Lediglich in einem geringer durchströmten Bereich innerhalb der Anlage am Ende einer Filtratleitung liegen noch leicht erhöhte Koloniezahlgelalte vor.

Die Kontrolle der Integrität der Ultrafiltrationsmembranen erfolgt durch Druckhaltetests. Diese werden im Rahmen der jährlichen Anlagenwartung durchgeführt. Zur laufenden Überwachung des Anlagenbetriebes werden online u. a. Trübungen im Zu- und Ablauf gemessen sowie die Betriebsparameter der Anlage (z. B. Transmembrandruck, Flux, Temperatur) überwacht und dokumentiert. Durch die nachfolgende Desinfektion wird die Aufbereitungssicherheit zusätzlich erhöht.

Kosten

Auf Grundlage der finanziellen Aufwendungen für die Baumaßnahmen sowie unter Berücksichtigung der sechsmonatigen Betriebserfahrungen wurde eine Kostenübersicht erstellt. Annahmen waren zu treffen hinsichtlich der Lebensdauer der Membranmodule und der Wartungskosten. Die Angaben zu den Aufbereitungsmengen und den dafür erforderlichen Betriebsmitteln wurden auf ein Jahr extrapoliert. Personalkosten wurden nicht in diese Zusam-

DALMINEX EINBAUGARNITUREN

IFAT in München
Stand Nr. A5 - 301

Produzent von Einbaugarnituren

- ◆ starr oder verstellbar
- ◆ als Teleskop-System
- ◆ für Kugelhähne, Absperrklappen, Schieber- und Hausanschlussarmaturen

Auszug aus unserem Zubehörprogramm

- ◆ Handräder
- ◆ Bediungsanschlüsse nach DIN
- ◆ Hydrantenschlüssel und Schachthaken
- ◆ Mechanische Räderzeigerwerke
- ◆ Markierungsscheiben für Teleskop-EBG
- ◆ Dreikantschoner und Muffen
- ◆ Dreikant-Bediungsschlüssel
- ◆ Bedienungsschlüssel-Adapter



WASSERDICHTER EINBAUGARNITUR

menstellung aufgenommen. Die Betriebskosten liegen mit ca. 2 Cent/m³ in einem relativ niedrigen Bereich (Tab. 2). Analoges gilt für die Gesamtkosten, d. h. die Summe der Investitions- und Betriebskosten, die mit ca. 8 Cent/m³ zu veranschlagen sind. Voraussetzungen für relativ niedrige spezifische Gesamtkosten sind neben einer zielgerichteten Vorplanung und einem effektiven Controlling auch ein hoher Auslastungsgrad der Ultrafiltrationsanlage.

Die Errichtung der Ultrafiltrationsanlage erforderte neben dem verfahrenstechnischen Teil weiter gehende Investitionen bezüglich des Neubaus der beiden Reinwasserbehälter, eines Gebäudes sowie die rohrlings- und steuerungstechnische Einbindung in den Bestand. Insgesamt wurden Investitionen von ca. 2,8 Mio. Euro getätigt.

Ausblick

Die Ultrafiltrationsanlage im Wasserwerk Neckartailfingen ist seit August 2007 in Betrieb. Es hat sich gezeigt, dass das Verfahren der Ultrafiltration im vorliegenden Fall geeignet ist, das anstehende calcitabscheidende Bodenfiltrat zu behandeln und damit die Aufbereitungssicherheit zu gewährleis-

Tabelle 2: Kostenübersicht zum Neubau und der Einbindung der Ultrafiltrationsanlage in den Bestand des Wasserwerks Neckartailfingen

Tabelle 2: Kostenübersicht zum Neubau und der Einbindung der Ultrafiltrationsanlage in den Bestand des Wasserwerks Neckartailfingen			
Wassermengen			
Trinkwasserproduktion	m ³ /a	2.640.000	
Spülwasserbedarf	m ³ /a	62.000	
Spülwasserbedarf	%	2,3	
Betrieb			
Energie	€/a	13.700	
Chemikalien	€/a	2.000	
Wartung	€/a	10.800	
Membranersatz	€/a	19.400	
Zwischensumme Betrieb	€/a	46.000	
	€/m ³		0,017
Investitionen			
Bauwerke (25 a, 5 %)	€/a	65.276	
Ultrafiltration (15 a, 5 %)	€/a	63.586	
Leittechnik (15 a, 5 %)	€/a	21.003	
Desinfektion (15 a, 5 %)	€/a	1.927	
Zwischensumme Invest	€/a	152.000	
	€/m ³		0,058
Gesamtkosten			
	€/a	198.000	
	€/m ³		0,075

