

Eckpunkte und Anpassungsstrategien zur zukunftsweisenden Wassergewinnung und -aufbereitung aus dem Bodensee

*Roland Schick, Christian Grüner, Laura Reiter, Raphaela Horn,
Michael Faißt, Christoph Jeromin
Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung, Sipplingen/Stuttgart*

*Volker Schlitt, Frank Sacher
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser*

Kurzfassung

Seit der Inbetriebnahme der Wasserwerke am Bodensee haben sich die Rahmenbedingungen für die Trinkwassergewinnung und -aufbereitung stetig verändert. Beispielhaft zu nennen sind der unerwünschte Eintrag von Nähr- und anthropogenen Spurenstoffen, die Auswirkungen des Klimawandels auf das Wasserdargebot und die Wasserbeschaffenheit oder die Veränderungen innerhalb der aquatischen Lebensräume. Aktuell stellen die massive Vermehrung und die unerwartet schnelle Ausbreitung der sogenannten Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) eine neue Herausforderung dar. Aufgrund ihren spezifischen Eigenschaften ist nicht nur von einer dauerhaften Ansiedelung im Bodensee auszugehen, vielmehr können die Muscheln an den Entnahmesystemen und den nachgeschalteten Verfahrensstufen anhaften, sodass hydraulische Beeinträchtigungen nicht auszuschließen sind. Die Wasserversorgungsunternehmen bereiten sich bereits heute auf die Herausforderungen von morgen vor. Ziel ist es, auf den Prinzipien der Vorsorge, Nachhaltigkeit und Verhältnismäßigkeit den dringend erforderlichen Handlungs- und Optimierungsbedarf aufzuzeigen und angemessene und praktikable Anpassungsstrategien und technische Umsetzungsmöglichkeiten zu erarbeiten.

Im vorliegenden Beitrag werden insbesondere für die in der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) zusammengeschlossenen Wasserversorgungsunternehmen

- der gegenwärtige Wissens- und Diskussionsstand zur Entwicklung der Quaggamuschel im Bodensee dargestellt,

- die zunehmende Besiedelung von technischen Anlagekomponenten skizziert sowie
- Eckpunkte und Hintergrundinformationen als Orientierungshilfen aufgezeigt, die im Zusammenhang mit den daraus resultierenden Auswirkungen von Bedeutung sind.

Einleitung

Die Bodenseeregion ist ein einzigartiger Natur-, Kultur- und Wirtschaftsraum; der Bodensee selbst ist einer der größten Trinkwasserspeicher Europas. In den letzten Jahrzehnten ist es durch vielfältige Schutzmaßnahmen und international koordinierte Anstrengungen gelungen, dass die in der Vergangenheit aufgetretene Eutrophierung deutlich zurückgegangen ist und sich die Wasserbeschaffenheit seit den 1990er Jahren wieder erheblich verbessert hat. Um die ökologische Stabilität des Sees weiterhin zu gewährleisten und den Anforderungen der Wasserwirtschaft und Trinkwasserversorgung gerecht zu werden, sind alle Beteiligten aufgefordert, sich aktiv mit den künftigen Entwicklungen auseinanderzusetzen. Neben Einfluss- und Störfaktoren, wie beispielsweise der Eintrag von anthropogenen Spurenstoffen oder die klimabedingten Änderungen und ihre Auswirkungen auf das Wasserdargebot (Quantität) und die Wasserbeschaffenheit (Qualität), stellt vor allem die massive Vermehrung und unerwartet schnelle Ausbreitung der sogenannten Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) eine ökologische Belastung des Bodensees dar. Zudem sind eine Vielzahl von Nutzern wie etwa Hafenbetreiber, Schifffahrtbetriebe oder die Wasserversorgungsunternehmen davon betroffen. Aufgrund der spezifischen Eigenschaften und der Adaptationsfähigkeit der Quaggamuschel ist zusätzlich zu der dauerhaften Besiedelung in oberflächennahen Bereichen von einem zunehmenden Vorkommen im Tiefenwasser auszugehen. Bei der Wassergewinnung und -aufbereitung können zudem durch Anhaftungen in den Entnahmesystemen und nachgeschalteten Verfahrenskomponenten hydraulische Beeinträchtigungen und unerwünschte Folgen nicht ausgeschlossen werden.

Diese Sachverhalte veranlassten bereits vor Jahren die Bodensee-Wasserversorgung (BWV) entsprechende Gegenmaßnahmen und Forschungsvorhaben anzustoßen. Ziel dabei war es, zusammen mit der Internationalen

Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB), der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR), dem DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) sowie mit verschiedenen Ingenieurbüros

- kritische Punkte und Wissensdefizite zu identifizieren,
- relevante Störgrößen zu konkretisieren, priorisieren und zu beurteilen sowie
- mögliche technisch umsetzbare Handlungsstrategien und Lösungsansätze zu erarbeiten (Abb. 1).

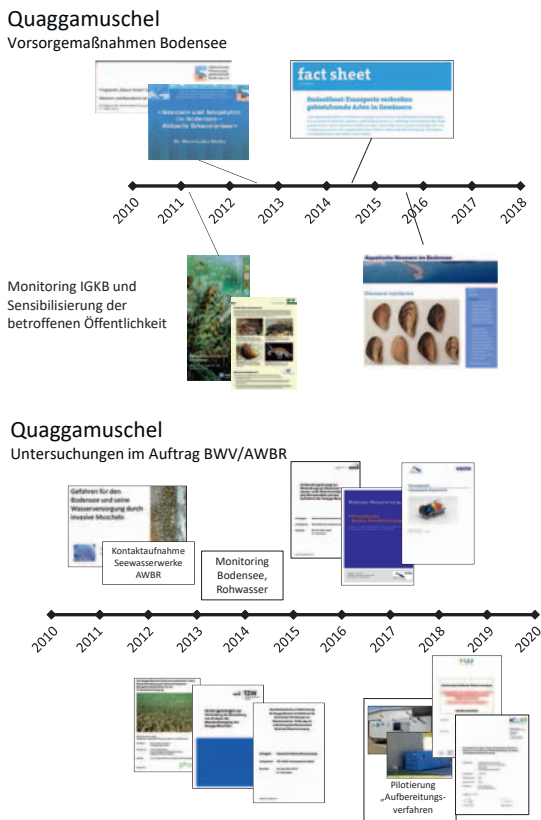


Abb. 1: Vorsorgemaßnahmen und Forschungsvorhaben „Zukunftsorientierte Entnahme- und Trinkwasseraufbereitung aus dem Bodensee“
oben: Ökologische Aspekte und Empfehlungen zur Verhinderung bzw. zum verzögerten Eintrag von Quaggamuscheln in den Bodensee
unten: Trinkwasserrelevante Aspekte und Voruntersuchungen, um unerwünschten Auswirkungen entgegenzuwirken

Es galt, zusätzlich zu den umweltbezogenen Fragestellungen frühzeitig Überlegungen in die weitere Vorgehensweise und Entscheidungsfindungen einzubeziehen, die bei einer Neubewertung des bislang bewährten, auf konventionellen Entnahme- und Aufbereitungstechniken ausgerichteten Multi-Barrieren-Systems zu berücksichtigen sind (Abb. 2).



