



energie | wasser-praxis

# Wasserforschung zur Anpassung an den Klimawandel

Beiträge aus der DVGW energie | wasser-praxis



Forschung zum Anpassung an den Klimawandel

## Klimawandelanpassung für Talsperrenbetreiber

— Maßnahmenimulationen am Beispiel der Großen Dhünnertalsperre

In Rahmen der von der EU geförderten Forschungsprojekte SPAD wurden verschiedene Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Stromerzeugung untersucht. In einer Fallstudie an der Großen Dhünnertalsperre in Süddeutschland werden dazu Maßnahmen zur Reduktion des Hochwasseranfangsrisikos, des Hochwasseranfangsrisikos und des Hochwasseranfangsrisikos diskutiert. Der Fachbeitrag enthält u. a. die Methoden der Vorhersage und die Ergebnisse.

von Oliver Lieb, Andreas Hein, Doris BW, Jochen Rhein, Marc Scheibel, Peter Lura (alle: Wasserverbände & Prof. Andrea Volpert (TU Darmstadt))

Die Sommerperioden der zurückliegenden Jahre 2006, 2019 und 2020 haben gezeigt, dass auch die Talsperren in Deutschland bei längeren, anhaltenden Trockenperioden durch geringere Wassermengen in den Talsperren mit steigendem Durchflussrisiko konfrontiert werden können. Dies führt zu einer Verringerung der Stromerzeugung und damit zu einer Verringerung der Flexibilität der Talsperrenbetreiber. In diesem Beitrag werden verschiedene Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Stromerzeugung untersucht. In einer Fallstudie an der Großen Dhünnertalsperre in Süddeutschland werden dazu Maßnahmen zur Reduktion des Hochwasseranfangsrisikos, des Hochwasseranfangsrisikos und des Hochwasseranfangsrisikos diskutiert. Der Fachbeitrag enthält u. a. die Methoden der Vorhersage und die Ergebnisse.

... von ...

## WASSER IN BESTFORM

Erstellen Sie jetzt dieses einzigartige Fachbuch  
[www.kammerngroup.com/webshop](http://www.kammerngroup.com/webshop)  
KAG Internationale Akademie für Baden, Sport und Freizeit



2020 Energie | wasser-praxis

# Von der Prognose zur Realität: heute für die Zukunft planen

Das Jahr 2020 ist nicht nur das Corona-Jahr, aus Sicht der Wasserversorgung ist es auch das dritte Trockenjahr in Folge. Bereits das Jahr 2018 war mit seinen außergewöhnlich langen Hitzeperioden und geringen Niederschlägen eine Herausforderung für einige Trinkwasserversorger. Zur Besorgnis der Branche trugen die Prognosen bei, dass solche extremen Trockenphasen in Zukunft häufiger auftreten könnten. Und nun ist das Aufeinanderfolgen mehrerer Trockenjahre kein theoretisches „Worst-Case“-Szenario mehr, sondern Realität geworden.

Als Folge bemerken wir in manchen Regionen tatsächlich reale Veränderungen im Wasserdargebot, sowohl bei Oberflächengewässern als auch im Grundwasser. Ein längerfristiges Absinken von Talsperrenfüllständen ist keine Fiktion mehr und auch bei Wasserqualität und -temperatur können wir Veränderungen beobachten. All dies hat nicht nur Folgen für die Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung, mit der Veränderung von Temperatur und Nährstoffgehalt sind auch Änderungen im Aufkeimungspotenzial und damit hygienische Risiken verbunden.

Der Klimawandel ist also eine ernste Herausforderung, der wir mit Anpassungen entlang der gesamten Prozesskette der Wasserversorgung begegnen müssen. Als Grundlage dafür benötigen wir einen Dreiklang aus verbessertem Prozessverständnis, zuverlässigen Prognosewerkzeugen und neuen technischen und organisatorischen Lösungen. Beim Prozessverständnis steht der Einfluss unterschiedlicher klimatischer Faktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Entwicklung des Wasserdargebots sowohl in Bezug auf die Menge als auch die Qualität im Vordergrund. Als Eingangsgröße werden Klimaprojektionen benötigt, deren zeitliche und räumliche Auflösung an den Bedarf der Wasserwirtschaft angepasst sind. In der darauf aufsetzenden Betrachtung der hydrologischen und hydrochemischen Auswirkungen auf Einzugsgebietsebene ist eine sektoren- und disziplinübergreifende Perspektive gefordert, die auch Auswirkungen des Klimawandels z. B. auf Vegetation, Landwirtschaft und andere Branchen betrachtet und die korrelierenden Effekte auf den Wasserhaushalt identifiziert. Auf dieser Basis können bessere Prognosewerkzeuge für die Entwicklung von Wasserdargebot und sektoralem Wasserbedarf entwickelt und Ansatzpunkte für technische und organisatorische Lösungen entwickelt werden.

Neue technologische Lösungen werden z. B. dann benötigt, wenn zur Vermeidung von

Engpässen und zur Entschärfung von Nutzungskonflikten bisher ungenutzte Ressourcen erschlossen werden sollen. Dabei kann es sich einerseits um bisher wegen unerwünschter Inhaltsstoffe (z. B. Nitrat, Sulfat) nicht genutzte Wässer handeln. Andererseits sind aber auch Ansätze zur Ermöglichung von Wasserwiederverwendung für Brauchwasserzwecke zu prüfen. Die Forschung hat hier die spannende Aufgabe, sich solcher durchaus kontroversen Themen anzunehmen und die fachlichen Entscheidungsgrundlagen zu schaffen.

Die Lösungen müssen dabei nicht nur technischer Natur sein. Für einen Ausgleich verschiedener Nutzungsansprüche an den Wasserhaushalt unter sich ändernden Rahmenbedingungen werden auch neue Lösungen für die Konsensfindung sowie langfristige lokale und regionale Konzepte benötigt, wie die Bedarfe im gesamtgesellschaftlichen Kontext gedeckt werden können, z. B. auch durch neue Transferlösungen zwischen Versorgungsgebieten oder Sektoren. Forschung hat die Aufgabe, hier zu einem faktenbasierten Diskurs über gesellschaftlich sinnvolle Lösungsansätze beizutragen.

Mit vielen dieser Fragestellungen und Themen befasst sich die DVGW-Wasserforschung bereits intensiv und schafft so die Grundlage für die nötigen Klimawandelanpassungen. Beginnend mit dieser Heftausgabe starten wir daher eine Artikelserie über die Wasserforschung zu Klimawandel & Dürre, mit der wir das Gesamtpotenzial verdeutlichen wollen, das sich aus dem agierenden Forschungsverbund ergibt. Mehr noch: Wir möchten Sie, die Unternehmen der Wasserversorgungswirtschaft in Deutschland, dazu einladen, die Wasserforschung im DVGW aktiv zu begleiten und durch die unmittelbare Zusammenarbeit mit den DVGW-Forschungsinstituten in vollem Umfang an der Innovationskraft der Wasserforschung zu partizipieren – heute und in Zukunft. ■

Dr. David Schwesig ist technischer Leiter des IWW Zentrums Wasser.



► Dr. David Schwesig

# Inhaltsverzeichnis

- 4 | **Die Wasserversorgung im Trockenjahr 2018 – Stressindikatoren und Ergebnisse einer aktuellen DVGW-Umfrage**  
Berthold Niehues, Dr. Wolf Merkel
- 10 | **Sieben der letzten zehn Jahre verzeichneten Temperaturrekorde und gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Deutschland**  
Dr. Tim aus der Beek
- 14 | **Problematische Rohwasserverhältnisse treten künftig häufiger und auch bei mehr Quellen auf**  
Stefan Stauder und Michael Dold
- 18 | **Entfärbung huminstoffreicher Grundwässer mittels Ozonung**  
Jakob Kämmler, Dr.-Ing. Barbara Wendler, Prof. Dr.-Ing. Mathias Ernst
- 22 | **Klimawandelanpassung für Talsperrenbetreiber – Maßnahmen-simulationen am Beispiel der Großen Dhünnalsperre**  
Clemens Strehl, Andreas Hein, Marc Scheibel, Paula Lorza, Prof. Andreas Hoffjan
- 28 | **Steigende DOC-Konzentrationen in Trinkwassertalsperren: Prognose, Vorsorge, Handlungsoptionen**  
Dr. Burkhard Wricke, Ute Gernke (Südsachsen Wasser GmbH)
- 32 | **Sulfathaltige Grundwässer durch Nanofiltration nutzbar machen – aerobe und anaerobe Verfahrensvarianten**  
Dorothea Mergel, Sebastian Ernst, Elena Jacki, Lynn Massaki Claase, Jakob Stumme, Dr.-Ing. Barbara Wendler
- 40 | **Erschließung von Wasserressourcen für Ersatzlieferungen an geeignete Industriekunden**  
Anja Rohn, Dr. Andreas Nahrstedt, Anil Gaba, Barbara Zimmermann, Dr. Andreas Nocker, Dr. Gerhard Schertzinger, Kristina Wencki, Timo Jentzsch
- 46 | **Management von Wasserforschung im DVGW in Zeiten des Klimawandels**  
Dr. Mathis Keller, Dr. Nils Horstmeyer
- 50 | **Untersuchungen zur Entwicklung von Spitzenverbrauch und Spitzenfaktoren**  
Tobias Martin, Dr. Martin Wagner, Dr. Andreas Korth
- 54 | **Risikomanagement für ein komplexes Trinkwassertalsperrensystem**  
Friederike Brauer, Sebastian Sturm, Dr. Tilo Hegewald, Karin Freier
- 60 | **Das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser: Dem Zukunftsthema Wasser auf den Grund gehen**  
Dagmar Uhl
- 61 | **Sichere Wasserversorgung trotz Klimawandel – die Forschungsaktivitäten des IWW Zentrums Wasser**  
Lothar Schüller, Dr. David Schwesig
- 62 | **Anpassungen an den Klimawandel im Flussgebietsmanagement**  
Clemens Strehl, Andreas Hein, Marc Scheibel, Paula Lorza, Daniel Heinenberg, Prof. Dr. Andreas Hoffjan

# Impressum

## Herausgeber:

DVGW Deutscher Verein des  
Gas- und Wasserfaches e. V.  
Technisch-wissenschaftlicher Verein  
Josef-Wirmer-Straße 1–3  
53123 Bonn  
Tel.: 0228 9188-5  
Fax: 0228 9188-990  
E-Mail: info@dvgw.de  
Internet: www.dvgw.de

## Verlag und Vertrieb:

wvgw Wirtschafts- und  
Verlagsgesellschaft  
Gas und Wasser mbH  
Geschäftsführer:  
Stephan Maul, M. A.  
Josef-Wirmer-Straße 3  
53123 Bonn  
Tel.: 0228 9191-40  
Fax: 0228 9191-498  
E-Mail: anzeigen@wvgw.de  
Internet: www.wvgw.de

## Schriftleiter:

Prof. Dr. Gerald Linke

## Redaktion:

Marcel Pannes (verantwortlich)  
Martin Schramm  
Dr. Susanne Hinz  
Sabine Wächter

Gezeichnete Artikel stellen die Ansicht  
des Verfassers dar, nicht unbedingt die  
der Schriftleitung und der Redaktion.  
Industrieberichte unterliegen nicht der  
Verantwortung der Redaktion. Für un-  
verlangt eingesandte Manuskripte wird  
keine Gewähr übernommen.

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks,  
des auszugsweisen Nachdrucks, der  
fototechnischen Wiedergabe und der  
Übersetzung, liegen beim Verlag.

## Bankverbindung:

Sparkasse KölnBonn,  
IBAN: DE95 3705 0198 0033 3333 37  
Commerzbank Bonn,  
IBAN: DE29 3804 0007 2112 2600 00

## Erfüllungsort und Gerichtsstand:

Bonn

# Die Wasserversorgung im Trockenjahr 2018

– Stressindikatoren und Ergebnisse einer aktuellen DVGW-Umfrage

Sonne, Hitze und Trockenheit – die Frühlings- und Sommermonate des Jahres 2018 sind vielen Menschen in Deutschland aufgrund der klimatischen Verhältnisse dauerhaft im Gedächtnis geblieben. Insbesondere der in einigen Fällen über mehrere Monate ausbleibende Niederschlag und die daraus resultierende Trockenheit haben sich im Verlauf des Jahres zu einer echten Belastungsprobe für die öffentliche Trinkwasserversorgung entwickelt. Der DVGW hat vor diesem Hintergrund unter den deutschen Wasserversorgern eine Online-Umfrage durchgeführt und die Auswirkungen des Trockenjahres 2018 auf die Branche umfassend abgefragt. Der Beitrag stellt die zentralen Ergebnisse der Untersuchung vor und entwickelt dabei eine Einschätzung für das Jahr 2020.

von: Berthold Niehues & Dr. Wolf Merkel (beide: DVGW e. V.)

Das Jahr 2018 lag mit einer Durchschnittstemperatur von 10,5 °C deutlich über dem langjährigen Mittel und war das wärmste Jahr seit 1881. Bei der Trockenheit erreichte es zwar „nur“ Platz 4 auf der Skala, aber es wurde deutlich, dass durch den mehrmonatigen Zeitraum ohne Niederschläge die zentrale Wasserversorgung einem deutlichen Stress unterzogen war. Ausgehend von aktuellen Klimaprognosen lässt sich gleichzeitig ableiten, dass

das Jahr 2018 in Bezug auf die Temperaturen in den kommenden Jahrzehnten ein meteorologisches Normaljahr darstellt und die Eintrittswahrscheinlichkeit von mehreren aufeinanderfolgenden Dürrejahren mit entsprechenden Auswirkungen auf die Wasserressourcen stark steigen dürfte – eine Tatsache, die durch das Jahr 2019 und auch durch den Frühling bzw. Sommer in 2020 eindringlich untermauert wurde.

