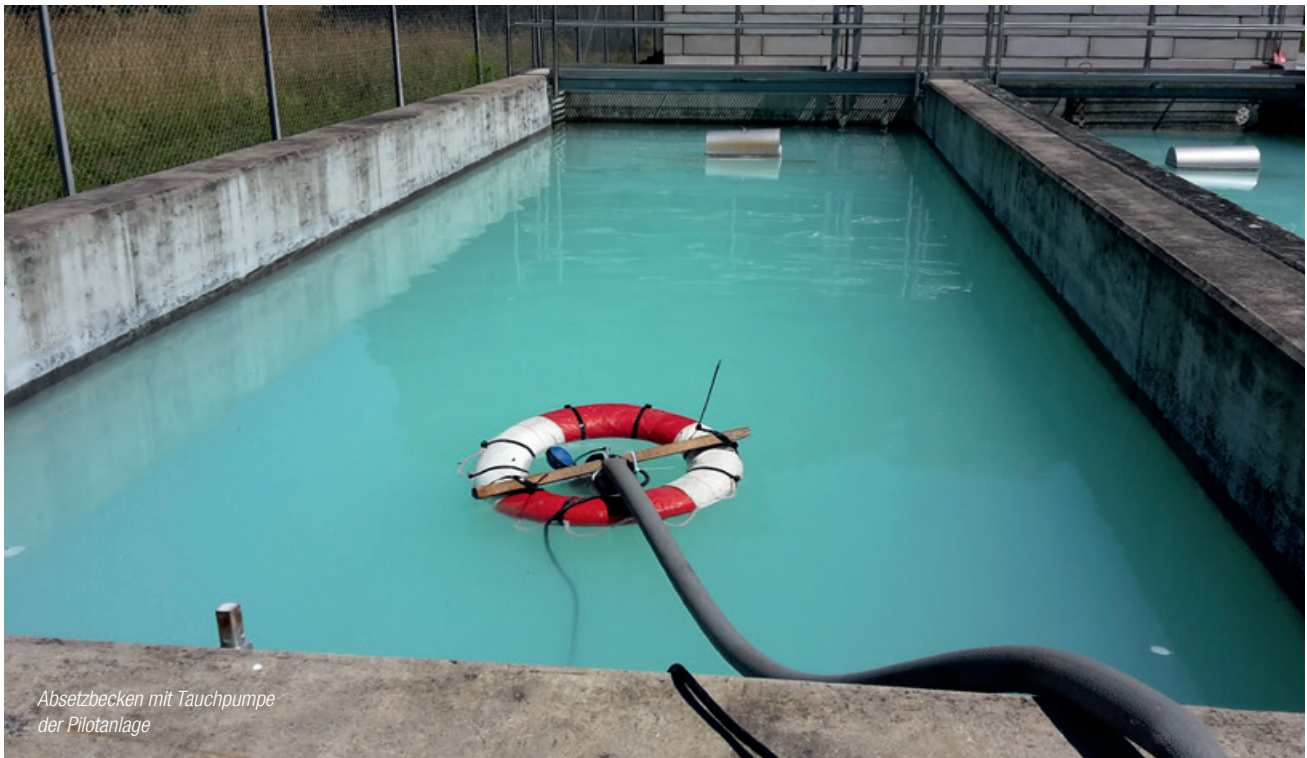


Ultrafiltration zur Behandlung kalkhaltiger Wässer

Schlammhaltige Wässer aus der **Spülung der konventionellen Filter** einer Schnellentcarbonisierungsanlage enthalten einen hohen Anteil an Feintrübung, die den Absetzvorgang behindert und die Versickerung des Klarwassers erschwert. Durch Behandlung des Klarwassers über Ultrafiltration kann ein **partikelfreies Filtrat** erzeugt werden, das für die Versickerung bestens geeignet ist.

von: Dr. Pia Lipp (TZW – DVGW-Technologiezentrum Wasser), Michael Koch (star. Energiewerke GmbH & Co. KG) & Theo Waerder (Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr)