Abb. 2: *Trinkwasserversorgung aus dem Bodensee oben: derzeitige Entnahme- und Aufbereitungstechniken, dargestellt am Beispiel der Bodensee-Wasserversorgung unten: Kriterien und Sachverhalte, die bei einer Neubewertung der Entnahme- und Aufbereitungssysteme zu berücksichtigen sind*

Vorkommen und Ausbreitung von Quaggamuscheln im Bodensee

Seit Beginn des IGKB-Monitoring-Programmes wurden die Ansiedelung einer Vielzahl an Neozoen im Bodensee und die damit einhergehenden Veränderungen innerhalb der Biozönosen beobachtet (Abb. 3). Die Ursachen hierfür sind vielfältig, wie beispielsweise die Einschleppung nicht heimischer Arten durch globalen Güter- und Reiseverkehr oder die mögliche Übertragung durch Wasservögel. Die Eroberung neuer Lebensräume wird dabei durch den Klimawandel, die Dominanz und das invasive Verhalten der „Eindringlinge“ gegenüber den „Einheimischen“ oder das Fehlen natürlicher Feinde begünstigt.

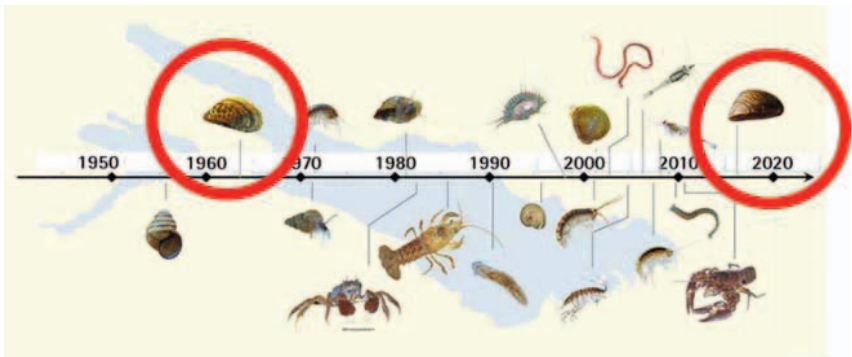


Abb. 3: Historische Entwicklungen zur Einschleppung und Ansiedelung von Neozoen (gebietsfremde Tiere) in den Bodensee

Während die Zebrauschel (*Dreissena polymorpha*) bereits seit 1965 die lichtdurchfluteten Bereiche des Bodensees besiedelt, wurden am 04.05.2016 bei Wallhausen in einer Tiefe von ca. 25 m erstmals adulte, d.h. mehrjährige Tiere von der nah verwandten Art der Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis*) entdeckt (Abb. 4).



Zebrauschel, *Dreissena polymorpha*

Herkunft:	Kaspische/Schwarze Meer
Verschleppung:	Schiffe, Wanderboote
Ansiedelung:	Hartsubstrate
Besiedelungsdichte:	< 100.000 Individuen/m ²
Besiedelungstiefe:	< 30 m
Reproduktionstemperatur:	10-12 °C
Reproduktionszeitraum:	Mai - September



Quaggamuschel, *Dreissena rostriformis*

Herkunft:	Schwarzmeergebiet
Verschleppung durch:	Schiffe, Wanderboote
Ansiedelung:	Hart- und Weichsubstrate
Besiedelungsdichte:	> 100.000 Tiere/m ²
Besiedelungstiefe:	> 150 m
Reproduktionstemperatur:	5-6 °C
Reproduktionszeitraum:	ganzjährig

Abb. 4: „Steckbriefe“ der Dreikantmuscheln „*Dreissena polymorpha*“ und „*Dreissena rostriformis*“

Bedingt durch ihre hohe Fortpflanzungsrate¹ und ihr aggressives Raumnutzungsverhalten (Abb. 5) kann das Vorkommen der Quaggamuschel heute im Bodensee als „flächendeckend“ bezeichnet werden.

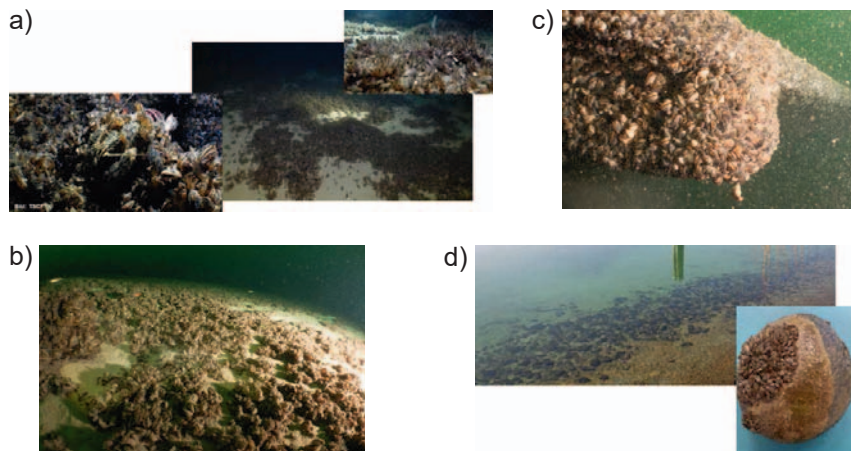


Abb. 5: Ausgewählte Beispiele zum Nachweis von Quaggamuscheln im Bodensee
a) Überlingen – Halde östlich Mantelhafen, Höhe Minigolfplatz, Tiefe ca. 6...15 m (Febr. 2018)
b) Tiefensteinbucht – Bereich Frasnacht, 9 m Tiefe (Juni 2018)
c) Verankerungsseil einer Plattform, Bewuchs innerhalb 9 Monaten (Juni 2018)
d) „Muschelbänke in Sipplingen – Uferbereich Promenade“ (Febr. 2019)

¹Laut Literaturangaben kann eine Muschel bis zu 1 Mio. Larven produzieren

Die strömungsbedingte Ausbreitung der Muschellarven ($40\ \mu\text{m} < \text{Durchmesser} < 300\ \mu\text{m}$) führte dazu, dass ihre Anzahl seit Untersuchungsbeginn auch im Bodenseewasser aus 60 m Tiefe zunehmend anstieg. Während 2014 lediglich in den Sommermonaten Werte von ca. 100 Individuen/ m^3 beobachtet wurden, waren ab Anfang 2018 ganzjährig Muschellarven nachweisbar. Der bisherige Maximalwert betrug ca. 2500 Larven/ m^3 (Abb. 6). Ähnliche Konzentrationsverläufe werden u.a. durch entsprechende Messungen der Stadtwerke St. Gallen und Konstanz oder des Instituts für Seenforschung, Langenargen (ISF), im Bodensee-Obersee bestätigt.