Die Auswirkungen auf die zentrale Wasserversorgung sind zwar in vielen Medien aufgegriffen und beschrieben worden, allerdings fehlt bis heute eine systematische Analyse und ein bundesweiter Überblick zu der Situation. Insbesondere dieser Aspekt hat den DVGW dazu bewogen, die Auswirkungen des Trockenjahres 2018 auf die zentrale Wasserversorgung genauer zu beleuchten und den Handlungsbedarf für eine weiterhin sichere Wasserversorgung durch eine Online-Umfrage zu identifizieren. Dazu haben die zuständigen DVGW-Fachgremien einen Fragenkatalog zur Ausprägung der tatsächlichen Stresssituation der zentralen Wasserversorgung im Trockenjahr 2018 und eine Einschätzung für 2020 entwickelt.

## Teilnehmerquote

Insgesamt haben sich 212 Wasserversorger mit einer Gesamtwasserabgabe in 2018 von rund 2,29 Mrd. m<sup>3</sup> an der Online-Umfrage beteiligt. Den größten Anteil der Rückmeldungen machen dabei Unternehmen mit einer Abgabe bis 5 Mio. m<sup>3</sup> aus; bei Abgabemengen von > 5 Mio. m<sup>3</sup> hat ca. ein Drittel aller

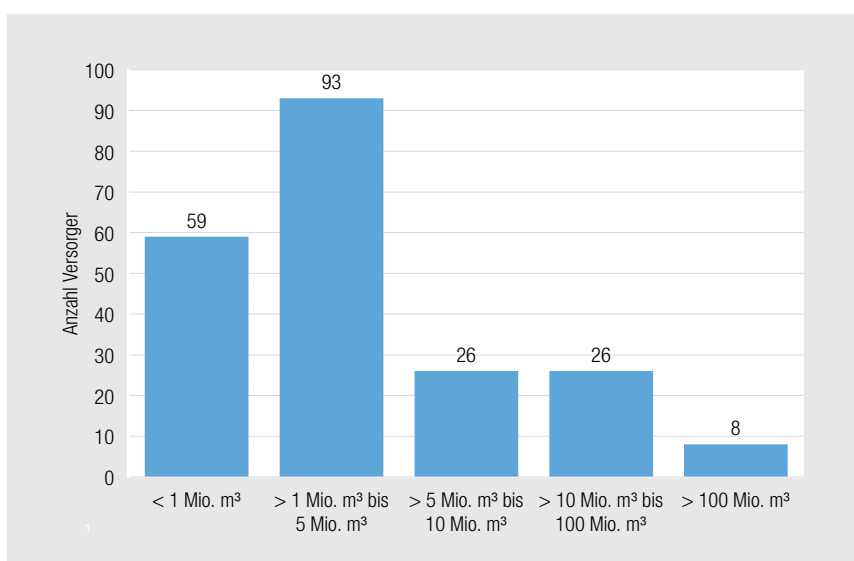


Abb. 1: Übersicht der teilnehmenden Versorger, gestaffelt nach Größenklassen der Wasserabgabe in 2018

Quelle: DVGW



Wasserversorger in Deutschland an der Umfrage teilgenommen (Abb. 1). Aufgrund dieses hohen Abdeckungsgrades ist die Umfrage dazu geeignet, einen bundesweiten Überblick über die Wasserstress-Situation der zentralen Wasserversorgung in Deutschland abzuleiten.

### Auslastung bei den Trinkwasserressourcen

Hinsichtlich der Ausnutzung der rechtlich oder vertraglich gesicherten Wasserressourcen haben 25 Prozent der Unternehmen einen Auslastungsgrad von 90 Prozent oder darüber erreicht; bezogen auf die Gesamtwasserabgabe sind dies 18 Prozent. Der Spitzenwert des Ausnutzungsgrades liegt bei 125 Prozent. Bei der Betrachtung des Spitzentages verschärft sich die Situation sogar noch: Rund 33 Prozent der Versorger haben einen Auslastungsgrad von 90 Prozent oder darüber; bezogen auf die Gesamtwasserabgabe aller Rückmeldungen sind dies 24 Prozent. Der Spitzenwert beträgt 190 Prozent. Ein vergleichbares Bild ergibt sich, wenn man die Ausnutzung der eigenen Wasserrechte als Bezugsgröße wählt (Abb. 2).

Bei den Ressourcenverfügbarkeiten traten bei insgesamt 31 Unternehmen (16 Prozent) Engpässe bei der Gewinnung auf. Ursachen waren mehrheitlich, dass Brunnen oder Quellfassungen deutlich weniger ergiebig waren oder sogar trockengefallen sind. Ebenso waren die Abflüsse in den Vorflutern so gering, dass bei der Uferfiltration oder der künstlichen Grundwasseranreicherung Engpässe zu verzeichnen waren. Bei zwei Talsperrenbetreibern war ein Befüllungsgrad von unter 30 Prozent ausschlaggebend.

Für das Jahr 2020 erwarten 25 Prozent der Versorger bei den rechtlich oder vertraglich gesicherten Wasserressourcen einen Ausnutzungsgrad von über 90 Prozent, Engpässe bei der Gewinnung werden von 18 Prozent der Unternehmen erwartet. Als Ursachen wurden prinzipiell ähnliche Aussagen gemacht wie für das Jahr 2018.

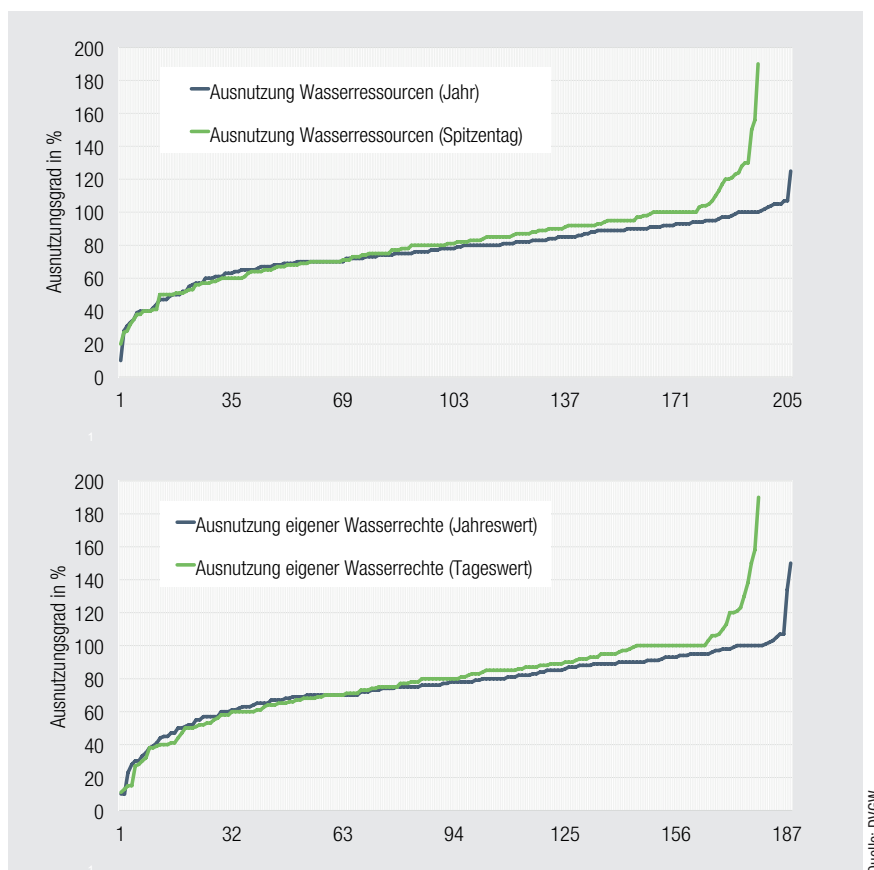


Abb. 2: Grad der Ausnutzung bei den rechtlich oder vertraglich gesicherten Wasserressourcen (oben) und bei den eigenen Wasserrechten (unten). Die kleinere Anzahl der Versorger bei den eigenen Wasserrechten resultiert daraus, dass nicht alle Unternehmen eine eigene Wassergewinnung betreiben.

Obwohl das Jahr 2020 hinsichtlich der klimatischen Wasserbilanz bislang nicht als so gravierend einzustufen ist wie das Jahr 2018, zeichnet sich dennoch ab, dass der hohe Ausnutzungsgrad der Ressourcen und die zum Teil zu verzeichnenden Engpässe bei der Gewinnung als Themen in der Branche auch in eher weniger kritischen Jahren angekommen ist.

### Auslastung in der Aufbereitung

Von den 212 teilnehmenden Versorgern betreiben 155 eine Rohwasseraufbereitung. Bei der Auslastung der maximalen Tagesaufbereitungskapazität am Spitzentag erreichen 54 Versorger einen Auslastungsgrad von über 90 Prozent, das entspricht rund 35 Prozent der Unternehmen bzw. 32 Prozent der Wasserabgabe. 22 Versorger haben

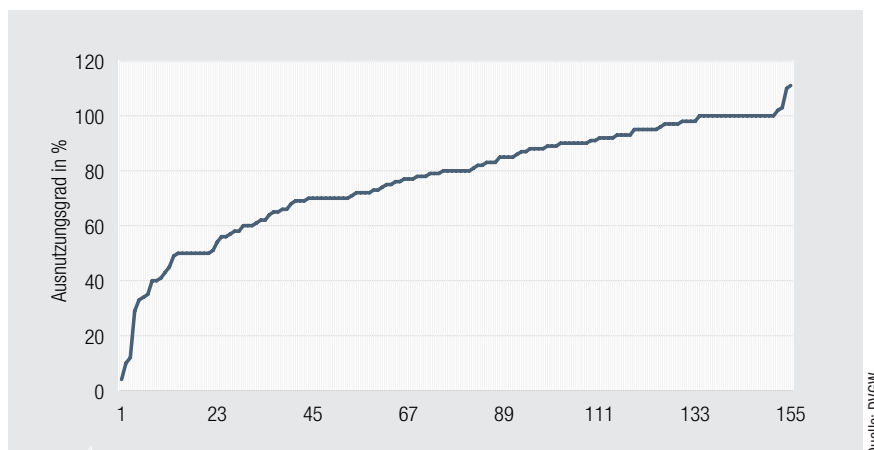


Abb. 3: Grad der Ausnutzung bei der maximalen Tagesaufbereitungskapazität am Spitzentag

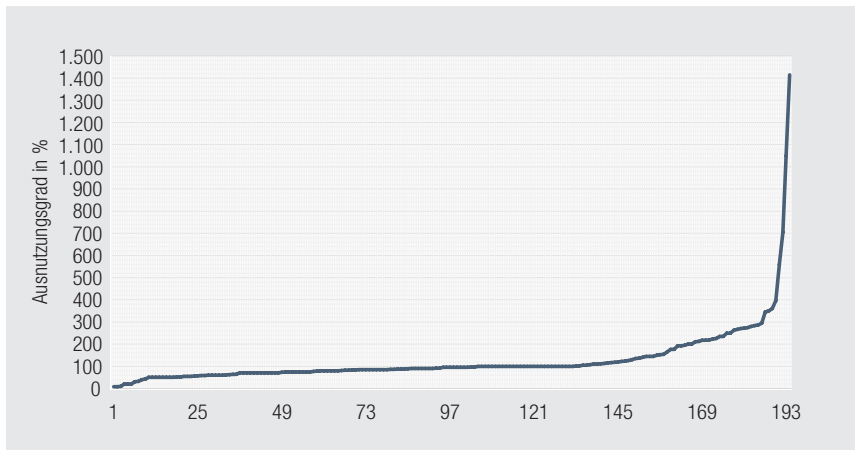


Abb. 4: Grad der Ausnutzung bei den Trinkwasserbehältern am Spitzentag

Quelle: DVGW

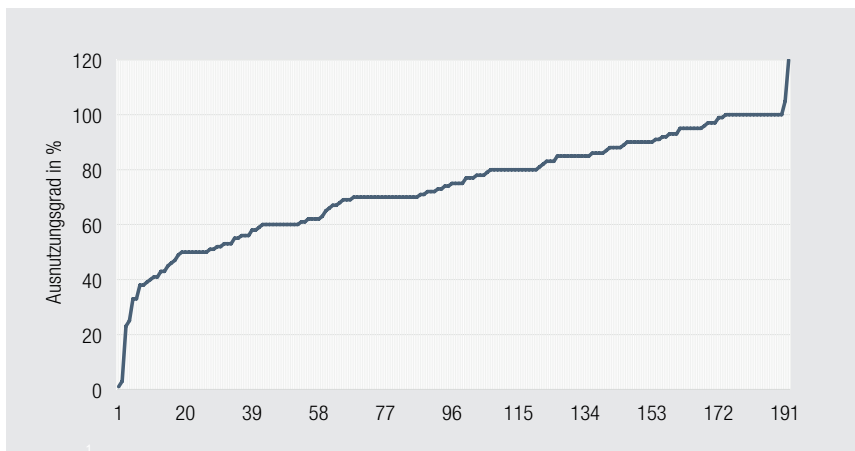


Abb. 5: Grad der Ausnutzung bei den Förderkapazitäten am Spitzentag

Quelle: DVGW

## Auslastung bei der Förderkapazität

Die Förderkapazität beschreibt das Verhältnis von maximaler Fördermenge zu maximaler Pumpenförderkapazität am Spitzentag. Bei der Auslastung der Förderkapazität am Spitzentag haben 47 von 192 Versorgern einen Ausnutzungsgrad von 90 Prozent oder darüber erreicht, das entspricht 25 Prozent bzw. 19 Prozent bezogen auf deren Wasserabgabe. 19 Unternehmen haben eine Vollausslastung oder darüber gemeldet, der Spitzenwert liegt bei 120 Prozent (Abb. 5).

