

Trinkwassergewinnung aus Bergquellwasser:

Energie einsparen mit druckbetriebenen Membranfiltern

ULRICH KUGEL, JOACHIM KLAHRE

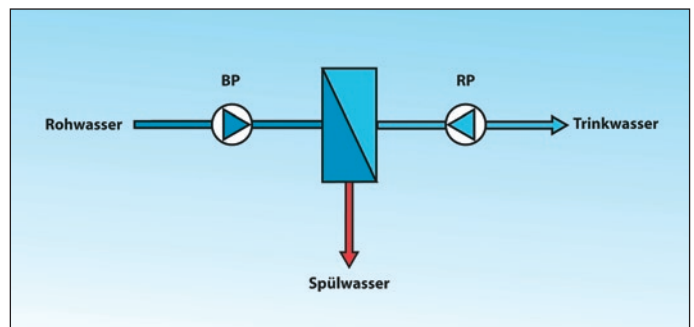
Selbst in Regionen, die daran keinen Mangel leiden, muss Wasser für den menschlichen Bedarf aufbereitet werden. So sind die Wässer in Gebieten mit Karst- und Kluftgesteinen oftmals mit erhöhten Trübstoff- und Keimgehalten belastet. Die Membranfiltration stellt hierfür eine effiziente Aufbereitung dar. In Gebirgsregionen kann dazu bei Verwendung druckbetriebener Membranfilterverfahren ein vorhandener hydrostatischer Vordruck eingesetzt werden. Mit einem Energieeinsatz von weniger als $0,05 \text{ kWh/m}^3$ kann so ein Trinkwasser erzeugt werden, das nicht nur den heutigen, sondern wohl auch künftigen hygienischen Anforderungen genügt. Weitergehende Informationen zu diesem Verfahren können über die Kennziffer 310 (Membratec) angefordert werden.

Wasser aus den Berg- und Gebirgsregionen Süddeutschlands, der Schweiz und Österreichs gilt allgemein als qualitativ hoch stehendes Trinkwasser, das von den örtlichen Wasserversorgern meist ohne Aufbereitung ins Netz gespeist werden kann. Dennoch bestehen bei einigen Versorgungen im Zusammenhang mit der novellierten Trinkwasserverordnung Probleme mit der Trinkwasserhygiene.

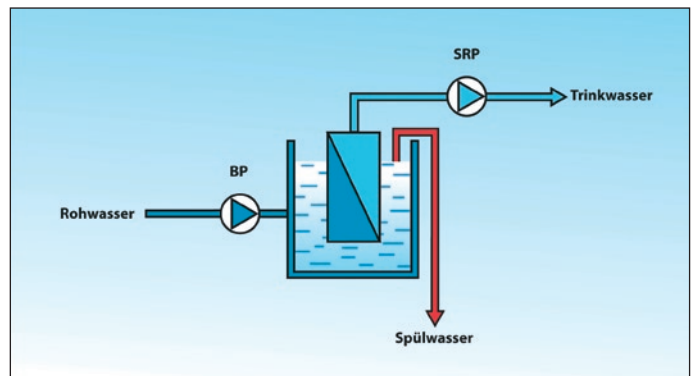
So müssen in Bayern in den Kluftgebietsgebieten von Ober- und Unterfranken, aber auch in den Karstgebieten der Alpen und des Fränkischen Jura oftmals trübstoffhaltige und mikrobiologisch belastete Rohwässer zur Trinkwassergewinnung genutzt werden [1]. In einzelnen Regionen der Schweiz werden bis zu 25 % der routinemäßig erhobenen Proben aus Trinkwassernetzen beanstandet, weil sie Fäkalkeime enthalten [2]. Dabei werden diese

Dipl.-Ing. U. Kugel, Membratec AG, Niederlassung Deutschland, Waldburg, und Dr. J. Klahre, Membratec AG, Sierre/Schweiz

1: Schema druckbetriebenes Modul
(BP: Beschickungspumpe; RP: Rückspülpumpe)



2: Schema getauchtes Modul
(BP: Beschickungspumpe; SRP: Saug- und Rückspülpumpe)



Proben noch nicht einmal in besonders kritischen Situationen wie bei Starkregen, Hochwasser oder Hitze/Trockenheit erhoben, sondern nach einem Beprobungsplan, der keine besondere Rücksicht auf die meteorologischen Bedingungen nimmt. In den meisten Fällen werden die beanstandeten Wässer sogar mit Chlor oder UV-Strahlung desinfiziert, wobei diese Desinfektionsmaßnahmen zur Behandlung von mikrobiologisch belasteten Rohwässern nach der novellierten Trinkwasserverordnung in Deutschland in Zukunft nur noch mit einer geeigneten Vorbehandlung akzeptiert werden.