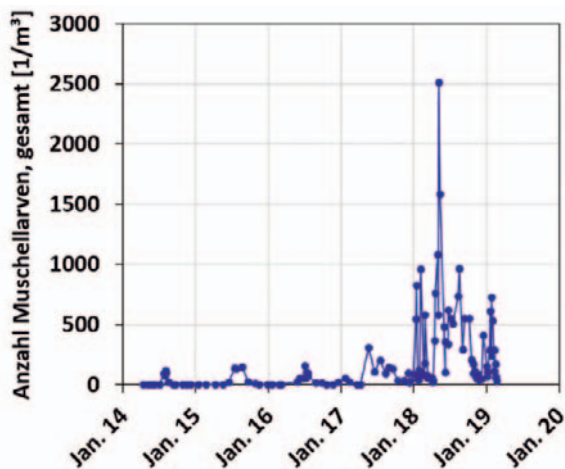


Abb. 6: Gesamtanzahl an Muschellarven im Bodenseewasser aus 60 m Tiefe (Entnahmestelle Bodensee-Wasserversorgung)
 Erste grobe Abschätzungen ergaben, dass ca. 50% der Muschellarven zur Metamorphose² befähigt sind

Besiedelung technischer Komponenten der Wasserentnahme und Trinkwasseraufbereitung mit Quaggamuscheln

2018 entnahmen die Seewasserwerke ca. 184,5 Mio. m^3 Wasser aus dem Bodensee zu Trinkwasserzwecken. Unter der Annahme, dass im Mittel weniger als 100 Muschellarven/ m^3 zur Metamorphose befähigt

²Umwandlung vom Larvenstadium zu Muscheln

sind, wurden somit mehrere Milliarden dieser Organismen in die technischen Anlagekomponenten eingetragen, die sich potenziell als Muschel an die wasserführenden Wandungen anhaften können. Wie am Beispiel der BWV bzw. der Regionalen Wasserversorgung St. Gallen (RWSG, Wasserwerk Frasnacht) gezeigt werden kann, sind hiervon vor allem die Entnahmekörbe und -leitungen sowie die vorgelagerten Behälter, Rohwasserpumpen und Aufbereitungsverfahren betroffen (Abb. 7, Abb. 8).

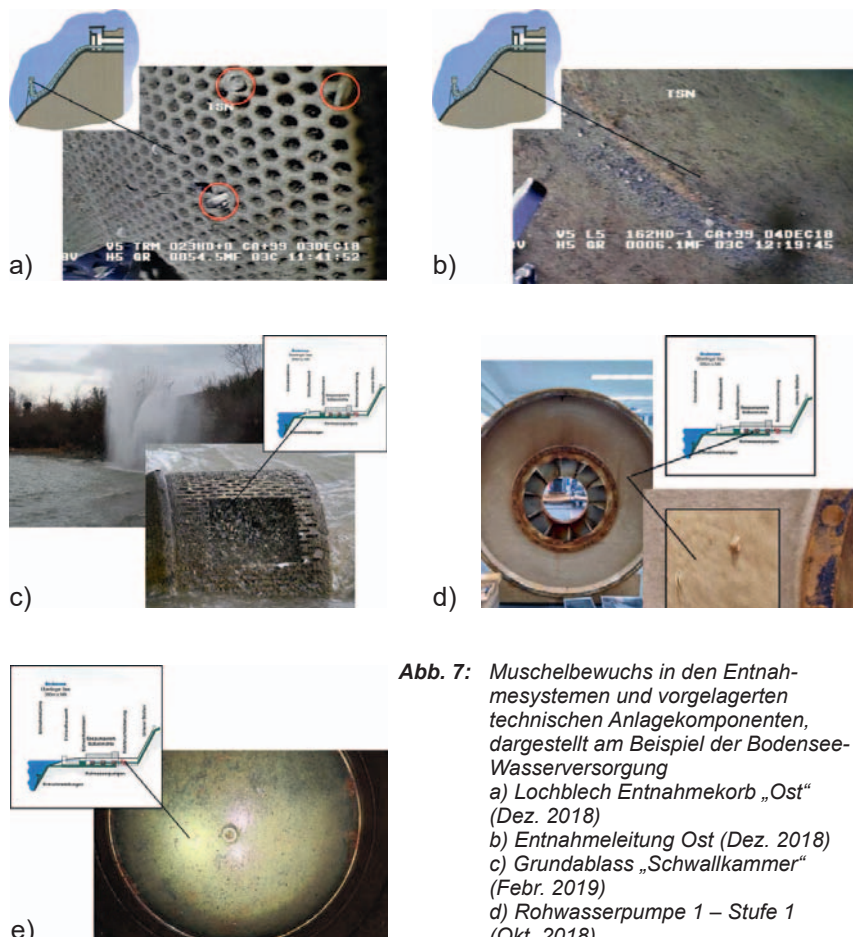


Abb. 7: Muschelbewuchs in den Entnahmesystemen und vorgelagerten technischen Anlagekomponenten, dargestellt am Beispiel der Bodensee-Wasserversorgung

- a) Lochblech Entnahmekorb „Ost“ (Dez. 2018)
- b) Entnahmeleitung Ost (Dez. 2018)
- c) Grundablass „Schwallkammer“ (Febr. 2019)
- d) Rohwasserpumpe 1 – Stufe 1 (Okt. 2018)
- e) Rohrbruchsicherung „Druckleitung Seepumpwerk – Sipplinger Berg“ (Okt. 2018)



Abb. 8: Muschelbewuchs in der Entnahmeleitung der Regionalen Wasserversorgung St. Gallen (RWSG), Seewasserwerk Frasnacht (Sept. 2018)

Regelmäßige Druckmessungen, die bei der Rohwasserentnahme und -förderung durchgeführt werden, zeigen jedoch weder bei der BWV noch bei der RWSG bislang hydraulische Auffälligkeiten oder Beeinträchtigungen. Wie sich am Beispiel der regelmäßigen Reinigung der Schwallkammer der BWV erkennen lässt, kann der Muschelbewuchs an betroffenen Anlagenteilen durch derartige Maßnahmen signifikant verringert werden (Abb. 9).