Für 2020 erwarten 22 Prozent der Unternehmen einen Auslastungsgrad von über 90 Prozent bei den Förderkapazitäten am Spitzentag. Ähnlich wie bei der Aufbereitung oder bei den Trinkwasserbehältern sind bezogen auf den „einen“ Spitzentag so hohe Auslastungsgrade nicht ungewöhnlich. Erst bei langen Phasen mit sehr hohen Abgabewerten – wie in 2018 – kann dies in Bezug auf die Versorgungssicherheit kritisch werden.

eine Vollausslastung oder sogar darüber zu verzeichnen, der Höchstwert lag bei 111 Prozent (Abb. 3).

Für das Jahr 2020 erwarten insgesamt 52 Unternehmen (34 Prozent) einen Auslastungsgrad bei der Tagesaufbereitungskapazität am Spitzentag von über 90 Prozent. Diese Erwartungshaltung ist bezogen auf den eigentlichen Spitzentag nachvollziehbar. Kritisch ist dies nur, wenn – wie 2018 – eine sehr lange Phase von mehreren Wochen oder sogar Monaten mit Spitzenabgaben auftritt.

## Auslastung bei den Trinkwasserbehältern

Bei 109 Unternehmen waren die Trinkwasserbehälter am Spitzentag in 2018 zu 90 Prozent oder darüber ausgelastet; das entspricht 56 Prozent der Versorger oder 76 Prozent bezogen auf

die Wasserabgabe. In der Spitze wurde ein Wert von 1.415 Prozent angegeben, was bedeutet, dass an dem Spitzentag die Behältervolumina insgesamt mehr als 14 Mal ausgetauscht wurden. Der Indikator „Auslastung der Trinkwasserbehälter“ ist in der Systematik nicht mit den Indikatoren zu den Ressourcen- und Aufbereitungskapazitäten vergleichbar, da selbst sehr hohe Auslastungsgrade von weit über 100 Prozent nicht zu einem Versagen der Versorgungssicherheit führen müssen. Das ist insbesondere dann nicht der Fall, wenn z. B. die Behälter als erweiterte Pumpenvorlage verwendet werden, eine automatische Wasserstandsregulierung vorliegt oder in der Spitze die Behälter als reine Durchlaufbehälter fungieren. Dennoch trägt die Kenntnis zur Auslastung der Behälter insgesamt zu einem besseren Systemverständnis in Wasserstresssituationen bei.

## Betrachtung des Verteilungssystems

### Trinkwassertemperaturen über 25 °C

In der Umfrage wurde auch abgefragt, ob 2018 in dem Wasserverteilungssystem oder in Teilen davon eine Trinkwassertemperatur von über 25 °C erreicht worden ist. Dazu wurden verschiedene Klasseneinteilungen vorgegeben, Mehrfachnennungen waren möglich.

Insgesamt hatten 31 Unternehmen (15 Prozent) in ihrem Verteilungssystem oder Teilen davon 2018 eine Temperatur des Trinkwassers von über 25 °C zu verzeichnen (Abb. 6). Lediglich bei sechs Unternehmen wurden diese Temperaturen über einen längeren Zeitraum (über einen Monat) gemessen. Trotz der sehr hohen Rekordwerte bei den Lufttemperaturen haben sich diese nicht in größerem Umfang auf die Trinkwassertemperaturen in Bereiche über 25 °C ausgewirkt.

**Unterschreitung des Mindestversorgungsdruckes in der Hochverbrauchsphase**

Analog zur Frage der Trinkwassertemperatur wurde die Unterschreitung des Mindestversorgungsdruckes im Rohrnetz oder in Teilen davon in der Hochverbrauchsphase abgefragt. Von den insgesamt 212 Versorgern haben 184 (87 Prozent) den Mindestversorgungsdruck nicht unterschritten (Abb. 7); von den 28 betroffenen Unternehmen wiederum trat die Unterschreitung bei 25 Versorgern lediglich nur stundenweise auf. Insgesamt ist demzufolge die Unterschreitung des Mindestversorgungsdruckes in 2018 als eher nachrangig zu bewerten.

**Unterstützung des DVGW für die zentrale Wasserversorgung**

Abschließend hatten die Unternehmen die Möglichkeit, unterstützende Maßnahmen des DVGW für die zentrale Wasserversorgung in langen Trockenperioden zu benennen. Drei Maßnahmenpakete waren dazu entsprechend vorgegeben (Sensibilisierung, Projekte aus dem Bereich „Forschung & Entwicklung“, Regelwerk); Mehrfachnennungen waren auch hier möglich.

Aus den Rückmeldungen ist klar ersichtlich, dass das Thema der Trinkwasserressourcen in Verbindung mit den zugehörigen Wasserrechten eine sehr hohe Bedeutung hat (47 Prozent der Unternehmen) (Abb. 8). Hier gilt es auf der Ebene der zuständigen Ministerien und Behörden die Wichtigkeit und Dringlichkeit des Themas zu adressieren und gemeinsame Optionen für eine Flexibilisierung zu erarbeiten. Ein Viertel der Versorger hatten 2018 einen Auslastungsgrad bei den Jahresentnahmerechten von 90 Prozent und darüber, bei den Tagesentnahmerechten sind dies bereits ein Drittel der Unternehmen. Allein dies begründet die Wichtigkeit und Dringlichkeit des Themas.

Als zweite Maßnahme befürworten die Unternehmen, dass der DVGW sein Regelwerk noch stärker in Richtung Resilienz in Bezug auf den Klimawandel ausrichtet. Bereits vor über zehn Jahren hatte der DVGW eine entsprechende Analyse in den dafür zuständigen Fachgremien durchführen lassen. Nunmehr gilt es, diese Analyse nach heutigen Gesichtspunkten abermals durchzuführen. Weitere F&E-Leistungen halten 14 Prozent der befragten Unternehmen für notwendig, eine thematische Spezifizierung wurde nicht vorgenommen und wird Gegen-

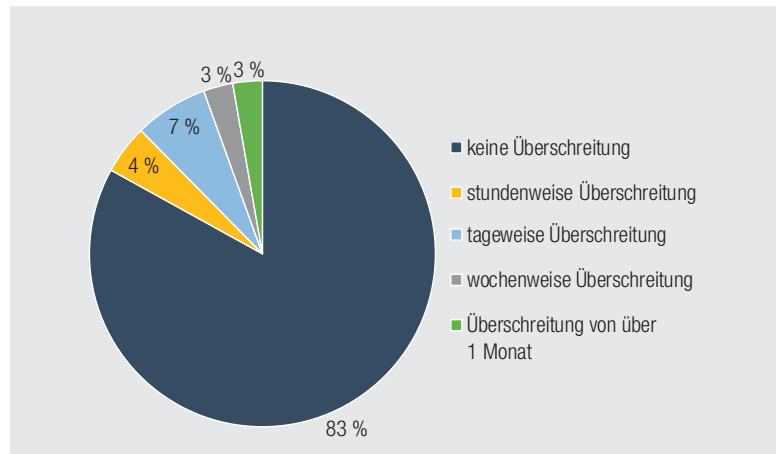


Abb. 6: Überschreitungen der Trinkwassertemperatur > 25 °C im Verteilungssystem oder in Teilen davon

Quelle: DVGW

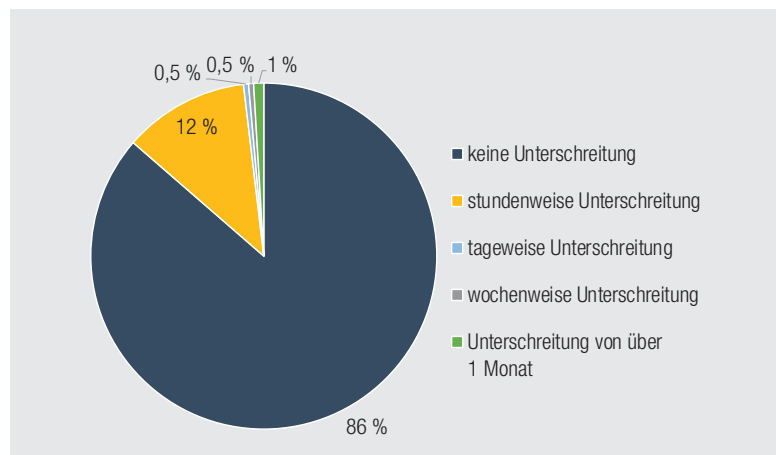
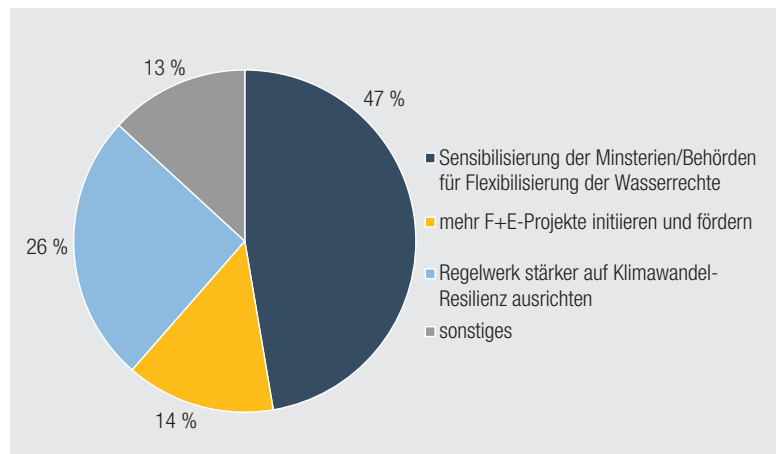


Abb. 7: Unterschreitung des Mindestversorgungsdruckes im Rohrnetz oder in Teilen davon in der Hochverbrauchsphase

Quelle: DVGW



stand der weiteren Ausgestaltung im DVGW-Forschungsbeirat Wasser sein.

Abb. 8: Übersicht zu Unterstützungsmaßnahmen des DVGW für die Branche in langen Trockenperioden

Quelle: DVGW

**Fazit und Ausblick**

Das Jahr 2018 hat sich gegenüber früheren Trockenjahren durch einen enorm hohen Wasserbedarf über einen sehr langen Zeitraum ausgezeichnet. Das führte dazu, dass die Versorgungsanlagen über längere Zeiträume bis an

ihre Kapazitätsgrenzen und darüber hinaus betrieben werden mussten. Eine hohe Anspannung zeigt sich

- bei den verfügbaren Wasserressourcen (in den Spitzentagen sind ein Drittel der Unternehmen mit einem Auslastungsgrad von  $\geq 90$  Prozent betroffen) und
- bei den Aufbereitungskapazitäten (bei über 34 Prozent der Unternehmen lag in den Spitzentagen die Auslastung der Aufbereitung bei  $\geq 90$  Prozent).

In Einzelfällen kam es zu Engpässen bei Talsperren-Füllungen, der Grundwasseranreicherung, Brunnen-Ergiebigkeiten oder zu einem Unterschreiten von Mindest-Versorgungsdrücken in den Netzen. Ebenso sind Trinkwassertemperaturen von über 25 °C im Netz keine Einzelfälle mehr.

Insgesamt ist es – bis auf wenige lokale Ereignisse – aber nicht zu einem Ausfall der zentralen Wasserversorgung gekommen. Die hohe Auslastung hat auch dazu geführt, dass notwendige Instandhaltungsmaßnahmen nicht in dem geplanten Umfang durchgeführt werden konnten. Das Jahr 2018 war somit ein echter Stresstest für die Wasserversorgung.

Im Zeichen der zu erwartenden Klimaänderungen in den kommenden Jahren und Jahrzehnten sind die Erfahrungen aus 2018 hilfreich, um bereits heute die notwendigen Weichenstellungen für die Wasserversorgung in Deutschland vorzunehmen. Eine Verknappung der Wasserressourcen bei höherem Bedarf, die Verringerung der technischen Förderkapazitäten bei sinkenden Grundwasserständen bzw. geringeren Abflüssen in den Vorflutern oder ein Klimawandel-Zuschlag bzw. Flexibilisierungen bei den wasserrechtlichen Vorgaben sind nur einige der Aspekte hierzu.

Die vorhandene Wasserversorgungsinfrastruktur hat den Belastungstest der Jahre 2018 – und aller Voraussicht nach auch 2020 – bestanden. Aus den dabei

gewonnenen Erkenntnissen ergibt sich aber bereits heute ein konkreter Handlungsbedarf. Vorrangig sind aus Sicht der Autoren:

- Der rechtlich gesicherte Vorrang der öffentlichen Trinkwasserversorgung ist auch durch einen stringenten Vollzug zu gewährleisten, insbesondere müssen die wasserrechtlichen Antragsverfahren und deren Entscheidungsfindung deutlich beschleunigt werden.
- Um zukünftig weiterhin rechtssicher agieren zu können, ist eine kurzfristige Flexibilisierung im Vollzug der bestehenden Wasserrechte, insbesondere für die maximalen Tagesentnahmen, und eine zeitnahe Aufstockung der bestehenden Wasserrechte bei den Jahresentnahmemengen um einen Klimawandelschlag von 10 bis 20 Prozent notwendig.
- Vorranggebiete für die öffentliche Wasserversorgung müssen deutlich stärker in den regionalen Raumordnungsplänen berücksichtigt werden, um den zukünftigen Bedarf der öffentlichen Wasserversorgung sicher durch genügend Wasserressourcen abdecken zu können.