Quelle: ENBW/TZW

ten. Der Spülwasserbedarf liegt ohne zusätzliche Spülwasserrückgewinnung bei 2,5 bis 3,5 Prozent. Überwiegend wird Filtrat zur Spülung eingesetzt. Lediglich zwei-

mal täglich wird eine mit Chemikalien unterstützte Spülung durchgeführt. Damit wurden das Verfahrenskonzept und die Ergebnisse der Vorversuche bestätigt. ▶



Ihr Partner für den internationalen Auftritt!





ENERGIE
WASSER
UMWELT

Wir informieren Sie gerne: Tel. 0511 / 90 99 2-10, Fax 0511 / 90 99 2-69, Email: eitep@eitep.de

www.eitep.de

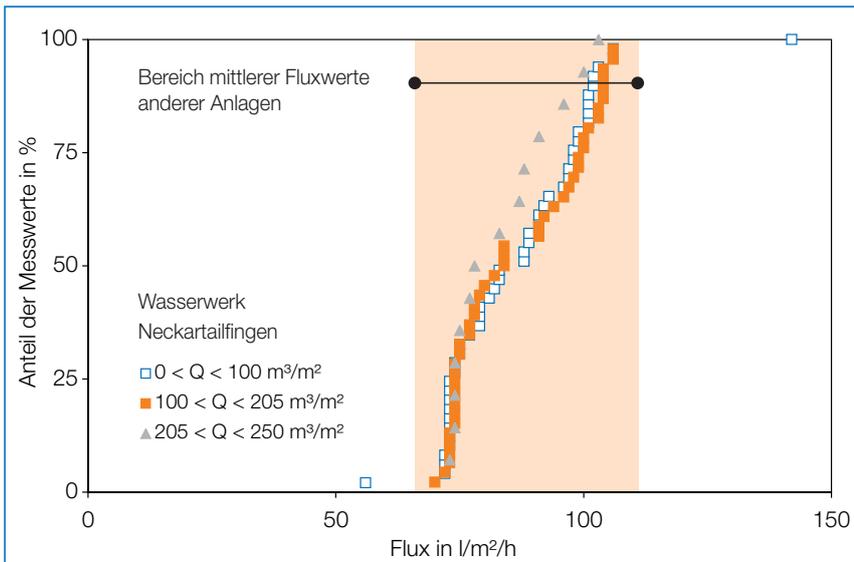


Abb. 6: Fluxwerte der Ultrafiltrationsanlage im Wasserwerk Neckartailfingen im Vergleich mit Daten anderer Anlagen mit vergleichbaren Membranen

Quelle: TZW

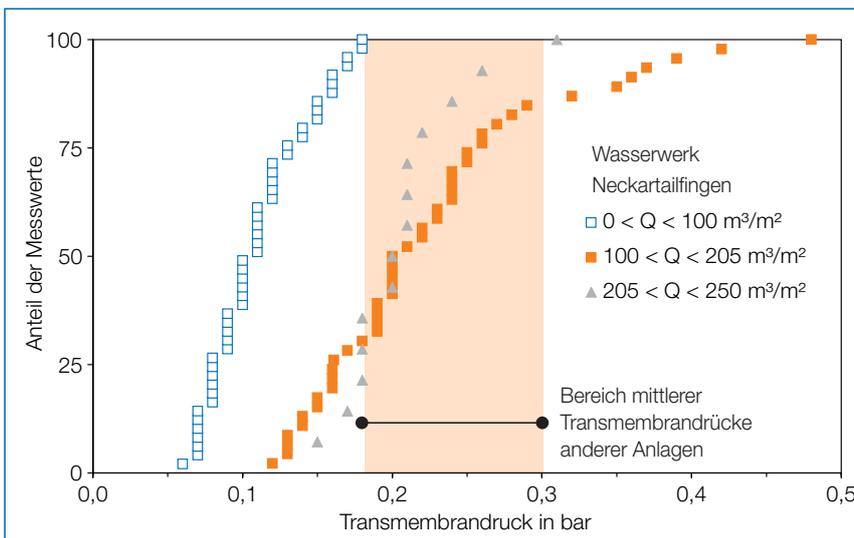


Abb. 7: Transmembrandruck der Ultrafiltrationsanlage im Wasserwerk Neckartailfingen im Vergleich mit Betriebsdaten anderer Anlagen mit vergleichbaren Membranen