Abb. 9: Signifikante Verringerung des Muschelbewuchses durch regelmäßige Reinigung der Schwallkammerwände
links: Anhaftung von Muscheln auf einer Wandfläche ohne Reinigung (Prüfrahmen)
rechts: Wandfläche ca. 3 Monate nach der letzten Reinigung

Trotz aller rohwasserseitigen Vorsorgemaßnahmen, die einem Anhaften der Muscheln entgegenwirken, kann ein Larvendurchbruch in die nachgeschalteten Behälter und Aufbereitungsstufen (Quellbecken, Mikrosiebung, Ozonung) jedoch nur bedingt verhindert werden. Durch weitergehende Maßnahmen, wie etwa die ¼-jährliche Reinigung des Quellbeckens und der Mikrosiebkammern, dem Abdichten der Mikrosiebtrommeln sowie dem sofortigen Ersatz defekter Mikrosiebgewebe wurde zwischenzeitlich ein Rückhaltegrad an Muschellarven von ca. 99% (2 Log-Stufen) – bezogen auf die Gesamtanzahl im Rohwasser – erreicht. Um ein Vordringen der am Boden der Ozonzwischenbehälter nachgewiesenen Muscheln bzw. Muschellarven zu verhindern, werden die Ablagerungen in den wenig durchströmten Bereichen regelmäßig entfernt. Derartige Zusatzaufgaben führen im laufenden Betrieb zu einem personellen und finanziellen Mehraufwand. Die Bodensee-Wasserversorgung hat hierzu vier zusätzliche Mitarbeiter eingestellt.

Dass bei der BWV bislang weder im Reinwasserbehälter noch im zur Verteilung gelangenden Trinkwasser Muschellarven bzw. Muscheln nachgewiesen wurden, ist auf die oxidative Wirkung der Ozonung auf die in der freien Wasserphase befindlichen Muschellarven sowie auf die effiziente Wirksamkeit der Fe(III)-Salz unterstützten Filtration zurückzuführen (Abb. 10).

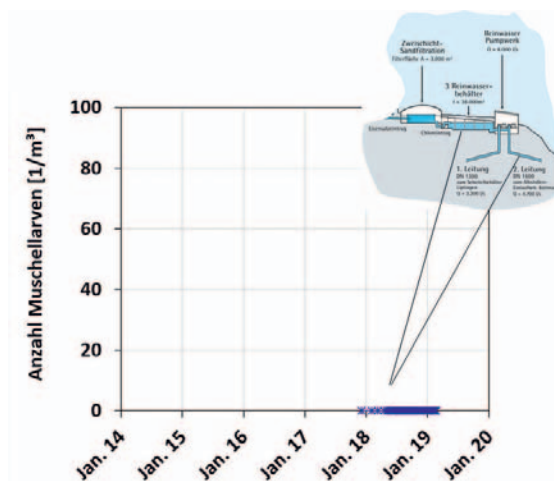


Abb. 10: Bodensee-Wasserversorgung: kein Nachweis von Muscheln bzw. Muschellarven, weder im Reinwasserbehälter noch im zur Verteilung gelangenden Trinkwasser

Eckpunkte und Anpassungsstrategien zur zukunftsorientierten Trinkwasserversorgung aus dem Bodensee

Spätestens mit dem erstmaligen Fund von Quaggamuscheln im Bodensee war allen bewusst, dass trotz der anfänglich subjektiven Einschätzungen bereits heute richtungweisende Entscheidungen von mehreren Dekaden zu treffen sind. Mit der gebotenen Dringlichkeit galt es, im Sinne einer gesamtheitlichen, präventiven und strategisch ausgerichteten Betrachtungsweise weitergehende Überlegungen anzustellen, die es erlauben,

- der erkannten „Verwundbarkeit“ in der Wassergewinnung und -aufbereitung entgegenzuwirken,
- den notwendigen und dringlich erforderlichen Handlungs- und Optimierungsbedarf zu ermitteln sowie
- aufbauend auf den Prinzipien der Vorsorge und Nachhaltigkeit angemessene und praktikable Anpassungsstrategien zu erarbeiten.

Die Erkenntnisse, die bislang aus der kritischen Überprüfung aller entnahme- und aufbereitungsrelevanten Parameter gewonnen wurden, bildeten dabei die Basis für die Planung und Umsetzung von ad-hoc-Maßnahmen und die Überlegungen zur mittel-/langfristigen Neuausrichtung (Abb. 11).

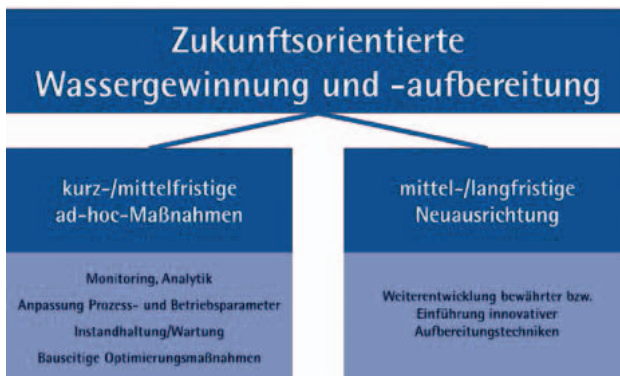


Abb. 11: Zukunftsorientierte Wassergewinnung und -aufbereitung aus dem Bodensee, dargestellt am Beispiel der Bodensee-Wasserversorgung
Insgesamt stehen für die Sofortmaßnahmen und unvorhersehbare Ereignisse/Störfälle finanzielle Mittel in Höhe von 0,5 Mio./a bzw. für bauseitige Investitionsmaßnahmen bis 2022 rund 9 Mio. Euro zur Verfügung

Anhand ausgewählter Beispiele wird im Folgenden auf die Maßnahmen der BWV und mögliche Lösungsansätze näher eingegangen. Die skizzierten Ausführungen sind als Diskussionsgrundlagen und Orientierungshilfen anzusehen, die – basierend auf dem heutigen Wissensstand – plausibel erscheinen. Darüber hinaus bieten sie Denkanstöße, sich mit den zu erwartenden Herausforderungen kritisch auseinanderzusetzen, um die damit verbundenen Chancen verstärkt zu nutzen bzw. die Risiken zu minimieren.

Ad-hoc-Maßnahmen zur kurz- bis mittelfristigen Sicherung der Wassergewinnung und -aufbereitung

Beispiel „Analytik“: Entwicklung einer Probenahme- und Untersuchungsmethode zur Bestimmung von Muschellarven

Wie aus den eingangs skizzierten Ausführungen abgeleitet werden kann, ist perspektivisch ein verstärktes Aufkommen von Quaggamuscheln bzw. -larven im Bodenseewasser sowie eine unerwünschte Besiedelung der technischen Anlagekomponenten zu erwarten. Daher lag es nahe, zunächst eine Probenahme- und Analysenmethode zu erarbeiten, mit der routinemäßig sowohl die räumliche und zeitliche Entwicklung der Verbreitung der Muschellarven als auch deren physiologischer Zustand („vital“ – „nicht vital“) charakterisiert und bewertet werden kann (Abb. 12).