Die Unternehmen selber sollten eine Validierung der eigenen Kapazitäten bei der Aufbereitung und den Fördersystemen anhand der Stresssituation im Jahr 2018 vornehmen, um die Resilienz ihrer Versorgungssysteme zukunftsfest zu gestalten. Hierzu sind in besonderen Konstellationen auch regionale und überregionale Lösungen zu untersuchen.

Die erstmals im DVGW in diesem Umfang durchgeführte Online-Umfrage hat zwar in Bezug auf die Wasserabgabe von rund 2,29 Mrd.m<sup>3</sup> einen hohen Deckungsgrad erreicht, aber eine generell höhere Beteiligung bezogen auf die Anzahl der Unternehmen sollte auch im Interesse der Versorgungsunternehmen selbst sein. Derartige Online-Umfragen bieten sich zukünftig für ähnlich gelagerte Fragestellungen an, um damit einen aktuellen Überblick zur

Versorgungssituation in Deutschland zu erhalten. Allen teilnehmenden Unternehmen sei an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt. ■

### Die Autoren

Berthold Niehues leitet die Einheit Wasserversorgung in der DVGW-Hauptgeschäftsstelle in Bonn.

Dr. Wolf Merkel ist Vorstand des Ressorts Wasser des DVGW.

Kontakt:

Berthold Niehues

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.

Technisch-wissenschaftlicher Verein

Josef-Wirmer-Str. 1–3

53123 Bonn

Tel.: 0228 9188-851

E-Mail: niehues@dvgw.de

Internet: www.dvgw.de



Kompetenz:  
Energie & Wasser.

**wvgw**



auf  
**nachhaltigem  
Papier &  
klimaneutral  
gedruckt**



**Bleiben Sie 365 Tage  
im Blick Ihrer Kunden  
mit den wvgw-Kalendern 2022**

**Weitere Informationen unter  
Tel.: 0228 9191-40 oder [shop.wvgw.de](http://shop.wvgw.de)**



# » Sieben der letzten zehn Jahre verzeichneten Temperaturrekorde

und gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Deutschland



Die Redaktion der „DVGW energie | wasser-praxis“ im Gespräch mit Dr. Tim aus der Beek, Bereichsleiter Wasserressourcenmanagement beim IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung in Mülheim an der Ruhr, über die wesentlichen Aspekte des Forschungsprojektes „Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung: Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und der bereits existierenden Maßnahmen und Strategien“



Quelle: IWW

**Redaktion: In Ihrem Forschungsprojekt geht es um Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung. Wie ist die derzeitige Situation in Deutschland?**

**Tim aus der Beek:** Da wir uns momentan noch in der Erstellungsphase der Studie befinden, kann ich die Bestandsaufnahme noch nicht abschließend bewerten. Nach meiner fachlichen und persönlichen Auffassung sehen und spüren wir in der letzten Dekade die Auswirkungen des Klimawandels zunehmend auch in Deutschland. Sieben der letzten zehn Jahre verzeichneten Temperaturrekorde und gehören zu den zwölf wärmsten Jah-

ren seit Beginn der Wetteraufzeichnungen in Deutschland. Hinzu kommt, dass die Häufigkeiten und oder Intensitäten von Extremereignissen wie Dürren und Starkregen regional und saisonal zugenommen haben.

In Bezug auf warme Trockenperioden haben die Sommer der Jahre 2018 bis 2020 gezeigt, dass ihre Auswirkungen auf die Umwelt räumliche und zeitliche Ausmaße annehmen können, die bisher in Deutschland kaum bekannt waren. Die wichtige Phase der Grundwasserneubildung hat sich in diesem Zeitraum stark verkürzt und diese auch quantitativ verringert, so dass in vielen Regionen sinkende Grundwasserstände die Folge waren. Dies ist für Deutschland sehr anschaulich im Dürremonitor des Helmholtz-Umweltforschungszentrums dargestellt. Die Fortpflanzung dieser verringerten Grundwasserneubildung ist oftmals über viele Jahre in tieferen Bodenschichten zu verfolgen und kann ebenfalls zu einem zeitverzögerten, geringeren Basisabfluss in unseren Vorflutern führen. Dieser hat jedoch eine wichtige Bedeutung während lang andauernder Trockenperioden, da er die Grundlast des Abflusses bildet und somit u. a. Einleitungen von kommunalen und industriellen Kläranlagen verdünnt und die Grundlage für die aquatische Ökologie darstellt. Außerdem ermöglicht er die Schifffahrt auf den deutschen Wasserstraßen.

Neben der Grundwasserneubildung sehen wir auch Änderungen in der Wasserbilanz von Einzugsgebieten. Im Rahmen des EU-Forschungsprojekts BINGO haben wir beispielsweise zusammen mit dem Wupperverband für die Große Dhünnalsperre herausgefunden, dass sich Evapotranspirationen aufgrund des Klima-

## Zur Person

Dr. Tim aus der Beek studierte Hydrologie in Freiburg und Vancouver/Kanada. Promoviert wurde er von der Universität Heidelberg zum Thema Wasserressourcenmanagement und Klimawandel. Seit 2012 ist Tim aus der Beek am IWW Zentrum Wasser in Mülheim an der Ruhr als Wissenschaftler und Berater angestellt und leitet aktuell den Bereich Wasserressourcenmanagement. Seine Forschungsfragen und Beratungsthemen behandeln u. a. Wasserversorgungskonzepte, die Auswirkungen des Klimawandels, Mikroschadstoffe und generelle Wasserqualitätsthemen. Seit 2019 leitet Tim aus der Beek auch die internationale Arbeitsgruppe „Water & Climate“ bei Water Europe (WssTP).



wandels verschoben haben, so dass ein höherer Anteil des Niederschlags verdunstet und nicht mehr der Talsperre zufließt. Somit können früher regelmäßig erreichte Füllstände nicht mehr realisiert werden.

**Redaktion: Welchen Fragestellungen gehen Sie mit Ihrem Forschungsprojekt konkret nach?**

**Aus der Beek:** Der Schwerpunkt der Studie liegt auf der Bestandsaufnahme zum Vorkommen von Niedrigwasser und Dürre, zu Änderungen der Grundwasserneubildung, zu bestehenden Klimaprojektionen für Deutschland und zu existierenden Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Dies bedeutet, dass wir bestehendes Wissen aus der Literatur und durch Ansprache von Stakeholdern für den Zeitraum 2003 bis 2019 recherchieren, zusammenführen und auswerten. Unser Projektpartner von der Universität Duisburg-Essen fokussiert sich hierbei auf Daten zur aquatischen Ökologie. Insgesamt haben wir bereits mehr als 600 Quellen ausgewertet und bereiten momentan die Stakeholder-Interviews vor.

Studien zu Niedrigwasser werden oftmals auf Ebene der Flussgebietseinheiten durchgeführt, die zur Grundwasserneubildung oder aber Anpassungsmaßnahmen jedoch auf Länderebene. Hinzu kommen die unterschiedlichen Typen von Klimaszenarien, die auf verschiedene Klimamodelle und Zeithorizonte zurückgreifen und als Grundlage für wiederum unterschiedliche Wasser-Impact-Modelle dienen. Diese uneinheitlichen Informationen gilt es in der Studie auszuwerten und eine Übersicht für Deutschland zu erstellen.

**Redaktion: Wie erfolgt die Zusammenarbeit mit Partnern aus der Praxis und wie können sich die Partner aktiv in das Projekt einbringen?**

**Aus der Beek:** Im Projektbegleitkreis sind neben dem Umweltbundesamt auch das Bundesministerium für Umwelt sowie die Bundesanstalt für Gewässerkunde eingebunden. Die Einbindung von Praxispartnern wird einerseits durch die Auswertung aller relevanten

Literaturstellen gewährleistet, andererseits durch die Durchführung von Experteninterviews. Die Auswahl der Interviewpartner erfolgt in enger Absprache mit dem Umweltbundesamt und wird anhand von thematisch-räumlichen Randbedingungen bestimmt. Beispielsweise existieren viele Klimawandelstudien für die großen Flussgebieteinheiten wie dem Rhein, aber nur wenige für Flüsse wie Ems oder Oder. Dort wo wenige Daten vorliegen, versuchen wir dies durch Interviews mit lokalen Stakeholdern abzufedern. Dies gilt auch für Informationen zu den bereits existierenden Anpassungsmaßnahmen, die nicht über alle Regionen oder Bundesländer gleichmäßig verteilt vorliegen.

**Redaktion: Welche Maßnahmen zum Umgang mit den Herausforderungen bestehen bereits? Welche haben sich bisher bewährt und welche bedürfen einer Anpassung?**

**Aus der Beek:** Die Auswertung der Maßnahmen ist noch nicht abgeschlossen, so dass ich hier leider noch keine Ergebnisse vorstellen kann. Neben der Bewertung von einzelnen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel möchte ich hier auf die Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) und auf die Wichtigkeit des Dialogs der unterschiedlichen Stakeholder-Gruppen hinweisen. Dies wurde bereits beim Nationalen Deutschen Wasserdialo g praktiziert und aktuell auch in einem Projekt, welches wir zusammen mit IKU\_Die Dialoggestalter für die Länderarbeitsgemeinschaft Wasser durchführen. Hier diskutieren wir zusammen mit Stakeholdern aus den Sektoren Land-, Forst-, Wasserwirtschaft, Kommunen und Naturschutz die Zielkonflikte, die zwischen den Sektoren durch einseitige Klimawandelanpassungsmaßnahmen ausgelöst werden können. So existieren Maßnahmen, wie z. B. der Ausbau der landwirtschaftlichen Bewässerung, die wiederum Zielkonflikte mit anderen Sektoren auslösen, während andere Anpassungsmaßnahmen, wie z. B. die Steigerung des Wasserrückhalts in der Fläche, keine Zielkonflikte, sondern eher Synergien erzeugen. Diese gilt es herauszuarbeiten und zu priorisieren.

**Redaktion: Welche allgemeinen und konkreten Ziele werden mit dem Forschungsvorhaben verfolgt?**

**Aus der Beek:** Der Fokus des Projektes liegt auf der Bestandsaufnahme zu Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung für den aktuellen Zeitraum und für die Zukunft mithilfe von Klimaprojektionen und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Angestrebt wird eine einheitliche Aussage für Deutschland, die bisher so noch nicht vorhanden ist. Die Ergebnisse bilden die Grundlage zur Entscheidungsunterstützung, welche Regionen stärker in den Blick genommen werden müssen und welche Maßnahmen zu priorisieren sind. Das Umweltbundesamt hat aktuell ein Nachfolgeprojekt ausgeschrieben, das auf den Ergebnissen dieser Studie aufbaut und detailliertere Wassernutzungskonflikte und potenzielle Lösungsmöglichkeiten wie z. B. die Wasserwiederverwendung und die Einrichtung von Wasserbeiräten im Fokus hat. ■

**Redaktion: Herzlichen Dank für das Gespräch!**

**Forschungsprojekt**

Niedrigwasser, Dürre und Grundwasserneubildung: Bestandsaufnahme zur gegenwärtigen Situation in Deutschland, den Klimaprojektionen und der bereits existierenden Maßnahmen und Strategien

**Projektpartner**

Universität Duisburg-Essen, Aquatische Ökologie

**Auftraggeber**

Umweltbundesamt

**Projektbegleitkreis**

Umweltbundesamt, Bundesministerium für Umwelt, Bundesamt für Gewässerkunde

**Projektdauer**

Oktober 2019 bis Mai 2021

**Ansprechpartner**

Dr. Tim aus der Beek  
IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, Mülheim/Ruhr  
Tel.: 0208 40303-234  
E-Mail: t.ausderbeek@iww-online.de



Quelle: Vasily Merkushev/fotolia.com

## » Ein beträchtlicher Anteil der Unternehmen misst Trinkwassertemperaturen über 25 Grad «

Die Redaktion der „DVGW energie | wasser-praxis“ im Gespräch mit Dr. Andreas Korth, Projektleiter beim TZW: DVGW Technologiezentrum Wasser am Standort Dresden über das noch bis 2022 laufende Forschungsprojekt „Erhöhte Wassertemperaturen im Trinkwassernetz und Identifizierung von Gegenmaßnahmen“

**Redaktion: In Ihrem Forschungsprojekt geht es um erhöhte Wassertemperaturen im Trinkwassernetz. Was war der Anlass für dieses Projekt?**

**Andreas Korth:** Mit den zunehmenden Hitzeperioden im Sommer, die mit der Klimaveränderung in Verbindung gebracht werden, sind Wasserversorger mit erhöhten Wassertemperaturen bei der Wasserverteilung konfrontiert. Zudem enthalten die Regelwerke aus dem Bereich der Trinkwasserinstallation die Formulierung, dass im Kaltwasser maximal 30 Sekunden nach Öffnen der Entnahmestelle 25 Grad Cel-

sius nicht überschritten werden dürfen. Da die Temperatur im Rohrnetz diesen Wert stellenweise übersteigt, ergibt sich eine Diskrepanz zwischen Regelwerk und Praxisrealität, die durch wissenschaftliche Untersuchungen aufgeklärt werden soll. Zudem stellt sich die Frage, welche Maßnahmen man treffen kann, um diesem Phänomen entgegenzuwirken.