Absetzbecken mit Tauchpumpe der Pilotanlage

Quelle: TZW

Im Wasserwerk Ottersdorf der star.Energiewerke GmbH & Co. KG in Rastatt wird Grundwasser aus drei Brunnen mittels Schnellentcarbonisierung von 20 °dH auf 12 °dH enthärtet. Das enthärtete Wasser aus den Schnellreaktoren wird nach Verschneiden mit einem Teilstrom an unbehandeltem Grundwasser über eine konventionelle Filteranlage geleitet, um die Resttrübung zu entfernen. Das Wasser ist nach der Filtration noch immer calcitabscheidend und verursacht Ausfällungen im Reinwasserbehälter, bevor das Trinkwasser über das Versorgungsnetz an die Verbraucher verteilt wird. Die Filter der Filteranlage müssen regelmäßig gespült werden, um die kalkhaltigen Ablagerungen aus dem Filterbett zu entfernen und ein Verbacken des Filtermaterials zu vermeiden.

Das schlammhaltige Wasser aus der Filterspülung wird in Absetzbecken gesammelt und das resultierende Klarwasser wird versickert. Aufgrund der hohen Feintrübung im Klarwasser ist die Versickerung bislang unbefriedigend und muss verbessert werden.

Im Rahmen von Pilotversuchen wurde überprüft, inwieweit die Ultrafiltration (UF) als Verfahren zur Behandlung der im Prozess anfallenden kalkhaltigen Wässer geeignet ist. Zwei Fragestellungen waren hierbei von besonderem Belang:

1. Kann die UF-Anlage stabil mit dem Wasser aus dem Ablauf der Schnellreaktoren betrieben werden?

2. Kann die UF-Anlage stabil mit dem Klarwasser aus den Absetzbecken betrieben werden, die der Sammlung der schlammhaltigen Wässer aus der Filterspülung dienen, bevor sie zur Versickerung gelangen?

Auswahl des UF-Systems für die Pilotierung

Die zurzeit auf dem Markt für den Einsatz in der Trinkwasseraufbereitung verfügbaren UF-Systeme sind in **Tabelle 1** zusammengefasst. Alle Systeme setzen Kapillarrohrmembranen auf Polymerbasis ein, die im Dead-End-Modus betrieben werden. Hinsichtlich der Spülung und Reinigung der Membranen können zwei Vorgehensweisen unterschieden werden. Während alle Systeme nach jedem Filtrationsintervall mit Filtrat entgegen der Filtrationsrichtung gespült werden, setzen die UF-Systeme A, B und D dem Filtrat bei der Spülung nach einer festgelegten Anzahl von Filtrationsintervallen Chemikalien zu (chemisch unterstützte Spülung = chemically enhanced backwash = CEB). Demgegenüber spült das UF-System C über deutlich längere Zeitintervalle ausschließlich mit Filtrat mit zusätzlichem Lufteinsatz auf der Rohwasserseite und reinigt dann unter Außerbetriebnahme die

Membranen mit Chemikalien (chemische Reinigung = cleaning in place = CIP).

Zur Bearbeitung der beiden genannten Fragestellungen ist prinzipiell jedes in **Tabelle 1** aufgeführte UF-System einsetzbar. Bei der Auswahl berücksichtigte das DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) jedoch eine weitere Randbedingung. Diese bestand darin, dass ein weiteres Wasserversorgungsunternehmen Interesse an der Aufbereitung von Wasser aus der Schnellentcarbonisierung mittels UF bekundet hat. Hierbei handelt es sich um den Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr, der die beiden Verbandsgemeinden Adenau und Altenahr aus dem Landkreis Ahrweiler überwiegend aus dem Wasserwerk Nohner Mühle (Zweckverband Wasserversorgung Eifel) mit Trinkwasser versorgt und dort eine Schnellentcarbonisierungsanlage (SEC) in Verbindung mit einer bereits vorhandenen UF-Anlage kombinieren will.