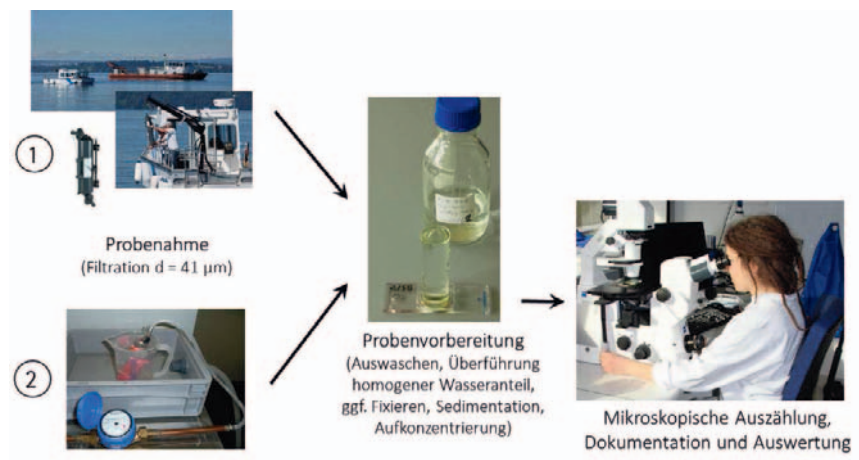


Abb. 12: Probenahme- und Analysenmethode zur Bestimmung und Beurteilung der räumlichen und zeitlichen Entwicklung von Muschellarven im Bodenseewasser bzw. während der Aufbereitung

Um die Larvenanzahl quantifizieren zu können, bedarf es bei der Probenahme zunächst einer Aufkonzentrierung der partikulären Inhaltsstoffe aus einer mittels Durchflussmessung definierten Wassermenge³. Hierzu werden sogenannte Planktonnetze bzw. Netzbecher (Maschenweite: 41 µm) eingesetzt und die darin zurückgebliebenen Inhaltsstoffe in eine Glasflasche mit Schraubverschluss (Inhalt 500 mL) überführt. Während bei einer „lebend-tot“-Unterscheidung keine Abtötung der Larven mit Lugol'scher Lösung erfolgen darf, ist bei einer zeitlich versetzten Aufarbeitung der Proben eine entsprechende Fixierung erforderlich. Im Anschluss an die Sedimentation der Feststoffe wird der „klare“ Überstand aus der Flasche dekantiert, das Volumen des Konzentrats gravimetrisch bestimmt und ein homogener Anteil davon in ein Basisröhrchen mit Zählkammer (10 oder 50 mL) eingefüllt. Zur Absicherung der Ergebnisse sind Doppelbestimmungen sinnvoll. Den Abschluss der Untersuchungen bildet nach der mikroskopischen Auszählung der Larvenanzahl (doppelpolarisiertes Licht bzw. Hellfeld mit einem Polfilter, 200-fache Vergrößerung) die quantitative Auswertung unter Beachtung der jeweils verwendeten Wasservolumina (Abb. 13).

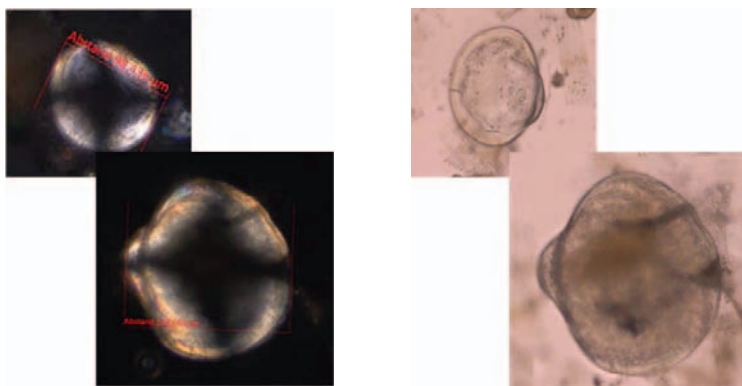


Abb. 13: Mikroskopische Aufnahmen von Muschellarven im Bodenseewasser links: Unter doppelpolarem Licht sind die Larven bei 200-facher Vergrößerung durch ihre typisch leuchtenden Körper mit Kreuz zu erkennen rechts: Im Hellfeld (ein Polfilter) kann verhältnismäßig einfach zwischen dem Zustand „Larven leer“ und „Larven gefüllt“ unterschieden werden. Sind darüber hinaus weitergehende Kenntnisse zum physiologischen Zustand der Larven erwünscht, sind die unfixierten Proben innerhalb weniger Stunden im Hellfeld zu untersuchen. Lebende Larven zeichnen sich hierbei u.a. durch die Bewegung/Aktivitäten im Weichkörper aus.

³In Abhängigkeit vom Feststoffanteil im zu untersuchenden Wasser (z.B. Rohwasser, Trinkwasser,...) werden Volumina zwischen 500 und 2000 L filtriert

Beispiel „Anpassung der Prozess- und Betriebsparameter“: Erhöhung der Ozonexposition⁴ und Optimierung der Strömungsverhältnisse in den Ozonzwischenbehältern

Die Ozonung wird seit Jahrzehnten bei den Seewasserwerken am Bodensee erfolgreich eingesetzt und dient vor allem der Abtötung/Inaktivierung von pathogenen Mikroorganismen und der Oxidation anorganischer und organischer Inhaltsstoffe. Die desinfizierende Wirkung trägt somit in hohem Maße auch zu einer Schädigung der Muschellarven bei. Insofern ist es zielführend, die Ozonexposition zu erhöhen. Während eine Anhebung der Ozonzugabemenge⁵ bereits im April 2018 von ca. 1,2 auf etwa 1,3 mg/L erfolgte, wird spätestens 2020 die Optimierung der hydraulischen Verhältnisse im Ozonzwischenbehälter abgeschlossen sein (Abb. 14). Mit dem Einbau von Leitwänden können dann Kurzschlussströmungen weitgehend verhindert bzw. die Reaktionszeiten signifikant verlängert werden.