**Redaktion: Warum sind erhöhte Wassertemperaturen für Wasserversorger eine Herausforderung?**

**Korth:** Die Kunden erwarten ein angenehm kühles Trinkwasser. Auch im technischen Regelwerk wie der DIN 2000 ist u. a. festgelegt, dass Trinkwasser kühl aus der Leitung fließen soll. Es gibt daher eine hohe Betroffenheit unter den Wasserversorgungsunternehmen, das Thema erhöhte Wassertemperaturen näher zu untersuchen und so Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Bisher gibt es keine ausreichenden wissenschaftlichen Untersuchungen zu den Fragen, warum und unter welchen Randbedingungen es zu höheren Temperaturen im Wasserverteilnetz kommt. Ziel des aktuellen Projekts sind fundierte Erkenntnisse,

### Zur Person

Dr. Andreas Korth studierte Biologie an der TU Braunschweig und promovierte an der TU Hamburg-Harburg. Seit dem Jahr 2000 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am TZW: DVGW Technologiezentrum Wasser, Außenstelle Dresden, wo er seit 2008 auch als Leiter der Arbeitsgruppe „Wasserverteilung“ fungiert. Korth beschäftigt sich darüber hinaus mit den Schwerpunktthemen Trinkwassermikrobiologie, Spülstrategien und -verfahren, Korrosion und Inhibitoren. Er ist außerdem Mitglied in verschiedenen Gremien des DVGW.



auf deren Basis Maßnahmen abgeleitet werden können, die zur Lösung des Problems in der Praxis beitragen. Für die Kommunikation mit der Öffentlichkeit ist es wichtig, diese Maßnahmen auf einer faktenbasierten Grundlage aufzubauen.

Um die Relevanz der Thematik erhöhter Wassertemperaturen zu ermitteln, wurden durch das TZW zwei Diskurse mit Versorgungsunternehmen initiiert. Es zeigte sich, dass nicht nur bei allen teilnehmenden Unternehmen zeitweise erhöhte Temperaturen im Wasserversorgungssystem auftreten, sondern dass auch weitere Unternehmen von dieser Problematik betroffen sind. Von den beteiligten Unternehmen wurde die Situation so eingeschätzt, dass sich sowohl der Rückgang des Wasserverbrauchs als auch die betrieblichen Rahmenbedingungen zukünftig verschärfen werden. Gründe dafür sind sich kontinuierlich verändernde Faktoren wie das Klima, die Verdichtung in urbanen Bereichen, der Ausbau der Fernwärme und die Zunahme moderner Wohnstrukturen.

**Redaktion: Welchen Fragestellungen gehen Sie mit Ihrem Forschungsprojekt nun konkret nach?**

**Korth:** Wir beschäftigen uns u. a. mit folgenden Fragen: Bei welchen Randbedingungen ist grundsätzlich mit dem Auftreten erhöhter Wassertemperaturen im Versorgungssystem zu rechnen? Welche Maßnahmen sind prinzipiell für eine Stabilisierung oder Verringerung der Wassertemperatur im Versorgungssystem geeignet? Welche Tools können für die Modellierung der Wassertemperatur im Verteilungssystem herangezogen werden?

Darüber hinaus sollen auch folgende Fragestellungen untersucht werden: Wie stellt sich der tatsächliche jahreszeitliche Temperaturverlauf in Wasserversorgungssystemen in Abhängigkeit von den Randbedingungen dar? Durch welche Maßnahmen zur Vermeidung erhöhter Temperaturen werden unter Praxisbedingungen welche Effekte erreicht? Wie wird sich die Temperatur-



Quelle: TZW

problematik perspektivisch entwickeln und welche Konsequenzen ergeben sich hieraus?

**Redaktion: Sie arbeiten bei diesem Projekt mit rund 20 Unternehmen aus der Wasserversorgungswirtschaft zusammen. Wie erfolgt diese Zusammenarbeit und wie können sich die Partner aktiv in das Projekt einbringen?**

**Korth:** Zunächst wollten wir wissen, welche Erfahrungen in den Unternehmen zu erhöhten Wassertemperaturen vorliegen. Dazu wurde als erstes Arbeitspaket eine Umfrage bei den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen durchgeführt. Sie hat gezeigt, dass ein Großteil der Wasserversorger Trinkwassertemperaturen von über 20 Grad misst, ein beträchtlicher Anteil sogar auch Temperaturen von über 25 Grad. Es zeigte sich auch, dass bereits Maßnahmen ergriffen wurden, um den erhöhten Temperaturen entgegenzuwirken.

Die beteiligten Unternehmen kommen aus unterschiedlichen Regionen, von der Ostsee bis zum Bodensee. Sie liefern dem TZW relevante Betriebsdaten zur Auswertung. Diese bilden eine Datengrundlage für unsere Berechnungen und Modellierungen. Außerdem bereiten wir derzeit ein umfangreiches Messprogramm für das kommende Jahr vor. Dieses wird in den Trinkwassernetzen der Projektpartner durchgeführt, um so die Temperatursituation vor Ort zu erfassen. Mit der RBS wave GmbH haben wir einen Partner, der ein Berechnungsprogramm für Wassertemperaturen entwickelt. Dies soll als

Zusatztool für die hydraulische Berechnung nutzbar sein. Am TZW entwickeln wir außerdem ein Modell für die Bodentemperatur.

**Redaktion: An wen können sich weitere interessierte Unternehmen wenden?**

**Korth:** Interessierte Unternehmen können sich auch jetzt noch am Projekt beteiligen. Dazu wenden sie sich einfach und direkt an mich beim TZW. ■

**Redaktion: Herzlichen Dank für das Gespräch!**

**Forschungsprojekt**

Untersuchungen zu den Ursachen erhöhter Wassertemperaturen im Trinkwassernetz und Identifizierung von Gegenmaßnahmen

**Projektpartner**

RBS wave GmbH und derzeit zwanzig verschiedene Wasserversorgungsunternehmen

**Förderung**

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.  
Förderkennzeichen: W 201904

**Projektdauer**

August 2019 bis Juli 2022

**Ansprechpartner**

Dr. Andreas Korth  
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Standort Dresden  
Tel.: 0351 85211-54  
E-Mail: andreas.korth@tzw.de

*Die Trinkwasserversorgung im Schwarzwald ist gekennzeichnet von zahlreichen Quellen und vielen relativ kleinen Anlagen zur Aufbereitung und Speicherung des Wassers*

# » Problematische Rohwasserverhältnisse

treten künftig häufiger und auch bei mehr Quellen auf «



Vor welchen Herausforderungen stehen Wasserversorger, um die öffentliche Trinkwasserversorgung auch unter sich klimatisch ändernden Bedingungen in vulnerablen Mittelgebirgsregionen sicherzustellen? Dieser Frage widmete sich das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser in zwei Projekten im Rahmen des Forschungsprogramms „Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg“ (KLIMOPASS). Für 44 Kommunen in den Regionen Schwarzwald, Baar und Schwäbische Alb wurden die Strukturen der Trinkwasserversorgung erfasst und eine Dargebots-Bedarfsanalyse durchgeführt. Über Ergebnisse, Maßnahmen und Erfolge haben wir mit Projektleiter Dr. Stefan Stauder und Michael Dold, Geschäftsführer der für die Wasserversorgung in sieben Schwarzwaldkommunen verantwortlichen aquavilla GmbH, gesprochen.

**Redaktion: Herr Dr. Stauder, in Ihrem Forschungsprojekt geht es um Konsequenzen des Klimawandels für Quellwasserversorgungen. Mit welchen hauptsächlichen Problemen wurden und werden Wasserversorger in Regionen wie dem exemplarischen Schwarzwald-Baar-Kreis im Zuge des fortschreitenden Klimawandels konfrontiert?**

**Dr. Stefan Stauder:** Die Trinkwasserversorgung im Betrachtungsgebiet erfolgt überwiegend durch die jeweilige Kommune. Dementsprechend handelt es sich meist um kleine Unternehmen, wobei in etwa der Hälfte der 44 Kommunen weniger als 3.000 Einwohner versorgt werden. Die Jahresabgabe dieser kleinen Wasserversorger beträgt weniger als 0,2 Mio. Kubikmeter.

Sehr große Herausforderungen liegen schon darin, dass der Schwarzwald als zentrales Be-

trachtungsgebiet eine stark zergliederte Geomorphologie mit Tälern und großen Höhenunterschieden sowie einer geringen Besiedlungsdichte aufweist. Hier, aber auch in den benachbarten Bereichen wie z. B. der Baar, sind einige der Versorgungssysteme sehr komplex, mit zahlreichen dezentralen und sehr kleinen Anlagen zur Wassergewinnung, Wasseraufbereitung und Speicherung. Viele lokale Wasserressourcen sind auf Kluftsysteme im Festgestein mit geringer Speicherfähigkeit und saisonaler Ergiebigkeit beschränkt. Dementsprechend traten bereits in der Vergangenheit in den Sommermonaten Versorgungsengpässe auf. Nach den aktuellen Klimaprognosen wird das Ausmaß der Trocken- bzw. Hitzeperioden zukünftig zunehmen. Mit wachsenden Problemen ist also zu rechnen.



### Redaktion: Mit welchen konkreten Fragestellungen haben Sie sich im Rahmen des Projektes beschäftigt?

**Stauder:** In den 44 Kommunen wurden alle relevanten Wasserversorgungsanlagen ermittelt und mit ihren wesentlichen Kenndaten in einem GIS dokumentiert. Insgesamt handelte es sich um 775 Bauwerke, darunter Brunnen, Quellen, Wasserwerke, Hochbehälter und Pumpwerke, sowie 1.100 km Versorgungsleitungen. Zudem wurden Rohwasseranalysedaten ausgewertet. Für mehrere repräsentative Quellgewinnungen erfolgte eine Vulnerabilitätsanalyse anhand der Auswertung hydrogeologischer Gutachten, einer Ortsbegehung und spezifischer Wasseranalysen, unter anderem zur Trübung und zur Mikrobiologie.

Zudem wurden Wasserbedarfsanalysen durchgeführt und u. a. unter Auswertung der bestehenden Wasserentnahmerechte das künftige Wasserdargebot ermittelt. Die Abschätzung der künftig aus den relativ kleinen Quellen im Kristallin/Buntsandstein bzw. aus Kalkgeröllen zur Verfügung stehenden Schüttungsmengen erfolgte dabei auf der Grundlage von Modellrechnungen, die auch verschiedene Klimaprojektionen berücksichtigten. Legt man dabei das „Worst-Case“-Szenario zugrunde, so ist für diese Quellen künftig von einer Halbierung der Mindestschüttung auszugehen.

Die im Projekt entwickelte Gesamtmethodik liefert ein übersichtliches Strukturkonzept, mit dem für die einzelnen Kommunen spezifische Maßnahmen zur Anpassung der Wasserversorgung an den Klimawandel ausgearbeitet werden konnten. Sie ist auf andere Kommunen und Untersuchungsgebiete übertragbar.

### Redaktion: Herr Dold, wie sind die Wasserversorgungsstrukturen innerhalb Ihres Aufgabenbereichs organisiert? Welche Veränderungen im Wasserdargebot und Wassermanagement haben Sie im Laufe der letzten Jahre festgestellt?

**Michael Dold:** Die aquavilla GmbH ist eine interkommunale Dienstleistungs-GmbH zum Betrieb der Wasserversor-



Dr. Stefan Stauder

gung in den beteiligten Kommunen. Gesellschafter sind die Städte Furtwangen, St. Georgen, Triberg und Vöhrenbach, die Gemeinden Königsfeld und Schönwald sowie die EGT Energie GmbH. Die Kommunen sind nach wie vor Eigentümer der gesamten Anlagen von der Gewinnung über Aufbereitung, Speicherung, Verteilung bis hin zum Hausanschluss und der Zählereinrichtung im Haus des Kunden. Auch wird der Wasserpreis in jeder Kommune getrennt berechnet, es gibt keinen einheitlichen Wasserpreis.

Die erkennbaren klimatischen Veränderungen wirken sich zunehmend auf das Wasserdargebot, also auf unsere Quellen und deren Verhalten aus. Lokal sind die Auswirkungen aber durchaus unterschiedlich. Ist in einem Trockenjahr die Schüttung der Quellen in einem Bereich schwächer ausgeprägt, ist die Situation in einem zweiten, nur wenige Kilometer entfernten Bereich wesentlich entspannter. In einem Folgejahr kann dies auch umgekehrt sein. In den Jahren 2015 und 2016 war sogar

die Sicherstellung der Wasserversorgung in einzelnen Gemeinden in Gefahr. Insbesondere die vielen Quellen der Eigenwasserversorgungsanlagen im Schwarzwald zeigen genau diese Auffälligkeiten. Die teilweise lange Trockenheit im Wechsel mit extrem starken Niederschlägen machen der Wasserversorgung erhebliche Probleme. Hier kann durchaus von einer Herausforderung neuen Ausmaßes gesprochen werden. Dabei rückt das Augenmerk immer mehr auf die instabile Wasserqualität des Rohwassers.

### Redaktion: Inwieweit gab es kritische Momente in der Wasserversorgung, vor allem während der besonders trockenen Perioden in den Jahren 2018 und 2019?

**Dold:** Die öffentliche Wasserversorgung der beteiligten Kommunen der aquavilla GmbH hatte in den von Ihnen angesprochenen Jahren geringere Probleme, da zusätzlich Wasser über Nachbargemeinden eingespeist werden konnte. Die Eigenwasserversorgungsanlagen ohne Anschluss an das öffentliche Versorgungsnetz hatten

#### Zur Person

Dr. Stefan Stauder studierte Chemieingenieurwesen an der Universität Karlsruhe, promovierte er von der Universität Dresden. Seit 1992 ist Stauder wissenschaftlicher Mitarbeiter beim TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser mit den Arbeitsschwerpunkten Konzeption und Optimierung von Trinkwasseraufbereitungsanlagen (Filtration/Flockung, Membrantechnik, biologische Verfahren) und Wasserversorgungskonzepte.



Quelle: aquavilla GmbH

Michael Dold

erhebliche Probleme, ihre Wasserversorgung aufrechtzuerhalten. In vielen Fällen musste das Wasser mit Tanks oder entsprechenden Behältern angefahren oder geliefert werden.