Neben der Fragestellung 1, inwieweit die bestehende UF-Anlage die kalkhaltigen Wässer aus den SEC-Reaktoren beherrschen kann, war auch die Fragestellung 2 von Interesse, da im Wasserwerk Nohn das schlammhaltige Wasser aus der Spülung der UF-Anlage

in einer zweiten UF-Anlage weiterbehandelt wird, um die Ausbeute zu erhöhen und den in die Kläranlage zu entsorgenden Teilstrom an schlammhaltigen Wässern zu verringern. Insofern konnten im Rahmen der Pilotversuche für beide Wasserversorgungsunternehmen wertvolle Erkenntnisse zum Betrieb der UF-Systeme gewonnen werden.

Ausgewählt wurde daher im vorliegenden Fall das UF-System D mit dem XIGA-System, um die Eignung dieses Systems für den genannten Aufbereitungsfall zu untersuchen. Bei den Rohwässern in beiden Wasserwerken handelt es sich um harte Grundwässer (Gesamthärte ca. 20 °dH), sodass die Übertragbarkeit der Ergebnisse gegeben ist.

Beschreibung der Pilotanlage

Bei der eingesetzten Pilotanlage handelt es sich um eine Containeranlage mit einem UF-System, das mit einem horizontal angeordneten Druckrohr (XIGA-System) ausgestattet ist (**Abb. 1**). Der Rohwasserzulauf zur Containeranlage erfolgte über einen sogenannten Feedtank (1.000 l), der mit einem Vorfilter (100 µm) ausgestattet war. Das Filtrat der UF-Anlage wurde in einem Filtrattank (1.000 l) gesammelt und für die regelmäßigen Spülungen der Mem-

Tabelle 1: UF-Systeme für die öffentliche Trinkwasserversorgung

UF-System	Firma	Membrantyp, Membranmaterial	Membranfläche im Modul, m ²	Betrieb	Spülung/Reinigung	Transmembrandruck, bar
A	Inge AG	Multibore PES	60	IN/OUT; Dead-End	mit Filtrat sowie mit Chemikalien (CEB)	0,2 – 0,8
B	Membrana	Membrana PES	61	IN/OUT; Dead-End	mit Filtrat sowie mit Chemikalien (CEB)	0,2 – 0,7
C	PALL GmbH	Microza PVDF aktive Schicht außen + innen	50	OUT/IN; Dead-End	mit Filtrat + rohwasserseitig Luft, regelmäßige CIP	0,5 – 2,3
D	Pentair	X-Flow PES XIGA/AQUAFLEX	40	IN/OUT; Dead-End	mit Filtrat sowie mit Chemikalien (CEB)	0,2 – 0,8

CEB = chemically enhanced backwash = Spülung mit Filtrat unter Zugabe von Chemikalien
 CIP = cleaning in place = chemische Reinigung mit Einwirkzeiten > 1 h
 PES = Polyethersulfon
 PVDF = Polyvinylidenfluorid

Quelle: TZW



Abb. 1: Containeranlage im Wasserwerk Ottersdorf der star.Energiewerke GmbH & Co. KG, Rastatt

lage in das Verfahrensschema des Wasserwerks ist in **Abbildung 2** dargestellt.

Unmittelbar nach Inbetriebnahme der Pilotanlage wurde die Anlage zunächst mit dem Filtrat der Filteranlage betrieben (Phase 1, Dauer vier Wochen), um sich mit der Bedienung der Anlage vertraut zu machen. In Phase 2 erfolgte dann der Betrieb mit dem Wasser aus dem Zulauf der konventionellen Filteranlage (Dauer 19 Wochen). In Phase 3 wurde die Pilotanlage mit dem Klarwasser aus den Absetzbecken beaufschlagt (Dauer drei Wochen).

Die Pilotierung erfolgte während des laufenden Betriebs der Großanlage, sodass die in diesem Zeitraum aufgetretenen Schwankungen in der Wasserbeschaffenheit den regulären Wasserwerksbetrieb abgebildet haben und somit Erfahrungen unter praxisnahen Bedingungen gewonnen werden konnten.