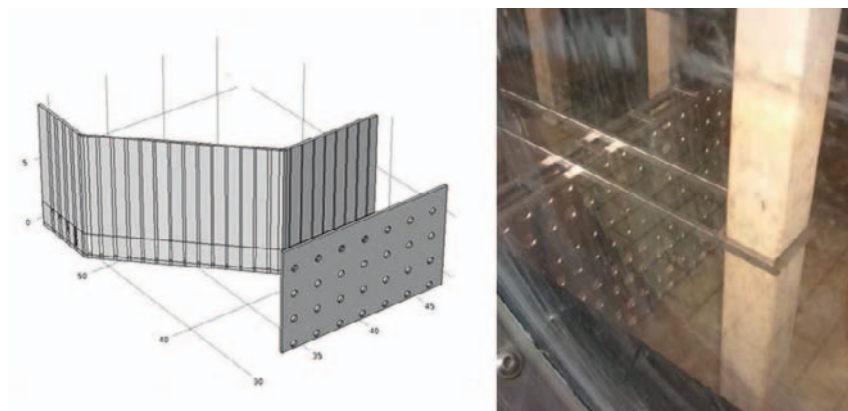


Abb. 14: Einbau von Leitwänden in den Ozonzwischenbehältern zur Optimierung der Strömungsverhältnisse und Verlängerung der Reaktionszeit
Zusammen mit einer Erhöhung der Ozonzugabemenge lässt sich die schädigende Wirkung der Ozonexposition auf die Muschellarven signifikant verbessern

⁴Ozonexposition = Ozonkonzentration x Einwirkdauer

⁵Dies entspricht einer Änderung der für die Regelung relevanten Ozonkonzentration am Ausgang des Hauptmischers von 0,68 auf 0,75 mg/L.

Beispiel „Instandhaltung/Wartung“: Festlegung der erforderlichen zeitlichen Reinigungsintervalle

Wie aus der Literatur sowie den in Kap. 3 aufgezeigten Beispielen bekannt ist, sind juvenile Muscheln ab einer Größe von ca. 0,3 bis 0,5 mm in der Lage, unter Ausbildung sogenannter Byssusfäden sich u.a. an Hartsubstraten (z.B. Steinen, Wandoberflächen, Rohrwandungen, ...) anzuhaften. Adulte Tiere sind fähig, sich in hohem Maße zu reproduzieren. Um die im worst-case-Fall resultierende „in-situ-Fortpflanzung“ sowie die damit verbundenen unerwünschten Auswirkungen minimieren zu können, bedurfte es einer Abschätzung der erforderlichen zeitlichen Reinigungsintervalle. Hierzu wurden zunächst in der Schwallkammer die Wachstumsraten der Muscheln über einen Zeitraum von etwa 5 Monaten ermittelt (Abb. 15).

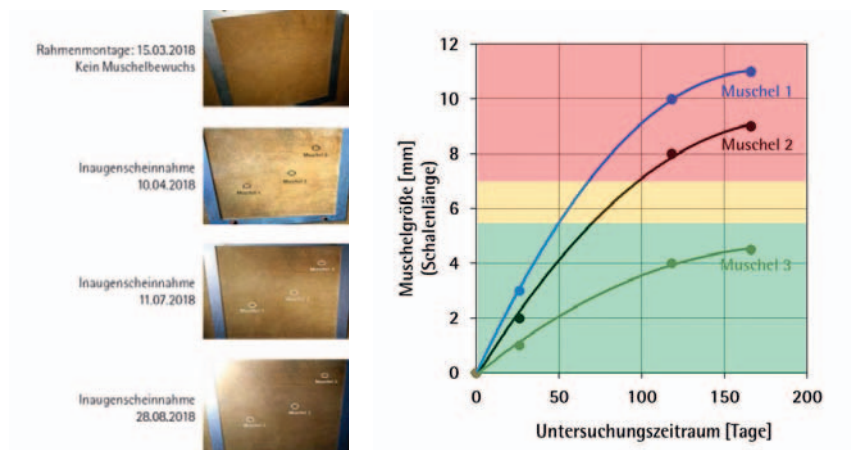


Abb. 15: Ermittlung der Wachstumsraten von ausgewählten Quaggamuscheln unter der gegebenen Beschaffenheit des Bodenseewassers aus 60 m Tiefe und den Strömungsbedingungen in der Schwallkammer der BWV

Danach ist davon auszugehen, dass in Abhängigkeit von der „körperlichen Verfassung“, den jeweiligen Strömungsbedingungen und dem Nahrungsangebot ein Wachstum zwischen 0,3 bis 1 mm pro Woche zu erwarten sind. Für die Festlegung von Reinigungsintervallen ist

allerdings auch die Kenntnis derjenigen Größe/Schalenslänge erforderlich, bei der erstmals eine potenzielle Vermehrung möglich ist. Die im Institut LimnoMar, Hamburg, durchgeführten histologischen Untersuchungen zielten demzufolge darauf ab, den Gonadenstatus beider Geschlechter zu diagnostizieren. Hierzu wurden bei insgesamt 110 Muscheln mit einer Größe von ca. 2 bis 20 mm entsprechende Gewebeschnitte angefertigt (Abb. 16).

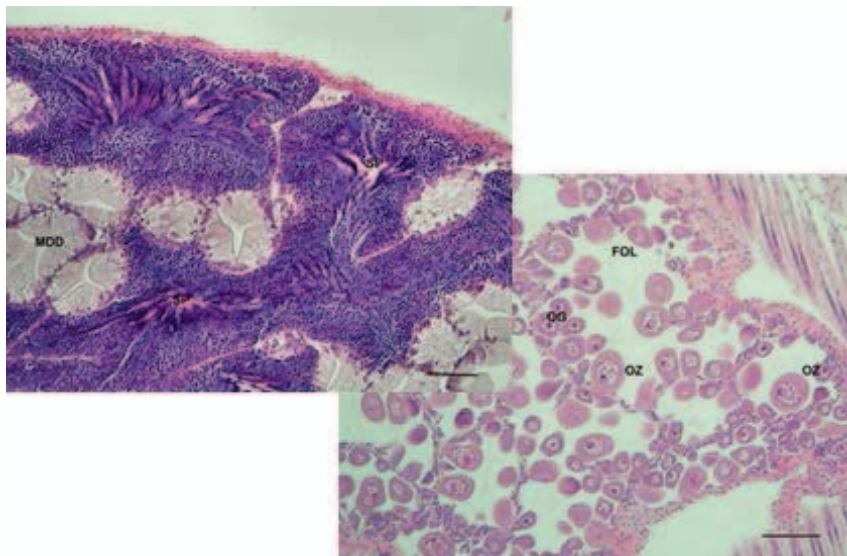


Abb. 16: Beispiel von Gewebeschnitten der Geschlechtsteile von Quaggamuscheln vor dem Ablaichen
links: Männchen mit Testis (Hoden), gefüllt mit reifen Spermien
rechts: Weibchen mit Ovar (Eierstock), gefüllt mit reifen Oozyten und unreifen Oogonien

Aus den Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass sowohl weibliche als auch männliche Muscheln bereits ab einer Schalenslänge von 6...7 mm reife „Geschlechtsteile“ aufweisen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen kann somit abgeleitet werden, dass die Reinigung der Anlagekomponenten mindestens alle 2-3 Monate erfolgen sollte.