**Redaktion: Herr Dr. Stauder, welche klimainduzierten Veränderungen bzw. Einflüsse auf die Rohwasserqualität haben Sie festgestellt?**

**Stauder:** Die „typischen“ Quellwässer aus dem Kristallin/Buntsandstein oder aus Kalkgeröllen sind in der überwiegenden Zeit trübstofffrei und nicht oder lediglich sehr gering mikrobiologisch belastet. Dementsprechend erfolgt die Wasseraufbereitung in den meisten Fällen bislang lediglich durch eine Desinfektion mit Chlor und gegebenenfalls durch Entsäuerungsfiltration. Die Datenerhebungen ergaben jedoch, dass viele dieser Quellwässer nach Starkregen deutlich eintrüben und dann auch signifikante mikrobiologische Belastungen und zum Teil erhöhte Gehalte an natürlichen organischen Substanzen – sogenannte Huminstoffe – aufweisen können. Unter anderem wird zeitweise der nach der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung im Ablauf

einer partikelabtrennenden Stufe einzuhaltende Maximalwert für die Trübung von 0,2 NTU überschritten. Oftmals parallel auftretende erhöhte Huminstoffgehalte können dabei die Desinfektion mit Mitteln auf Chlorbasis oder mittels UV-Bestrahlung beeinträchtigen.

Bedingt durch den prognostizierten Klimawandel mit einer steigenden Zahl an Trockenperioden und Unwettern ist damit zu rechnen, dass problematische Rohwasserhältnisse künftig häufiger und in einer größeren Zahl von Quellen auftreten. Nach derzeitiger Einschätzung sind im Betrachtungsgebiet mittel- bis langfristig bei über 70 Prozent der zur Trinkwassergewinnung genutzten Quellwässer weitergehende Aufbereitungsmaßnahmen erforderlich. Dies kann beispielsweise durch eine Membranfiltration zur Partikelentfernung, also eine Ultrafiltration, mit nachgeschalteter Desinfektion erfolgen.

Für die im Betrachtungsgebiet mengenmäßig überwiegenden Grundwässer sind keine nachteiligen Veränderungen der Rohwasserbeschaffenheit durch die prognostizierten Klimaänderungen zu erwarten.

**Redaktion: Welche Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel wurden anhand der Ergebnisse erarbeitet?**

**Stauder:** Die Untersuchungen ergaben, dass im Betrachtungsgebiet die meisten Wasserversorger, die relativ kleine Quellen im Kristallin/Buntsandstein oder aus Kalkgeröllen nutzen, bereits „zweite Standbeine“ in Form von Grundwasserbrunnen oder Wasserbezugsmöglichkeiten geschaffen haben. Somit sind dort keine Mengendefizite infolge des Klimawandels zu erwarten. Für einzelne Kommunen, in denen nach wie vor ausschließlich Quellwasser aus kleinen lokalen Gewinnungen zur Verfügung steht, wurden entsprechende Maßnahmen vorgeschlagen. Hinsichtlich erhöhtem Hochwasserrisiko wurden im Betrachtungsgebiet zwei Gewinnungen identifiziert und weitergehende Maßnahmen, u. a. zur Optimierung der Wasseraufbereitung, vorgeschlagen.

Weite Bereiche des Betrachtungsgebiets sind bereits vernetzt, d. h., kleine lokale Gewinnungen sind durch Wasserbezug abgesichert und können im Extremfall zumindest zeitweise komplett ersetzt werden. In längeren Trockenperioden mit den prognostizierten Rückgängen der Quellschüttungen werden dabei künftig in vielen Kommunen bestehende Alternativversorgungen aus zentralen Grundwassergewinnungen essenziell. Die entsprechenden Anlagen wurden identifiziert und eine eingehende Überwachung der langfristig gewinnbaren Grundwassermenge empfohlen. In den Sommermonaten muss die Nennleistung dieser zentralen Anlagen durchgehend gewährleistet sein.

Aus den langjährigen Messdaten für die Grundwasserstände und für die Schüttungen der größeren Karstfassungen ( $Q_{\min} > 50l/s$ ) ergeben sich keine Hinweise auf ein rückläufiges Grundwasserangebot im Betrachtungsgebiet. Allerdings ist der Schwarzwald-Baar-Kreis eine vergleichsweise niederschlagsreiche Region, so dass dieser Befund nicht auf ganz Deutschland übertragbar ist. Die für die kleineren Quellen im Kristallin/Buntsandstein oder aus Kalkgeröllen abgeschätzten Rückgänge der Schüttungs-

**Zur Person**

Michael Dold ist staatlich geprüfter Wassermeister, von 1990 bis 2002 war er Betriebsleiter der Stadtwerke Triberg. Seit der Gründung im Jahr 2002 ist er Geschäftsführer der aquavilla GmbH und seit 2008 auch aktiv im Vorstand und als Beisitzer der DVGW-Bezirksgruppe Südbaden.



mengen dürften demgegenüber in vergleichbaren Quellgebieten anderer Regionen noch deutlicher ausgeprägt sein.

**Redaktion: Welche Erkenntnisse wurden gewonnen, um die Resilienz der Versorger gegenüber klimabedingten Extremereignissen zu stärken?**

**Stauder:** Als Folge des Klimawandels sind neben dem Wassermangel, z. B. infolge zu geringer Quellschüttung in Trockenperioden, auch Liefereinschränkungen durch extreme Wetterereignisse wie Überschwemmungen oder einen Stromausfall durch Sturmschäden zu berücksichtigen. Nach den Klimaprognosen treten derartige Situationen künftig häufiger auf, so dass Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz an Bedeutung gewinnen.

Im Hinblick auf längere Stromausfälle sind die meisten Kommunen im Betrachtungsgebiet dadurch abgesichert, dass die Versorgung aus relativ groß bemessenen Hochbehältern erfolgt, die ein Speichervolumen des zwei- bis vierfachen mittleren Tagesbedarfs umfassen. Auch die Löschwasserbereitstellung ist in der Regel auf diese Weise gewährleistet. Für Zonen, die über Druckerhöhungsanlagen beliefert werden, sind oftmals bereits Notstromaggregate vorhanden. Auch die Rohwasserförderung und die Aufbereitung sind meist durch derartige Aggregate abgesichert. Für Bereiche mit Defiziten wurden entsprechende Maßnahmen zur Erhöhung der Resilienz vorgeschlagen.

In einigen Bereichen des Betrachtungsgebiets mit relativ hoher Einwohnerzahl kommt dem Fernwasserbezug vom Zweckverband Bodensee-Wasserversorgung eine wesentliche Bedeutung zu. Ein Ausfall dieses Bezugs kann nicht oder nur ungenügend kompensiert werden. Eine weitere interkommunale Vernetzung wäre hier unter dem Aspekt Resilienz anzustreben. Hierzu ständen regional ergiebige Grundwasservorkommen zur Verfügung. Allerdings wären dafür relativ hohe Investitionen u. a. in den Leitungsbau erforderlich. Typischerweise werden solche Anlagen im Normalfall nicht oder lediglich in ge-

ringem Umfang benötigt und betrieben, so dass daraus vergleichsweise hohe spezifische Kosten resultieren würden. Zu berücksichtigen ist auch, dass dadurch historisch gewachsene Versorgungsstrukturen entbehrlich würden, was dem Ziel des Erhalts lokaler Grund- und Quellwassergewinnungen entgegensteht.

**Redaktion: Herr Dold, welche Maßnahmen wurden in Ihrem Gebiet zum jetzigen Zeitpunkt bereits umgesetzt? Und welche sind kurz-, mittel- und langfristig noch geplant und umsetzbar?**

**Dold:** Die Erfahrung der Trockenjahre 2015 und 2016 hat gezeigt, dass die öffentliche Wasserversorgung bei Kommunen ohne Redundanz nicht mehr sicher ist. Deshalb haben sich Kommunen mit einer Nachbarkommune zusammengetan und eine Verbundleitung gebaut. Von der in Betrieb befindlichen „Ersatzwasserversorgung“ kann Wasser in Trockenzeiten und zur Abdeckung von Spitzen bezogen werden. Das ist eine tolle Sache!

Um weiter für die klimatischen Veränderungen und deren Folgen gerüstet zu sein, werden derzeit in mehreren Kommunen Strukturgutachten erarbeitet. Hauptziel ist, den Ausbau der Wasserversorgung so zu gestalten, dass Redundanzen geschaffen werden und möglichst vielen Gebäuden, die bisher noch keinen Anschluss an die öffentliche Wasserversorgung hatten, einen Anschluss zu ermöglichen. Gerade bei solchen Planungen mit Blick über den Tellerrand hinaus können Wasserleitungstrassen erarbeitet werden, die sonst als nicht machbar erachtet wurden.

**Redaktion: Inwieweit sehen Sie Ihre Kommunen bzw. Ihren eventuellen Verbund mit Nachbarkommunen für die Herausforderungen des Klimawandels in Bezug auf die Wasserversorgung gerüstet? Welche sind die größten Hürden, die es zu überwinden gilt?**

**Dold:** Wie bereits erwähnt sind wir mit der Verbundleitung als Ersatzwasserversorgung nun gut aufgestellt. Dies ermutigt uns, genau an dieser Stelle weiter zu planen und weitere Verbund-

leitungen von Gemeinden herzustellen. Die dabei zu bewältigenden Hürden sind sicherlich finanzieller Natur. Solche gewaltigen Investitionen lassen sich nur stemmen, wenn Bund und Land diese mit Förderprojekten unterstützen und dementsprechend ausreichend ausstatten.

Eine weitere große Herausforderung wird die Unterhaltung und die Rehabilitation des Wasserrohrnetzes sein. Hier gilt es, die Wasserverluste so zu minimieren, dass das Verhältnis zwischen Wasserdargebot und Verteilung erträglich ist. Natürlich ist eine niedrige Verlustquote ein Dauerthema und sicherlich zugleich die größte Herausforderung, der wir uns stellen müssen, zumindest in kleinen Wasserversorgungsnetzen.

**Redaktion: Vielen Dank für das Gespräch!**

**Forschungsprojekte**

1. Vulnerabilitätsanalyse von Wasserversorgungsunternehmen im südlichen Schwarzwald hinsichtlich des Klimawandels
2. Entwicklung eines modellhaften Strukturkonzeptes zur Anpassung der Wasserversorgung an den Klimawandel und dessen Umsetzung in den Landkreisen Schwarzwald-Baar-Kreis und Tuttlingen

**Projektpartner**

GIT HydroS Consult GmbH, Freiburg  
Landratsamt Schwarzwald-Baar-Kreis  
Landratsamt Tuttlingen

**Förderung**

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

**Projektdauer**

2014 bis 2018

**Ansprechpartner**

Dr. Stefan Stauder  
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Tel.: 0721 9678-122  
E-Mail: stefan.stauder@tzw.de

# Entfärbung huminstoffreicher Grundwässer mittels Ozonung

Der in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) genannte Grenzwert der Färbung (SAK<sub>436</sub>) wird in einigen Grundwasserwerken in Deutschland **nur knapp eingehalten oder in Einzelfällen sogar überschritten**. Gleichzeitig fehlt es Wasserversorgern und Ingenieurbüros bis heute an Handlungsempfehlungen, mit denen die Färbung reduziert werden kann. Im Kontext des Klimawandels wird diese Reduzierung jedoch immer wichtiger: Als **Reaktion auf den steigenden Wasserbedarf** werden Versorgungsunternehmen in Zukunft verstärkt auch gefärbte Grundwässer für die Wasserversorgung nutzen müssen. Das DVGW-Forschungsvorhaben Col\_Ex (Förder-Nr.: W 201719) hat vor diesem Hintergrund **verschiedene Verfahren zur selektiven Entfernung** von färbenden DOC-Anteilen praxisnah und vergleichend untersucht. Der Beitrag stellt Ergebnisse aus Laboruntersuchungen zur Ozonung verschiedener gefärbter bromidhaltiger Grundwässer vor, diskutiert diese und gibt einen Ausblick auf die weiteren Projektarbeiten.

von: Jakob Kämmler, Dr.-Ing. Barbara Wendler & Prof. Dr.-Ing. Mathias Ernst (alle: DVGW-Forschungsstelle an der Technischen Universität Hamburg)

Grundwässer können aufgrund regional vorkommender Einlagerungen von Torf- bzw. Braunkohlensanden in den Grundwasserleitern eine Färbung durch organische Bestandteile, vor allem Huminstoffe, aufweisen. Dies betrifft beispielsweise einige Grundwässer in Ostfriesland und in verschiedenen Regionen Brandenburgs. Die Färbung ist durch den Grenzwert der Trinkwasserverordnung für den spektralen Absorptionskoeffizienten  $SAK_{436} < 0,5 \text{ m}^{-1}$  als Indikatorparameter reglementiert.

Im Kontext des Klimawandels gewinnen Verfahren zur Entfärbung an Be-

deutung: So müssen zum einen bei steigendem Wasserbedarf durch den Klimawandel auch gefärbte Grundwässer für die Wasserversorgung genutzt werden. Zum anderen ist davon auszugehen, dass durch Klimawandelbedingte Starkregen-Ereignisse und Auswaschung von Huminstoffen aus dem Boden die Huminstoffkonzentration nicht nur in Oberflächengewässern, sondern auch im Grundwasser ansteigen könnte [1]. In einer Studie des IWW Zentrum Wasser wurden in Verbindung mit steigenden Grundwassertemperaturen auch steigende Konzentrationen organischen Kohlenstoffs in

Grundwässern festgestellt [2]. Entsprechend könnte, bedingt durch den Klimawandel, folglich auch die Färbung in Grundwässern zunehmen.