Aber selbst mit einer mehrstufigen konventionellen Aufbereitung ist die sichere Elimination von Keimen und Trübstoffen nicht in jedem Fall gegeben. Denn obwohl Sand-Schnell- und Aktivkohle-Filter relativ einfach zu bedienen sind, erlauben sie allein die Gewinnung eines den Normen entsprechenden Trinkwassers noch nicht. Dazu sind die komplementären Prozesse der Fällung/Flockung und/oder Oxidation mit Ozon erforderlich.

Besonders die Flockung basiert aber auf einem recht komplexen chemischen Prozess, bei dem die zugegebenen Chemikalien aufgrund ihrer Molekülgröße, Ladung und Ladungsdichte mit den Inhalts-

stoffen des Rohwassers Flocken bilden, die im nachfolgenden Sandfilter zurückgehalten werden können. Ein optimales Funktionieren der Fällung/Flockung wie auch der technisch ähnlich anspruchsvollen Ozonierung kann oft in kleineren Versorgungen mangels geschultem Personal nicht sichergestellt werden. Damit verliert aber die gesamte Aufbereitungskette ihre Wirksamkeit.

Handlungsbedarf ergibt sich dann unter dem Druck der Gesundheitsbehörden, die eine in qualitativer Hinsicht besser kontrollierbare Fremdversorgung gegenüber den kleinen kommunalen Eigenversorgungen bevorzugen. Darunter leidet wiederum die Versorgungssicherheit in Notlagen und mit dem Transport des Fremdwassers ist oft ein erheblicher Verbrauch an Energie verbunden.

Die Membranfiltration

Nun steht seit einigen Jahren das Verfahren der Ultrafiltration mit Membranen zur Verfügung, das bei Problemen mit Trübungsspitzen und hohen Keimzahlen im Rohwasser eine sehr einfache Aufbereitung in einem einzigen Verfahrensschritt erlaubt [3]. Die Membranen sind eine absolute Barriere für Keime bis zur Größe

von Viren (20 nm, 0,02 µm). Sie stellen gleichzeitig eine Klärung und Desinfektion sicher, selbst wenn das Rohwasser nach Regenereignissen oder während der Schneeschmelze ungewöhnlich stark mit Partikeln belastet ist.

Die Steuerung der Membranfiltration kann sehr einfach gestaltet werden, da die Anlage im Wesentlichen in den Betriebsmodi der eigentlichen Filtration, der Rückspülung und einer periodischen Filterdesinfektion arbeitet. Eine chemische Reinigung der Membranfilter ist bei einer korrekt dimensionierten Anlage in der Regel nur alle paar Monate erforderlich und läuft ebenfalls automatisch ab.

Da die in der Trinkwasserversorgung eingesetzten Membranen aus Kunststoff (mit KTW-Zulassung) hergestellt werden, kann eine langsame Alterung nicht vermieden werden. Um während der Lebensdauer von im Normalfall sechs bis acht Jahren überprüfen zu können, ob die Filterbarriere noch intakt ist, wird ein so genannter Integritätstest durchgeführt. Dabei werden die Membranen periodisch und automatisch mit Druckluft beaufschlagt und das Druckhaltevermögen innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne überprüft. Defekte Membranhohlfasern werden dann verodet oder im Extremfall werden die Module ausgetauscht.

Die Einfachheit des Verfahrens, die Kompaktheit der Anlagen und der geringe Bedienung-/Wartungsaufwand machen die Ultrafiltration mit Membranen besonders für kleinere Versorgungen zu einer interessanten Alternative zu den bisher bekannten Aufbereitungsverfahren [4].

Im Gebirge fällt das Rohwasser oft unter Vordruck an dem Ort an, wo es aufbereitet und/oder gespeichert wird. Das eröffnet die interessante Möglichkeit, diesen Vordruck für die Filtration einzusetzen und damit einerseits die Betriebskostenrechnung um eine wesentliche Komponente zu entlasten und andererseits einen Vorteil für die Umwelt zu erzielen. Die Betriebskosten erreichen damit Werte, wie sie bisher nur mit einfachen Entkeimungsverfahren erreicht werden konnten [5]. Nicht alle am Markt verfügbaren Filterverfahren mit Membranen lassen jedoch diese Möglichkeit zu.