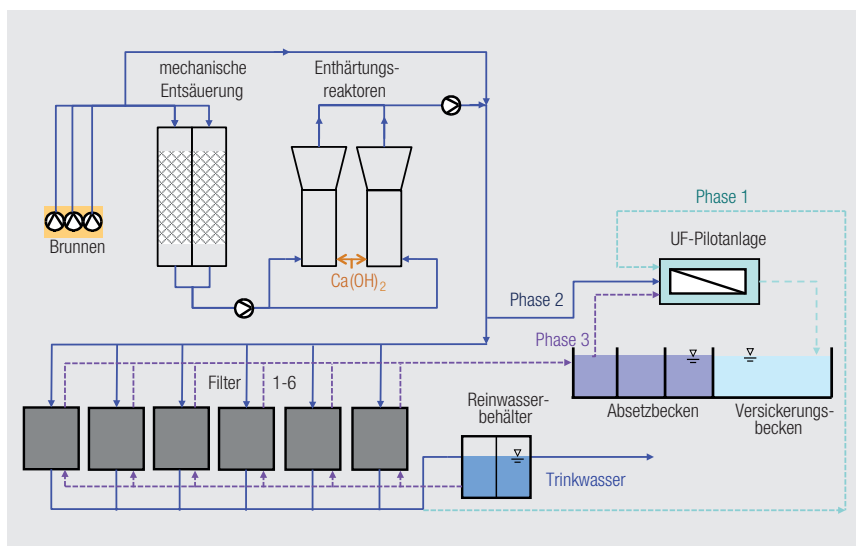


Abb. 2: Einbindung der Pilotanlage in das Verfahrensschema des Wasserwerks Ottersdorf

Ergebnisse

Die UF-Anlage konnte in allen drei Betriebsphasen weitgehend stabil betrieben werden, wie aus dem zeitlichen Verlauf des Transmembrandruckes über dem gesamten Betriebszeitraum in **Abbildung 3** zu erkennen ist. Lediglich aufgrund einer Störung bei der CEB mit Säure war es am Ende der Betriebsphasen 2 und 3 kurzzeitig jeweils nach einer CEB zu einem Anstieg des Transmembrandruckes gekommen. Im regulären Filtrationsbetrieb war demgegenüber keine Veränderung des Transmembrandruckes zu beobachten.

branen verwendet. Die Überläufe aus dem Feed- und Filtrattank wurden verworfen. Die Spülungen der Membran erfolgten üblicherweise mit Filtrat ohne Zugabe von Chemikalien nach einem vorgegebenen Filtrationsintervall von 45 bis 60 Minuten. Nach einer vorgegebenen Anzahl von Spülungen mit Filtrat (32 bis 48) wurden chemisch unterstützte Spülungen (CEB) unter Zugabe von Salzsäure (pH-Wert 2), Natrionlauge (pH-Wert 11) und Natriumhypochlorit (150 ppm) durchgeführt. Die Häufigkeit der CEBs lag zwischen vier und acht pro Woche.

Die Pilotanlage war mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung ausgestattet und konnte ferngesteuert bedient werden. Das Wasserwerkspersonal übernahm die Wartungsarbeiten vor Ort und stellte sicher, dass die Anlage stets mit ausreichend Rohwasser versorgt war.

Untersuchungsprogramm

Die Pilotanlage wurde über ein halbes Jahr mit drei verschiedenen Wässern des Wasserwerks Ottersdorf beaufschlagt. Die Einbindung der Pilotan-

Phase 2 bildet den im Wasserwerk Nohn zu beherrschenden Betrieb ab, bei dem die bestehende UF-Anlage mit dem Wasser aus dem Ablauf der neu zu installierenden SEC-Reaktoren beaufschlagt wird. Während der Pilotierung waren im Zulauf zur UF-Anlage Trübungen im Bereich von 10 bis 40 FNU aufgetreten, die zu keinem Anstieg des Transmembrandruckes führten. Die Filtrationsintervalle wa-

ren dabei so eingestellt, wie sie im Wasserwerk Nohn vorwiegend gefahren werden. Dies gilt auch für die Häufigkeit der CEBs. Die Auswirkungen der CEB und insbesondere der fehlerhaften CEB mit Säure sind aus der Darstellung in **Abbildung 4** zu erkennen.