Quelle: TZW

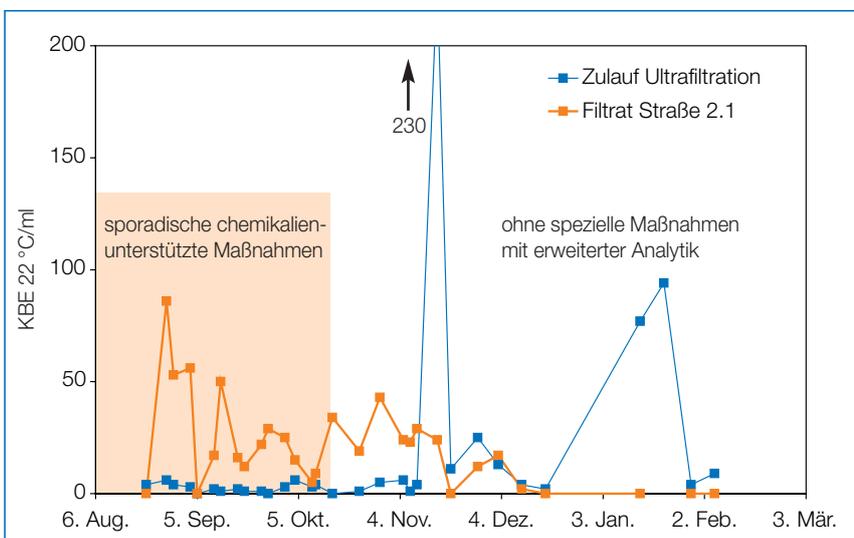


Abb. 8: Koloniezahlgehalte im Zu- und Ablauf von Straße 2.1 der Ultrafiltrationsanlage

Quelle: Analytik: EnBW

Die Integration einer Membrananlage in einen bestehenden Betrieb erfordert selbstverständlich auch deren Anpassung an die Bewirtschaftung des gesamten Versorgungssystems. Um die UF-Anlage effizient mit einer hohen Auslastung betreiben zu können, muss auch die Betriebsweise des gesamten Transport- und Speichersystems im Versorgungsgebiet angepasst werden. Diese Maßnahmen wurden gemeinsam vom technischen Betriebspersonal des Zweckverbands Filderwasserversorgung und den verantwortlichen Fachleuten der EnBW Regional AG umgesetzt.

Literatur:

- [1] Bümlein, P. (Herausgeber): Wasser für die Filder – 100 Jahre Filderwasserversorgung. Informationsschrift. Filderwasserversorgung Leinfelden-Echterdingen (2006).
- [2] Lipp, P.: Bestandsaufnahme zum Betrieb von MF/UF-Anlagen in der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland. Schriftenreihe des DVGW Technologiezentrums Wasser Karlsruhe. Band 33 (2007).
- [3] Herb, S.; Krause, S.: Ultrafiltration für kleine Wasserwerke. gwa Gas Wasser Abwasser (2003) 6, S. 419-424.
- [4] Lipp, P.; Baldauf, G.; Kühn, W.: Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung – Leistung und Grenzen. gwf-Wasser/Abwasser 146 (2005) 13, 50-61.
- [5] Urban, F.; Simon, I.; Schwarberg, J.: Ultrafiltration im Wasserwerk Sorpe. gwf-Wasser/Abwasser 144 (2003) 11, S. 749-756.

Autoren:

André Herber
 Technik Wasser – Verfahrenstechnik
 EnBW Regional AG
 Regionalzentrum Stuttgart
 Poststr. 43, 70190 Stuttgart
 Tel.: 0711 289-43576
 Fax: 0711 289-47713
 E-Mail: a.herber@enbw.com
 Internet: www.enbw.com

Dr. Uwe Müller
 Dr. Günther Baldauf
 DVGW Technologiezentrum Wasser
 Karlsruher Str. 84
 76139 Karlsruhe
 Tel.: 0721 967-8257
 Fax: 0721 967-8109
 E-Mail: mueller@tzw.de, baldauf@tzw.de
 Internet: www.tzw.de

Kontakt:

Hermann Löhner, M. Sc.
 Leiter Technik Wasser
 EnBW Regional AG
 Regionalzentrum Stuttgart
 Poststr. 43
 70190 Stuttgart
 Tel.: 0711 289-47603
 Fax: 0711 289-46740
 E-Mail: h.loehner@enbw.com
 Internet: www.enbw.com