Beispiel „Bauseitige Optimierungsmaßnahmen“: Einbau eines mobilen Vorhebepumpwerks zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bei geringem Wasserstand des Bodensees

Die BWV entnimmt das Bodenseewasser in 60 m Tiefe. Die Entnahmeköpfe und -leitungen sind dabei so angeordnet, dass möglichst günstige hydraulische Verhältnisse und geringe Energieverluste beim Wassereintritt bzw. bei der Wasserförderung resultieren. Ein Molchen der Entnahmeleitungen ist jedoch aufgrund verschiedener Einbauten bzw. bauartbedingt nicht möglich. Den unterhalb des Wasserspiegels liegenden Rohwasserpumpen ist ein Ausgleichsbehälter, die sogenannte Schwallkammer, vorgeschaltet. Während bislang selbst bei Spitzenabgaben keine Beeinträchtigungen hinsichtlich der Versorgungssicherheit zu besorgen waren, wäre es im Falle von Niedrigwasserständen und gleichzeitig zunehmenden Reibungswiderständen nur noch bedingt möglich, die maximale Fördermenge zu gewährleisten. Zudem wäre bei derartigen Verhältnissen eine erhöhte Anfälligkeit der Rohwasserpumpen gegenüber Kavitationserscheinungen nicht auszuschließen. Um kurz- bis mittelfristig mögliche Kapazitätsengpässe zu vermeiden, ist geplant, im Einlaufkanal der Schwallkammer ein mobiles Vorhebepumpwerk zu installieren, das bei Bedarf jederzeit zugeschaltet werden kann (Abb. 17).

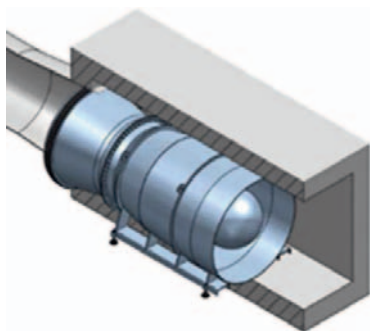


Abb. 17: Geplanter Einbau eines „mobilen“ Vorhebepumpwerks zur Erhöhung der Versorgungssicherheit, das im Bedarfsfall bei geringem Seewasserstand und erhöhten Reibungswiderständen zugeschaltet werden kann

Neuausrichtung der Wassergewinnung und -aufbereitung aus dem Bodensee

Trinkwasser muss nach den geltenden Rechtsvorschriften so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit nicht zu besorgen ist. Neben der Einhaltung von mikrobiologischen und physikalisch-chemischen Qualitätskriterien wird u.a. gefordert, dass bei Feststellung oder Annahme von hygienischen Belastungen des Rohwassers eine Aufbereitung, erforderlichenfalls unter Einschluss einer Desinfektion, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erfolgen muss. Insofern stellen sich im Kontext mit den zukünftig zu erwartenden Rahmenbedingungen und Anforderungen folgende Fragen:

- Welche Gesamtkapazität muss zukünftig vorgehalten werden?
- Welche Entnahmesysteme und Aufbereitungskonzeptionen sind erforderlich?
- Welche Redundanz der technischen Anlagekomponenten ist für Wartung/Instandhaltungsmaßnahmen bzw. unvorhersehbare Stör-/Ereignisfälle einzuplanen?

Zur Abklärung dieser Fragen wurde eine technische Machbarkeitsstudie in Auftrag gegeben, die Anfang 2019 abgeschlossen werden konnte. Die einzelnen Aufgaben wurden dabei von dem Ingenieurbüro H2U, Neukirchen-Vluyn, zunächst systematisch gegliedert und anschließend unter Berücksichtigung der BWV-spezifischen Standortbedingungen und dem Stand der Technik in aufeinander aufbauenden Einzelschritten abgearbeitet:

- Überprüfung der Voruntersuchungen und Festlegung der Randbedingungen (Ist-Zustand)
- Erarbeitung denkbarer Lösungen, unterteilt in „funktionale Bereiche“ bzw. „funktionale Einheiten“
- Vorauswahl zielführender Aufbereitungsverfahren
- Zusammenstellung von Verfahrens- und Standortvarianten
- Nutzwertanalyse der einzelnen Varianten

- Sensitivitätsanalyse der Bewertungsmatrix mit Auswahl der „Vorzugsvariante“
- Vertiefende Betrachtung zu technischen und standortspezifischen Umsetzungsmöglichkeiten
- Kostenabschätzung und Aufstellung eines groben Zeitplans

Ohne im Detail auf die sehr umfangreich und ausführlich dargestellten Sachverhalte einzugehen, konnten strategische Ansätze, konzeptionelle Handlungsoptionen sowie nachvollziehbare und plausible Entscheidungskriterien aufgezeigt werden. Es wird ein Entnahmesystem empfohlen, das zukünftig aus mehreren Leitungen besteht und mit möglichst wenig Aufwand mechanisch gereinigt werden kann. Die vorzugsweise im Uferbereich angeordnete Aufbereitung ist vor allem auf eine weitergehende Partikelentfernung auszurichten. Unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Technik ist im vorliegenden Fall hierfür eine Ultrafiltration einzusetzen. Um während der Bauphase die Beeinträchtigungen für den „laufenden Betrieb“ zu minimieren und eine erhöhte Ausfallsicherheit zu erreichen, wird

- eine Aufteilung der bisherigen Anlagenkapazität in drei unabhängige Teile,
- der Aufbau der Anlagen in voneinander abgesetzten Standorten einschließlich einer zusätzlichen Verbindungsleitung zum Sipplinger Berg sowie
- im „Notfall“ eine Möglichkeit zur Umfahrung der bestehenden Aufbereitungsanlage „Sipplinger Berg“

als zielführend angesehen. Die vorhandenen Ozonanlagen sollen weiterhin zur oxidativen Umsetzung von gelösten natürlichen und anthropogenen Inhaltsstoffen genutzt werden. Optional besteht nach Abschluss aller Baumaßnahmen die Möglichkeit, bei Bedarf die bislang zur Partikelrückhaltung eingesetzte Filtrationsstufe in ein adsorptiv wirkendes Aufbereitungsverfahren (Aktivkohle) umzurüsten bzw. die Desinfektion des Wassers durch eine UV-Bestrahlung sicherzustellen (Abb. 18).