Nach erfolgreicher CEB bleibt der Transmembrandruck auf dem vorherigen Niveau, bei fehlerhafter CEB mit Säure beginnt er auf einem höheren Niveau. Grund hierfür sind vermutlich Kalkausfällungen während der CEB mit Lauge, die durch die fehlerhafte CEB mit Säure nicht wieder aufgelöst werden konnten. Aus diesem Verhalten ist abzuleiten, dass im vorliegenden Fall gegebenenfalls auf eine CEB mit Lauge verzichtet werden sollte. Im großtechnischen Betrieb ist der Spülablauf zu optimieren. Die Fragestellung 1 kann nach den vorliegenden Ergebnissen positiv beantwortet werden.

In Phase 3 wurde die Pilotanlage mit dem Wasser aus dem Absetzbecken betrieben. Aufgrund der betrieblichen Vorgaben und dem zeitlichen Ablauf der Filterspülungen war nur ein chargenweiser Betrieb möglich. Dazu wurde die Pilotanlage jeweils morgens, wenn die Absetzbecken aufgrund der Filterspülungen gefüllt waren, manuell gestartet. Der Betrieb lief über den ganzen Tag bis zum späten Abend. Dann wurden die Becken geleert, um freies Volumen für die nächste Filter-

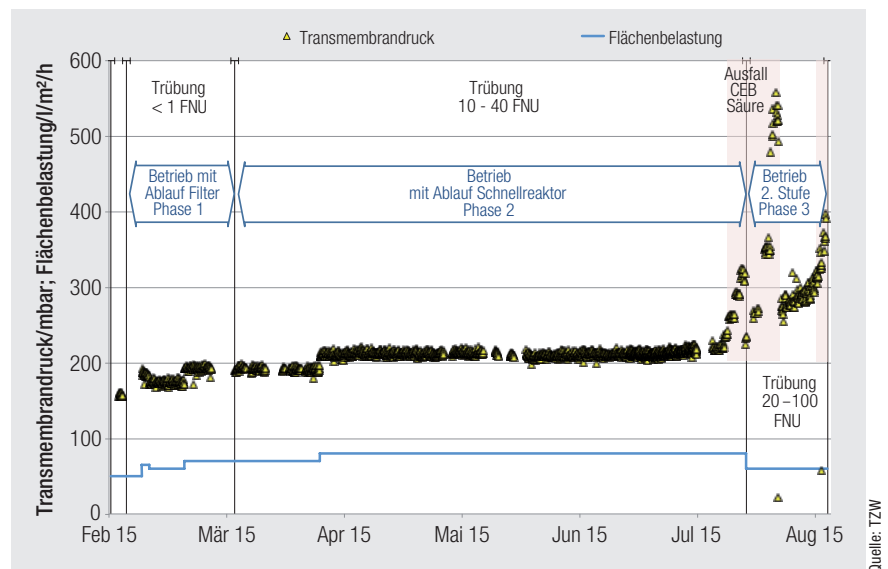


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf des Transmembrandruckes in den Betriebsphasen 1 bis 3 der Pilotierung

spülung zu schaffen. Die Pilotanlage ging automatisch außer Betrieb und musste am nächsten Tag wieder manuell gestartet werden.

Mit dem Betrieb der Pilotanlage in Phase 3 konnte, wie bereits erwähnt, der Betrieb der zweiten UF-Anlage im Wasserwerk Nohn simuliert werden. Während des Pilotanlagenbetriebs wurde das Klarwasser aus den Absetzbecken ohne Zugabe von Flockungsmitteln verwendet.