Ultrafiltrationsverfahren im Druck- und im Saugbetrieb

Für die Gewinnung von Trinkwasser mit Ultrafiltration werden zwei verschiedene Ver-

fahren angeboten, die sich u. a. in einem wesentlichen Punkt unterscheiden:

Beim **Druckbetrieb** wird mit einer Versorgungs- oder Beschickungspumpe im Zulauf der für die Filtration erforderliche Vordruck durch Druckerhöhung erzeugt und die Filtration erfolgt danach in geschlossenen, rohrförmigen Modulen, die in der Regel in der Hohlfaserkonfiguration aufgebaut sind (**Bild 1**). Die Filtration kann in den Hohlfasern der druckbetriebenen Module von innen nach außen oder umgekehrt ablaufen sowie im Dead-End- als auch im Cross-Flow-Betrieb erfolgen.

Beim **Saugbetrieb** werden Membranmodule in einer Kassette in den Rohwasserstrom getaucht (**Bild 2**). An den Filtrat- abgang der Anlage wird mithilfe einer Saugpumpe ein Unterdruck angelegt, der das Rohwasser von außen nach innen im Dead-End-Betrieb in die Membranhohl-

fasern oder -platten einsaugt. Das Verfahren wurde ursprünglich für den Abwasserbereich entwickelt, wo es sich in der Belebung oder in der Nachklärung als Ersatz von großvolumigen Becken bewährt hat.

Da mit offenen Behältern gearbeitet wird, die den Zugang zu den Membranmodulen zwecks Wartung und Unterhalt ermöglichen, ist es systembedingt also nicht möglich mit getauchten Membranen einen vorhandenen Vordruck ab Quellsfassung oder einem(r) höher gelegenen Stausee/Talsperre für die Filtration einzusetzen.

Neben einem erschwerten Betriebshandling wird bei getauchten Ultrafiltrationssystemen versucht, das Verblockungsrisiko der Membranfläche durch Einblasen von Luft unterhalb der Membranen zu minimieren. Dabei erzeugen die Luftblasen



CLAIR

membratec

Comme de l'eau de roche...

Ultrafiltrationsanlagen zur Gewinnung von Trinkwasser
(500 - 20'000 m³ pro Tag), für Rohwasser mit
Trübungsspitzen und hohem Keimgehalt

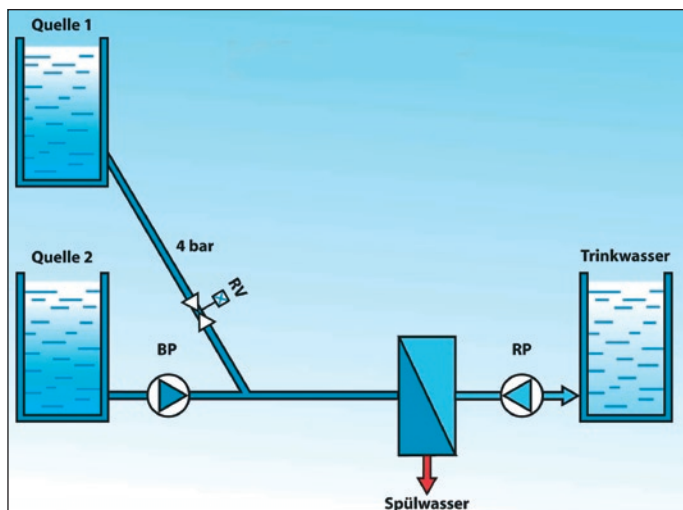
Neu: mobile Anlagen für Einzelversorgungen
(1,5, 3 oder 5 m³/Std)



membratec Trennprozesse mit Membranen - Wasseraufbereitung

Niederlassung Deutschland, 88289 Waldburg, Milanweg 1, Tel: 07529/91 21 81, Fax: 07529/91 21 82,
e-mail: info@membratec.com, internet: www.membratec.com

© Chab Luthion - Flanhey



3: Schema Weggis
(RV: Regulierventil;
BP: Beschickungspumpe;
RP: Rückspülpumpe)

Die seit mehr als einem Jahr arbeitende Anlage liefert im Schnitt 600 m³ einwandfreies Trinkwasser pro Tag bei einem Energieverbrauch von weniger als 0,084 kWh/m³ (gemessener Wert inkl. Stromverbrauch der Gebäudetechnik und UV-Entkeimung).