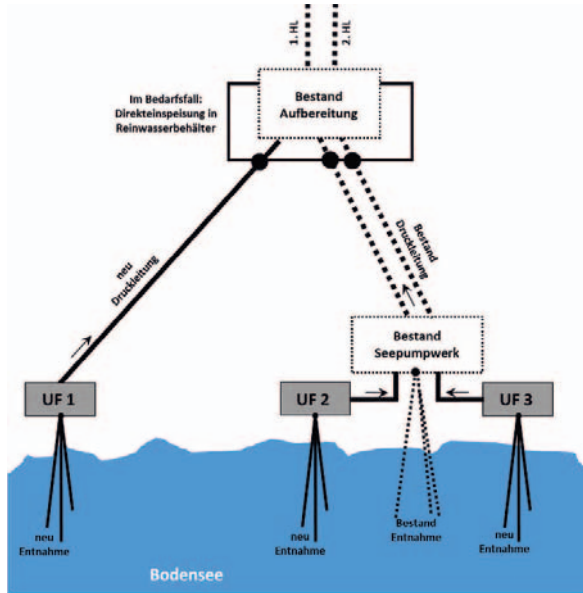


Abb. 18: Ergebnis der technischen Machbarkeitsstudie (empfohlene Vorzugsvariante): Einsatz von 3 zusätzlichen Ultrafiltrationseinheiten (UF) im Uferbereich mit jeweils autarken Entnahmeleitungen und Druckleitungen zur Aufbereitungsanlage „Siplinger Berg“
Schematische Darstellung einer möglichen zukünftigen Entnahme- und Aufbereitungskonzeption

Selbst bei unmittelbarem Planungsbeginn und einer zügigen Abwicklung der Genehmigungsverfahren ist – Stand heute – mit der Errichtung der ersten Aufbereitungseinheit frühestens 2026 zu rechnen. Der Bau der dritten Ultrafiltrationseinheit könnte bei optimalem Verlauf im Jahre 2032 abgeschlossen werden. Eine erste grobe Abschätzung, die alle o.g. Maßnahmen beinhaltet, ergab einen Kostenrahmen im unteren/mittleren dreistelligen Millionen-Bereich, was langfristig zu einer entsprechenden Erhöhung des spezifischen Wasserpreises führen wird.

Sowohl die Gremien des Zweckverbandes (Verbandsversammlung, Verwaltungsrat) als auch die zuständigen Behörden (z.B. Umweltministerium Baden-Württemberg, Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, Regierungspräsidium Tübingen, ...) wurden bzw. werden regelmäßig und zeitnah über den aktuellen Sachstand sowie die

geplante Vorgehensweise informiert. Darüber hinaus wurde eigens zur Abwicklung des Gesamtvorhabens ein Projektleiter eingestellt, der mit einem externen Projektsteuerer die vorgeschriebenen Genehmigungs- und Ausschreibungsverfahren samt Bauablauf koordiniert und umsetzt.

Im Jahre 2018 wurde mit Pilotierungsversuchen im halbtechnischen Maßstab begonnen, um unter praxisnahen Bedingungen weiterführende Erkenntnisse zu gewinnen, mit denen die Wirksamkeit, Zuverlässigkeit und Grenzen der ausgewählten Verfahren

- Ultrafiltration
- Sandfiltration
- Spaltsieb
- UV-Bestrahlung
- CO₂-Zugabe

beschrieben und beurteilt werden können. In enger Zusammenarbeit zwischen der Bodensee-Wasserversorgung (BWV), dem DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW), der Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) sowie verschiedenen Herstellerfirmen sollen vor allem die optimalen Betriebs- und Prozessparameter einer Ultrafiltration ermittelt werden (Abb. 19). Mit ersten Ergebnissen ist Ende 2019 zu rechnen.



Abb. 19: Halbtechnische Versuchsanlagen zum Nachweis der Wirksamkeit, Zuverlässigkeit und Grenzen von bewährten bzw. innovativen Verfahrensstufen

Die jeweiligen Aufbereitungsverfahren werden mit Bodenseewasser aus einer Tiefe von 60 m betrieben. Neben den mikroskopischen und physikalisch-chemischen Untersuchungen lässt sich ihre Funktionalität dadurch überprüfen, dass in regelmäßigen Abständen die Anhaftung von Larven und das Wachstumsverhalten von Muscheln auf definierten Flächen augenscheinlich kontrolliert wird. Die Steuerung und Regelung der Anlagen, die Überwachung der Prozessparameter und die Dokumentation der Online-Messergebnisse (z.B. Wasserdurchsatz, Druckveränderungen, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, pH-Wert, ...) erfolgen über eine entsprechende Software via Internet.

Abschließende Bemerkungen

Die Wasserversorgungsunternehmen am Bodensee sind sich seit jeher ihrer Verantwortung und Verpflichtung bewusst, die sie im Rahmen der kommunalen Daseinsvorsorge übernommen haben: jederzeit Trinkwasser in ausreichender Menge und in hygienisch einwandfreier Beschaffenheit bei nachhaltiger Nutzung der eingesetzten Ressourcen und einem günstigen Preis zur Verfügung zu stellen. Vielfach sind es die Einflüsse und Störfaktoren von außen, die ihre Gestaltungsspielräume definieren, wie z.B. die beobachteten Veränderungen der Wasserbeschaffenheit durch unerwünschte Stoffeinträge, die quantitativen und qualitativen Auswirkungen des Klimawandels, die Bevölkerungsentwicklung, das jeweilige Wasserdargebot (Grundwasser, Oberflächenwasser), der pro-Kopf- und Spitzenbedarf oder unvorhersehbare Stör-/Ereignisfälle. Um auch in Baden-Württemberg weiterhin eine gesicherte Trinkwasserversorgung gewährleisten zu können, ist es daher unabdingbar, sich heute auf die Herausforderungen von morgen vorzubereiten. Es bedarf klarer Zieldefinitionen innerhalb der gesamten Prozesskette „Gewässerschutz – Wassergewinnung – Wasseraufbereitung – Wasserverteilung/-speicherung“ sowie einer langfristigen und strategischen Weiterentwicklung der bewährten dreigliedrigen Versorgungsstruktur „Ortswasser – Gruppenwasser – Fernwasser“. Die Trinkwasserversorger begrüßen daher den „Masterplan 2050: Trinkwasserversorgung Baden-Württemberg“

des Umweltministeriums und des Ministeriums für ländlichen Raum. Sie unterstützen das Vorhaben des Landes, den künftigen Bedarf an Trinkwasser und an die Infrastruktur im Hinblick auf die Folgen des Klimawandels zu analysieren und eine Datengrundlage als Basis für eine künftige sichere Versorgung der Bevölkerung mit dem wichtigsten Lebensmittel, dem Trinkwasser, zu schaffen.