Trotz deutlich erhöhter Trübungen im Bereich von 20 bis 100 FNU konnte mit dem Klarwasser ein stabiler Betrieb der UF-Anlage erreicht werden (**Abb. 3**). Die während des Filtrations-

prozesses an der Membranoberfläche zurückgehaltenen kalkhaltigen Ablagerungen können offensichtlich mittels der zehnmütigen Einwirkzeit einer CEB mit Säure bei einem pH-Wert von ca. 2 wieder aufgelöst werden. Unabdingbare Voraussetzung für einen stabilen Betrieb ist die regelmäßige Durchführung einer säureunterstützten Spülung der Membranen. Auch in Phase 3 war es gegen Ende der Betriebszeit zu einem Ausfall der CEB mit Säure gekommen, die zu einem schrittweisen Anstieg des Transmembrandruckes führte.

Aufgrund dieser Ergebnisse kann auch die Fragestellung 2 positiv beantwortet werden.

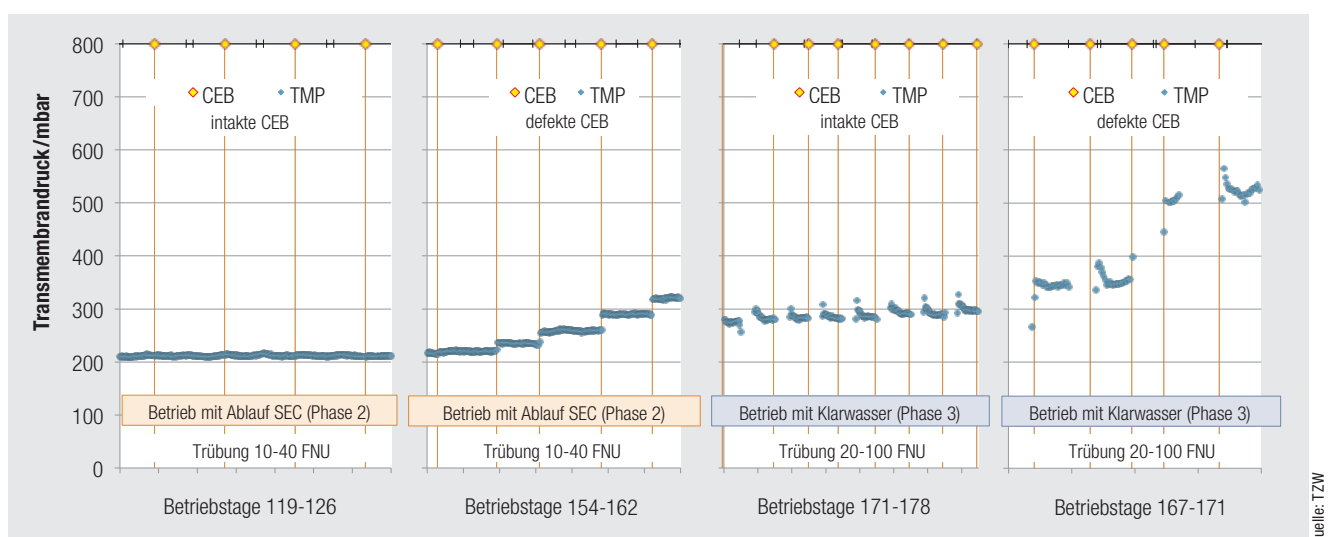


Abb. 4: Auswirkungen der CEB auf den zeitlichen Verlauf des Transmembrandruckes

Tabelle 2: Analyse des Schlammes aus der Spülung der UF-Anlage

Parameter		Schlamm der UF-Anlage
Wassergehalt	%	99
Trockenrückstand	%	1
Calcium	g/kg	379
Magnesium	g/kg	4,84
Eisen	g/kg	4,37
Aluminium	g/kg	2,93
Mangan	g/kg	0,5015
AOX	mg/kg	< 10
Arsen	g/kg	0,0023
Blei	g/kg	0,0018
Cadmium	g/kg	0,0006
Chrom	g/kg	0,003
Kupfer	g/kg	< 0,01
Nickel	g/kg	0,0047
Quecksilber	g/kg	< 0,0001
Zink	g/kg	0,0445

Quelle: TZW

Das bei der Spülung der UF-Membranen in Betriebsphase 3 anfallende schlammhaltige Wasser wurde weitergehend analysiert. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 2** aufgeführt.