Genaue Daten bestehen für den Zeitraum vom 1. April bis 30. September der Jahre 2002 (vor Einbau der Ultrafiltration) und 2003 (nach Einbau der Ultrafiltration): In dieser Periode konnte mit der Ultrafiltration der Anteil des genutzten Quellwassers am Gesamtverbrauch von 16 auf 32 % oder auf 109 000 m³ verdoppelt werden. Im Sommer 2002 mussten noch ca. 25 % des Quellwassers wegen zu hoher Trübung verworfen und durch Seewasser ersetzt werden. Durch die auch von der Bevölkerung bevorzugte weitere Nutzung der Bergquellwässer bei einer Ausbeute von mehr als 95 % konnte die Gemeinde Weggis im Jahr 2003 Stromkosten in Höhe von ca. 14 000,- € einsparen.

Aufgrund der überzeugenden Resultate bei den regelmäßig durchgeführten bakteriologischen Untersuchungen konnte jetzt auch die bestehende UV-Entkeimung als zusätzliche Barriere mit behördlicher Genehmigung ausgeschaltet werden. In zwölf Monaten Betrieb musste der Membranfilter trotz hoher Auslastung erst einmal chemisch gereinigt werden.

Fallbeispiel Muotathal

Die Lage in einem bekannten Karstgebiet der Zentralschweiz bringt es mit sich, dass



4: UF-Anlage Weggis (Februar 2003)

Turbulenzen an der Membranoberfläche, wodurch Verblockungen abgelöst werden können. Durch den Luftstrom werden die Hohlfasermembranen außerdem in eine pendelnde Bewegung versetzt, wodurch die Membranen aneinander reiben und Beläge auf der Membranoberfläche abgeschert werden. Durch diesen Lufteintrag ist ein zusätzlicher Energieaufwand notwendig und die Pendelbewegungen führen zu einer hohen mechanischen Beanspruchung der Hohlfasern.

Zur Illustration der genannten Argumente folgen zwei Fallbeispiele aus den Gebirgsregionen der Schweiz zum Einsatz druckbetriebener Ultrafiltrationsmodule bei der Gewinnung von Trinkwasser.

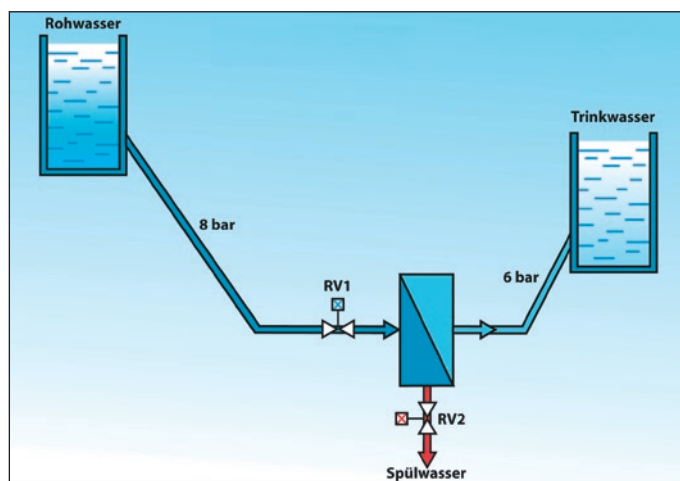
Fallbeispiel Weggis

Die Gemeinde Weggis bezieht ihr Trinkwasser einerseits aus einem Seewasserwerk am Vierwaldstätter See und zum anderen aus mehreren am Fuß des Bergmassivs „Rigi“ gelegenen Quellen. Zum Hochbehälter „Ried“ fließen zwei Quellen, die eine drucklos und die andere mit 6 bar Druck. Ihr Wasser stammt aus instabilen Hanglagen, weshalb die Trübung sehr oft bei mehr als 1 NTU liegt. Bisher wurde das Wasser mit ultravioletter Strahlung entkeimt und bei Trübungswerten von mehr

als 1,3 NTU verworfen. Dann wurde die Gemeinde mit Wasser aus dem Seewasserwerk versorgt.

Wegen dieser unsicheren Nutzung der Bergquellen gab es Überlegungen, dieses Wasservorkommen in Zukunft aufzulassen und die Gemeinde ausschließlich über das Seewasserwerk zu versorgen. Mehrere Aspekte, wie die vergleichsweise hohen Betriebskosten (u. a. für Pumpenenergie zum 244 m höher gelegenen Reservoir) und eine notwendige Aufrüstung des Seewasserwerks sowie die Trinkwasserversorgung der Gemeinde über zwei Standbeine, führten dann zur Beauftragung eines Ingenieurbüros. Dieses sollte in einer Machbarkeitsstudie verschiedene Verfahrensvarianten für eine gesicherte Aufbereitung der Berg-

5: Schema Muotathal
(RV: Regulierventil)



quellen zur Versorgung der höher gelegenen Ortsteile evaluieren.