In der Regel sind erhöhte Färbungswerte zwar gesundheitlich unbedenklich, da sie von Huminstoffen hervorgerufen werden. Sie bieten aber aus ästhetischer Sicht beim Konsumenten Grund zur Beschwerde. Weiterhin sind Grundwässer mit hohen Färbungswerten durch gelöste Huminstoffe in der Regel anaerob und enthalten hohe Konzentrationen an Eisen und Mangan. Durch die Organik ergeben sich daher häufig Probleme bei der Eisen- und Manganentfernung. Vor diesem Hintergrund fördert der DVGW das laufende Projekt Col\_Ex, um zu erarbeiten, mit welchen Behandlungsverfahren im Rahmen der Grundwasseraufbereitung eine Entfärbung nachhaltig und kosteneffizient realisiert werden kann.

## Verfahren zur Entfernung von DOC und zur Entfärbung

Zur Entfernung von DOC (Dissolved Organic Carbon, gelöster organischer Kohlenstoff) und speziell zur Entfer-

**Tabelle 1: Analysen der untersuchten Trinkwässer**

	Wasser A	Wasser B	Wasser C	Wasser D	Wasser E
TOC [mg/l]	4,8	5,2	3,5	6,2	5,9
pH [-]	7,8	7,6	8,0	7,7	7,8
LF <sub>25</sub> [µS/cm]	623	685	447	526	263
Ks <sub>4,3</sub> [mmol/l]	2,7	4,1	2,4	2,9	1,7
SAK <sub>254</sub> [m <sup>-1</sup> ]	16,7	14	15,1	19,1	16,5
<b>SAK<sub>436</sub> [m<sup>-1</sup>]</b>	<b>0,90</b>	<b>0,41</b>	<b>1,20</b>	<b>0,64</b>	<b>0,54</b>
Eisen [mg/l]	<0,02	<0,03	0,06	0,01	0,1
Bromid [mg/l]	0,33	0,11	0,18	0,07	0,09

Quelle: TUHH

nung von färbenden Anteilen des DOC können verschiedene Verfahren mit grundsätzlich unterschiedlichen Wirkmechanismen eingesetzt werden. So lassen sich erstens stoffabtrennende Verfahren nutzen; dies sind – neben der Flockung bzw. Fällung (in Kombination mit Filtration) – verschiedene Verfahren der Adsorption und des Ionenaustauschs sowie die Nanofiltration. Zweitens sind auch stoffumwandelnde Verfahren der Oxidation geeignet. Eine umfassende Verfahrensübersicht bietet [3].

Unter den Oxidationsverfahren wird als ein Schwerpunkt des genannten Forschungsvorhabens die Ozonung mit nachgeschalteter Biofiltration untersucht. Diese Technik wird bisher fast ausschließlich in Oberflächenwässern aus anderen Aufbereitungsgründen (z. B. Desinfektion, Geruchsstoffe oder Vorflockung) eingesetzt. Ozon greift selektiv chromophore Moleküle an, daher kann mit geringen Dosen eine gute Entfärbung erzielt werden. Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist, dass keine Reststoffströme (wie beispielsweise Schlamm oder Konzentrate) anfallen. Nach der Oxidation ist eine nachgeschaltete Biofiltration notwendig, damit die mikrobiologische Stabilität des Wassers wieder hergestellt wird. Nachteile der Ozonung sind neben der Erhöhung der biologischen Verfügbarkeit des DOC auch die potenzielle Bromatbildung bzw. die Entwicklung von Transformationsnebenprodukten.

## Laborversuche zur Entfärbung mittels Ozon

### Material und Methoden

Die Entfärbung durch Ozonung wurde im Forschungsvorhaben anhand von Wässern aus insgesamt fünf Wasserwerken in Nord- und Ostdeutschland untersucht (Tab. 1). Die Proben wurden dabei jeweils aus dem Reinwasserbehälter entnommen, nachdem das Wasser in der Regel ausschließlich durch Belüftung und Filtration aufbereitet wurde. Ausnahmen sind Wasser A (zusätzliche biologische Ammoniumentfernung, Flockung mit geringen Mengen  $Al^{3+}$

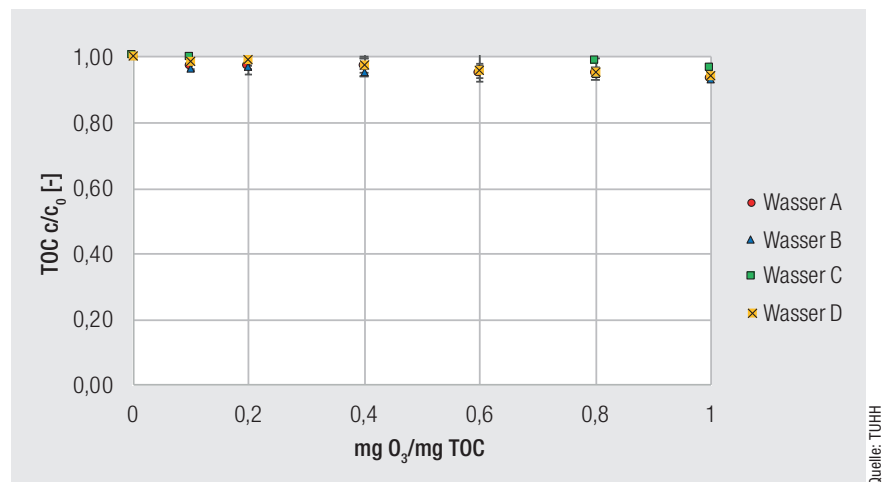


Abb. 1: TOC-Abnahme durch die Ozonung relativ zur Startkonzentration.  $n = 3$ , Mittelwerte und Standardabweichung (liegt aufgrund geringer Werte teils innerhalb der Symbole). Keine TOC-Werte für Wasser E vorhanden.

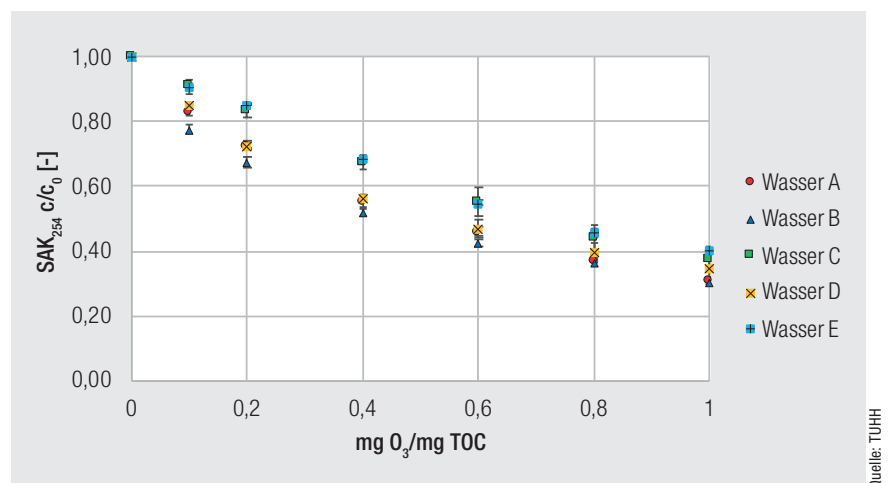


Abb. 2:  $SAK_{254}$ -Abnahme durch die Ozonung relativ zum Startwert.  $n = 3$ , Mittelwerte und Standardabweichung

und abschließende Desinfektion mit UV-Licht) sowie Wasser E, welches aufgrund hoher Eisengehalte im Rohwasser zusätzlich mit Calciumhydroxid ( $Ca(OH)_2$ ) behandelt wurde, wodurch es im Vergleich zu den anderen Wässern eine geringere Leitfähigkeit und eine geringere Säurekapazität aufweist. Die Wässer weisen einen Total Organic Carbon (TOC)-Gehalt zwischen 3,5 und 6,2 Milligramm pro Liter ( $mg/l$ ) auf. TOC und DOC liegen für die filtrierten Grundwässer eng beieinander. Die Färbung ( $SAK_{436}$ ) variiert deutlicher zwischen 0,41 und 1,20  $m^{-1}$ , was auf eine recht große Heterogenität der natürlichen organischen Stoffe in den verschiedenen Wässern hinweist. Der Bromidgehalt, relevant für die Bromatbildung bei der Ozonung, liegt zwischen 0,07 und 0,33  $mg/l$ . Dabei wei-

sen die küstennahen Grundwässer A und C die höchsten Bromidgehalte auf.

Die Ozonung der Wässer wurde im Labormaßstab bei 20 °C mittels Injektion einer Ozon-Stammlösung durchgeführt („Starkwasserversuch“). Die spezifischen, weil auf den TOC der Wässer bezogenen Dosierungen lagen zwischen 0,1 und 1  $mg$  Ozon/ $mg$  TOC. Die Analytik fand nach kompletter Reaktion des Ozons statt, d. h. frühestens vier Stunden nach Zugabe der Stammlösung. Es wurden die Parameter TOC,  $SAK_{254}$ ,  $SAK_{436}$  und der Bromatgehalt der Proben untersucht.

### Ergebnisse

Der TOC als Summenparameter der natürlichen organischen Substanzen hat sich durch die Ozonung kaum ver-

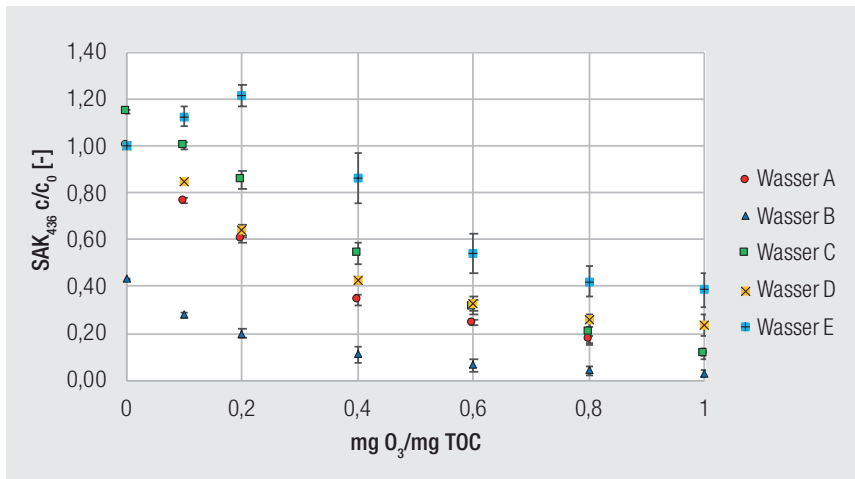


Abb. 3:  $SAK_{436}$ -Abnahme durch die Ozonung relativ zum Startwert.  $n = 3$ , Mittelwerte und Standardabweichung

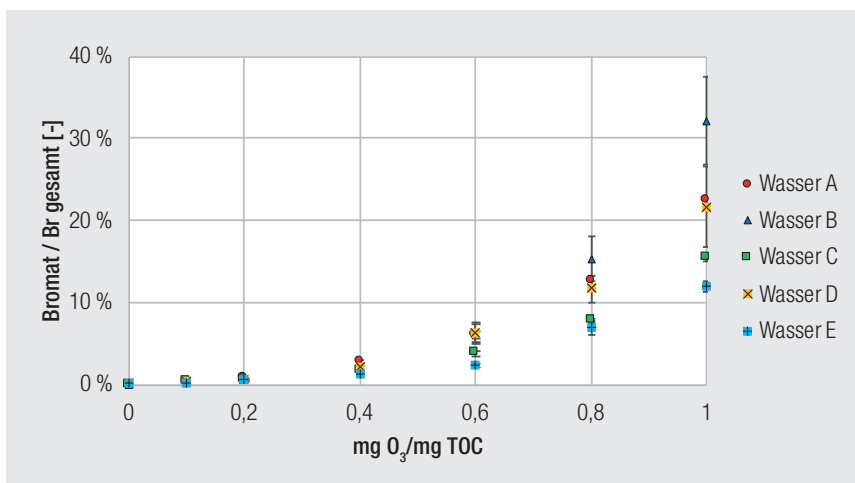


Abb. 4: Bromatbildung durch die Ozonung relativ zur Bromidkonzentration im unbehandelten Wasser.  $n = 3$ , Mittelwerte und Standardabweichung

ändert (Abb. 1). Nur bei den höchsten Ozondosierungen von 0,8 und 1,0 mg Ozon/mg TOC ließ sich eine geringfügige TOC-Abnahme in allen Wässern feststellen. Der Rückgang ist auf die Oxidation natürlicher organischer Stoffe zu  $CO_2$  zurückzuführen.

Die UV-Absorption bei 254 nm ( $SAK_{254}$ ) als ein Maß für organische Doppelbindungen in den natürlichen organischen Stoffen veränderte sich deutlich stärker als der TOC. Die Verläufe der unterschiedlichen Wässer, dargestellt in Abbildung 2, liegen recht nah beieinander, sodass für eine Reduktion von 50 Prozent eine spezifische Ozondosis von etwa 0,6 mg Ozon/mg TOC ausgemacht werden kann. Mit steigender Ozondosis ist ein Abflachen der Kurven sichtbar, jedoch

ist eine weitergehende Reduktion der UV-Absorption bei größeren Ozondosierungen zu erwarten.