Wie aus den Werten in **Tabelle 2** hervorgeht, besteht der Schlamm erwartungsgemäß im Wesentlichen aus Calciumkarbonat und enthält geringe Anteile an Magnesium, Eisen und Aluminium sowie geringe Spuren von weiteren Metallen. Der hohe Kalkanteil des Schlammes wird eine Ableitung in die Kanalisation nicht beeinträchtigen, sondern den Klärprozess infolge der hohen Pufferkapazität eher unterstützen. Damit sollte sich keine Einschränkung bei der Entsorgung des Kalkschlammes durch die Einleitung in die Kanalisation ergeben.

Fazit

Calcitabscheidendes Wasser, wie es im Ablauf von SEC-Reaktoren nach Verschnitt mit unbehandeltem Grundwasser anfällt, lässt sich nach den vorliegenden Ergebnissen mittels Ultrafiltration problemlos aufbereiten. Bei optimierten Filtrations- und

Spülbedingungen ist ein langzeitstabiler Betrieb gewährleistet. Die Pilotversuche zeigten, dass der regelmäßigen Kontrolle der Spülmedien sowie der ablaufenden Spülprozesse besonderes Augenmerk zu geben ist, da deren einwandfreie Funktion für einen stabilen Betrieb zwingend notwendig ist. Ebenso muss die einwandfreie Funktion der Schnellentcarbonisierung sichergestellt werden, da sich deren Ablaufqualität unmittelbar auf die Leistungsfähigkeit der UF-Anlage auswirkt.

Aus den Ergebnissen kann schlussendlich gefolgert werden, dass die im Wasserwerk Nohn betriebene UF-Anlage auch nach Vorschalten einer SEC weiter betrieben werden kann. Dies gilt auch für die im Wasserwerk Nohn betriebene zweite UF-Anlage, für die im Fall einer vorgeschalteten Enthärtungsstufe keine Erweiterung erforderlich wird. Die aufgrund der häufigeren Spülintervalle der ersten UF-Anlage in der zweiten Stufe zu behandelnde größere Wassermenge kann durch Verlängerung der täglichen Betriebszeit der zweiten UF-Anlage kompensiert werden. Gegebenenfalls muss in der zweiten UF-Anlage die

Häufigkeit der CEB erhöht werden, wodurch sich die in die Kanalisation zu entsorgende Schlammwassermenge ca. um den Faktor 2 bis 3 erhöhen kann.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der star.Energiewerke GmbH & Co. KG, Rastatt, für die technische Unterstützung und Betreuung der Pilotanlage im Wasserwerk Ottersdorf und dem Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr, Landkreis Ahrweiler, für die Finanzierung des Projektes. ■

Die Autoren

Dr. Pia Lipp ist wissenschaftliche Mitarbeiterin im TZW – DVGW-Technologiezentrum Wasser in Karlsruhe, Abteilung Technologie und Wirtschaftlichkeit.

Michael Koch ist Abteilungsleiter Produktion und Rohrnetze und technische Führungskraft für die Gas- und Wasserversorgung bei der star.Energiewerke GmbH & Co. KG, Rastatt.

Theo Waerder ist Werkleiter beim Zweckverband Wasserversorgung Eifel-Ahr.

Kontakt:
 Dr. Pia Lipp
 DVGW-Technologiezentrum Wasser
 Abteilung Technologie
 und Wirtschaftlichkeit
 Karlsruher Str. 84
 76139 Karlsruhe
 Tel.: 0721 9678-127
 E-Mail: pia.lipp@tzw.de
 Internet: www.tzw.de