Aufgrund einer öffentlichen Ausschreibung wurde in der Folge ein druckbetriebenes Membranverfahren, die Ultrafiltration, gewählt. Als einziges konnte dieses Verfahren die vollständige Abtrennung der feinen Schlammpartikel und der Keime sicherstellen und gleichzeitig mit dem vorhandenen hydrostatischen Druck betrieben werden (Bild 3).

Außerdem ließ sich die Filteranlage ohne bauliche Anpassungen in das bestehende Hochbehältergebäude installieren, wodurch die Baukosten niedrig gehalten werden konnten (Bild 4).



6: UF-Anlage Muotathal (August 2001)

die in Muotathal genutzten Quellwässer nach Gewittern oder während der Schneeschmelze stark eintrüben. Außerdem konnte durch die Ausscheidung von Schutzzonen nicht verhindert werden, dass Keime von den Alpweiden ins Wasser gelangten.

Die Wassergenossenschaft musste also eine Aufbereitungsanlage planen, wobei nach Vorgabe der Konsumenten das Wasser weder bestrahlt, noch mit Chemikalien versetzt werden durfte.

Als Besonderheit arbeitet diese Anlage unter einem Druck von 10 bar, weil sie am tiefsten Punkt zwischen der 100 m höher gelegenen Quellfassung auf der einen Tal- seite und dem 80 m höher gelegenen Hochbehälter auf der anderen Talseite gelegen ist (**Bilder 5** und **6**). Dies erlaubt die Aus- nutzung des vorhandenen Drucks sowohl für die Filtration als auch für die Rückspü-

lung. Der Energieverbrauch ist bei dieser Betriebsweise mit $0,025 \text{ kWh/m}^3$ Trink- wasser minimal. In mehr als zwei Jahren Betrieb musste die Anlage nur einmal che- misch gereinigt werden.

Fazit

Die Ultrafiltration mit Membranen wird häufig und erfolgreich eingesetzt zur Auf- bereitung von Quellwässern in Gebirgs- regionen, wo das Wasser im Untergrund nur ungenügend gefiltert wird (z. B. Karst- und Kluftwässer). Die Quellwässer werden oft oberhalb der Siedlungsgebiete gefasst und fließen somit unter Druck in die Hoch- behälter. In fünf von neun Anlagen, die derzeit in der Schweiz Trinkwasser aus Quellwasser erzeugen, kann dieser Druck für die Filtration genutzt werden. Gegen- über Verfahren, die mit getauchten Mem-

branen im Saugbetrieb arbeiten, weisen druckbetriebene Ultrafiltrationssysteme eine Reihe von gewichtigen Vorteilen auf, die sowohl dem Planer als auch dem Be- treiber zusätzliche Freiheitsgrade ermög- lichen und im Betrieb eine hohe Energie- effizienz erreichen können.

Literaturhinweise:

- [1] Herb, S. et al. (2000): „Ultrafiltration zur Trink- wasseraufbereitung in kleinen Wasserwerken Bay- erns“, *Wasser&Boden*, 52/12, S. 15–19.
 [2] Auckenthaler, A. (2003): „Mikrobiologische Trinkwasserüberwachung am Beispiel der Nord- westschweiz“, *gwa* 83 (11), S. 829–835.
 [3] Boller, M.; Pianta, R. (2000): „Trinkwasser aus Karstquellen – ein Fall für die Membrantechnik“, *Eawag News* 48, S. 29–31.
 [4] Herb, S. (2003): „Ultrafiltration für kleine Wasserwerke“, *gwa* 83 (6), S. 419–424.
 [5] Klahre, J.; Robert, M. (2002): „Ultrafiltration zur Gewinnung von Trinkwasser“, *gwa* 82 (1), S. 61–68.

Kontakt Daten der Autoren:

Dipl.-Ing. U. Kugel
Membratec AG
Niederlassung Deutschland
Milanweg 1
D-88289 Waldburg
Tel.: +49(0)7529/912181
E-Mail: Ulrich.Kugel@membratec.com
Internet: www.membratec.com

Dr. J. Klahre
Membratec SA
Technopôle 3
CH-3960 Sierre
Tel.: +41(0)27456830
E-Mail: Joachim.Klahre@membratec.ch
Internet: www.membratec.com