Die Färbung, gemessen als  $SAK_{436}$ , wurde durch die Ozonung noch stärker reduziert als die UV-Absorption (Abb. 3). Bei den untersuchten Wässern wurde für eine Reduktion um 50 Prozent eine spezifische Ozondosis zwischen 0,2 und 0,4 mg Ozon/mg TOC benötigt. Eine Ausnahme hiervon bildete Wasser E, welches eine Zunahme des  $SAK_{436}$  bei geringen Ozondosierungen aufwies. Als Ursache konnte die Entstabilisierung hydrophober kolloidaler DOC-Bestandteile ausgemacht werden (Ergebnisse nicht abgebildet). Allgemein ist die Spreizung der Ergebnisse beim  $SAK_{436}$  größer als bei der UV-Absorption, wobei auch die Ausgangs-

werte weiter voneinander entfernt lagen.

Da alle untersuchten Grundwässer Bromid enthielten, entstand bei der Ozonung auch Bromat – und zwar in allen Wässern und auch bei geringen Ozondosierungen (Abb. 4). Bei geringen spezifischen Ozondosierungen bis 0,2 mg Ozon/mg TOC lag die Bromatbildung in allen Wässern unter 5 Mikrogramm pro Liter ( $\mu\text{g/l}$ ), der Hälfte des Grenzwerts der Trinkwasserverordnung. Bei höheren Ozondosierungen stieg der Bromatgehalt stark an. Die Verläufe sind in den verschiedenen Wässern qualitativ ähnlich, der Anstieg ist aber unterschiedlich stark.

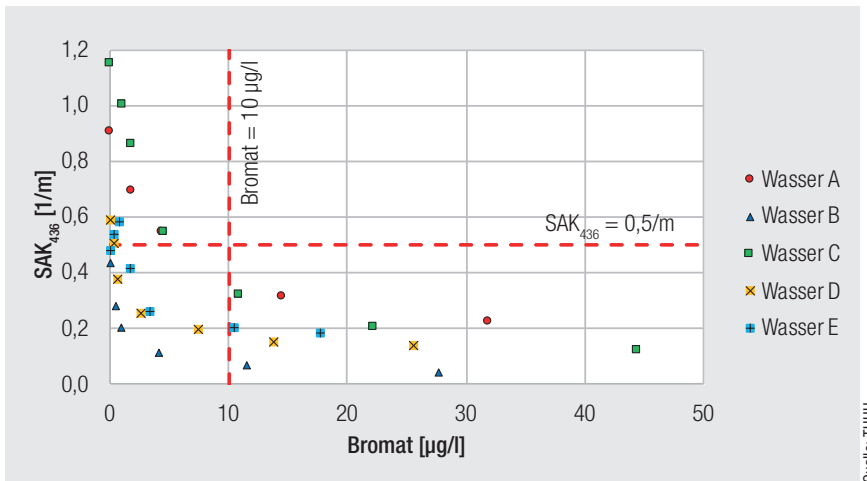
Wie in Abbildung 5 ersichtlich ist, konnte bei allen Wässern der Rahmenbereich der Trinkwasserverordnung erreicht werden, die für den  $SAK_{436}$  einen Grenzwert von  $0,5 \text{ m}^{-1}$  und für Bromat einen Grenzwert von  $10 \mu\text{g/l}$  vorschreibt. Jedoch sind deutliche Unterschreitungen beider Grenzwerte wünschenswert, insbesondere für das Karzinogen Bromat. Die Wässer A und B, die sowohl die höchste Färbung als auch den höchsten Bromidgehalt aufwiesen, konnten mittels Ozonung nur knapp in den Bereich der TrinkwV gebracht werden.

## Diskussion

### Möglichkeiten und Grenzen der Ozonung

In den durchgeführten Laborversuchen konnte eine deutliche Verringerung der Färbung verschiedener Wässer erreicht werden. Die benötigten Ozonmengen waren relativ gering und ließen sich in der Praxis kostengünstig vor Ort und ohne Reststoffströme, bei der In-situ-Erzeugung von Sauerstoff auch ohne Verbrauchsstoffe erzeugen. Nach der Ozonung ist eine biologische Behandlung des Wassers mittels Biofiltration notwendig [4, 5]. Die Bildung von Bromat limitiert die eingesetzte Menge von Ozon zur Aufbereitung von Grundwässern. Die mögliche Dosierung ist insbesondere abhängig von der Bromidkonzentration im Rohwasser, was die Behand-





Quelle: TUHH

Abb. 5: Zielkonflikt Bromatbildung – Entfärbung durch die Ozonung. Die Trinkwasserverordnung gibt  $SAK_{436} < 0,5/m$  und Bromat  $< 10 \mu g/l$  vor.

lung der küstennahen und stark bromidhaltigen Wasser A und C mit Ozon erschwert. Verbesserungen könnten hier durch eine mehrstufige Ozondosierung erzielt werden [6].

#### Offene Forschungsfragen und Projektausblick

Der weitere Fokus der Laborversuche zur Ozonung wird auf dem Zusammenhang zwischen Wassermatrix (insbesondere pH-Wert und Säurekapazität), DOC und Bromatbildung liegen. Damit sollen die unterschiedlich starken Veränderungen von  $SAK_{436}$  und Bromat durch Ozonung der Projektwässer erklärt werden.

Parallel zu den beschriebenen Laborversuchen wurden kleintechnische Versuche zur Ozonung im kontinuierlichen Betrieb (180 l/h) im Technikum der DVGW-Forschungsstelle TUHH und in einem Wasserwerk durchgeführt. Die Auswertung der mehrmonatigen Versuche im Wasserwerk läuft derzeit noch und soll durch Versuche an einem weiteren Wasserwerksstandort ergänzt werden. Die Ergebnisse der Laborversuche können damit besser bewertet werden, zusätzlich dienen die Vor-Ort-Versuche zur Kostenschätzung für die Ozonung.

Auch der Einsatz von Anionenaustauschern kann in salzärmeren Wässern eine Behandlungsmöglichkeit darstellen. Dabei ist vor allem das CARIX-Ver-

fahren mit einem Mischbett-Ionenaustauscher und einer Regeneration mittels Kohlensäure eine Option, bei dem keine Salzlösungen bei der Regeneration anfallen. Dieses Verfahren wurde in Col\_Ex in Laborversuchen zur DOC-Entfernung bzw. Entfärbung getestet. Der Projektpartner TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Außenstelle Dresden, führt im Projekt Col\_Ex umfangreiche kleintechnische Versuche zur Fällung/Flockung sowie zum Einsatz von Kaliumpermanganat an einem weiteren Wasserwerksstandort durch. Damit kann zum Abschluss des Projektes (Laufzeitende: 03/2021) ein Vergleich der Verfahren zur DOC-Entfernung und Entfärbung in Bezug auf Eignung für verschiedene Grundwässer und Kosten erfolgen.

#### Danksagung

Die DVGW-Forschungsstelle TUHH und das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Außenstelle Dresden, bedanken sich beim DVGW für die finanzielle Förderung des Projektes und bei den beteiligten Wasserversorgungsunternehmen für die Unterstützung der Untersuchungen. ■

#### Literatur

- [1] Lipczynska-Kochany, E.: Effect of climate change on humic substances and associated impacts on the quality of surface water and groundwater: A review, in: The Science of the total environment, 640–641 (2018), pp. 1548–1565.

- [2] Riedel, T.: Temperature-associated changes in groundwater quality, in: Journal of Hydrology, Vol. 572 (2019), Iss. 5, pp. 206–212.
- [3] Sillanpää, M.: Natural organic matter in water – Characterization and treatment methods. Butterworth-Heinemann, Oxford 2015.
- [4] Hammes, F., Salhi, E., Köster, O. et al.: Mechanistic and kinetic evaluation of organic disinfection by-product and assimilable organic carbon (AOC) formation during the ozonation of drinking water, in: Water Research, Vol. 40 (2006), Iss. 12, pp. 2275–2286.
- [5] Rittmann, B. E., Stilwell, D., Garside, J.C. et al.: Treatment of a colored groundwater by ozone-biofiltration: pilot studies and modeling interpretation, in: Water Research 36 (2002), Heft 13, S. 3387–3397.
- [6] Lienhard, H., Sontheimer, H.: Influence of Process Conditions on the Effect of Ozone Treatment of Organic Substances in the Water, in: Ozone: Science & Engineering 1 (1979), Heft 1, S. 61–72.

#### Die Autoren

**Jakob Kämmler** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der DVGW-Forschungsstelle TUHH und Ansprechperson für die Entfärbung mittels Ozonung.

**Dr.-Ing. Barbara Wendler** ist Projektkoordinatorin des DVGW-Projektes Col\_Ex an der DVGW-Forschungsstelle TUHH.

**Prof. Dr.-Ing. Mathias Ernst** ist Leiter der DVGW-Forschungsstelle und des Instituts für Wasserressourcen und Wasserversorgung an der Technischen Universität Hamburg.

#### Kontakt:

Jakob Kämmler

Dr.-Ing. Barbara Wendler

DVGW-Forschungsstelle TUHH

Technische Universität Hamburg

Am Schwarzenberg-Campus 3

21073 Hamburg

Tel.: 040 42878-3918

E-Mail: jakob.kaemmler@tuhh.de,

barbara.wendler@tuhh.de

Internet: www.tuhh.de/www/dvgw-tuhh



Quelle: Wupperverband

# Klimawandelanpassung für Talsperrenbetreiber

– Maßnahmensimulationen am Beispiel der Großen Dhünntalsperre

Im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojekts BINGO wurden verschiedene Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Wasserwirtschaft untersucht. In einer Fallstudie an der Großen Dhünntalsperre im Wupperverbandsgebiet wurden dazu Maßnahmen zur Reduktion eines Rohwasserversorgungsdefizits konzeptionell erarbeitet und betriebswirtschaftlich bewertet. Der Fachbeitrag erläutert u. a. die Methodik des Vorhabens und diskutiert dessen Ergebnisse.

von: Clemens Strehl, Andreas Hein (beide: IWW Zentrum Wasser), Marc Scheibel, Paula Lorza (beide: Wupperverband) & Prof. Andreas Hoffjan (TU Dortmund)

Die Sommerperioden der zurückliegenden Jahre 2018, 2019 und 2020 haben gezeigt, dass auch die Talsperren in Deutschland bei langanhaltenden Trockenperioden Risiken ausgesetzt sind: Steigende Durchschnittstemperaturen, ausbleibende Niederschläge und steigende Evapotranspiration – alle diese Faktoren haben in der jüngeren Vergangenheit zu außergewöhnlich niedrigen Wasserständen und veränderten Gütebedingungen in den Talsper-

ren geführt. Den Talsperrenbetreibern in Nordrhein-Westfalen wurde dadurch verdeutlicht, dass ein Absinken der Füllstände auf Werte von mitunter 30 Prozent nicht nur Risikoszenarien sind, sondern durchaus Realität werden können. Damit gehen ernstzunehmende Rohwasserversorgungsrisiken, aber auch gewässerökologische Gefahren in der Talsperre selbst sowie im Unterlauf der Anlage einher.

Vor diesem Hintergrund liefern die Ergebnisse einer Fallstudie aus dem internationalen Forschungsprojekt BINGO<sup>1</sup> gute Beispiele, was Wasserverbände, Talsperrenbetreiber und Wasserversorger machen können, um sich an das steigende Wasserknappheitsrisiko anzupassen. Im Rahmen von BINGO wurden von 2015 bis 2019 unter der Leitung des IWW Zentrums Wasser verschiedene Fallstudien zur Anpassung wasserwirtschaftlicher Systeme an den Klimawandel durchgeführt. Darunter fiel auch eine Fallstudie an der Großen Dhünnstalsperre (GDT) in Kooperation mit dem Wupperverband. Ziel dabei war es, im Rahmen einer Work-

shopserie mit Stakeholdern wie Behördenvertretern, Stadtwerken und benachbarten Wasserverbänden, mögliche Anpassungsmaßnahmen zur Vermeidung eines Rohwasserdefizits aus der GDT zu entwickeln und anschließend zu bewerten.

Die GDT speichert bei Vollstau bis zu 81 Mio. m<sup>3</sup>, stellt in normalen Zeiten bis zu rund 42 Mio. m<sup>3</sup> Rohwasser pro Jahr für angeschlossene Trinkwasserwerke zur Verfügung und versorgt damit bis zu 1 Mio. Einwohner mit Trinkwasser.

### Methodik und Daten

Der Bearbeitungsrahmen folgte dem pragmatischen Forschungsparadigma. Dieser Rahmen ermöglichte eine explorative Fallstudie als betriebswirtschaftliche Anwendungsforschung, in dessen Zentrum die Bewertung und der Vergleich von Anpassungsmaßnahmen lag [1–4].

Notwendige Informationen, Daten, Abstimmungen und Vereinbarungen für die Fallstu-

<sup>1</sup> Bringing INnovation to onGOing water management – A better future under climate change; EU-gefördert, Projektgesamtleitung: LNEC (Portugal); Grand Agreement Number 641739; www.projectbingo.eu/.

# WASSER IN BESTFORM

Entdecken Sie in diesem neuen Fachbuch der IAB auf 183 Seiten herausragende Beispiele aktueller Schwimmbad-Neubauten und -Sanierungen.

Architekten und Ingenieure aus der Bäderwelt haben

Ihr Fachwissen gebündelt und geben wertvolle Empfehlungen zum Gelingen eines Schwimmbadprojektes.

EUR 70,00 (incl. MwSt., zzgl. Versandkosten)

Neuerscheinung  
limitierte Auflage

## SCHWIMMBÄDER FÜR DIE ÖFFENTLICHKEIT

HEUTE UND MORGEN

Dipl.-Ing. Jürgen Kannevischer  
Dipl.-Betriebsw. Nadine Debus-Bast  
Arch. Dipl.-Ing. Christian Bär  
Prof. Dipl.-Ing. Brigitte Häntsch  
Arch. Dipl.-Ing. Christoph Keinemann  
Dipl.-Ing. Bernd Pietsch

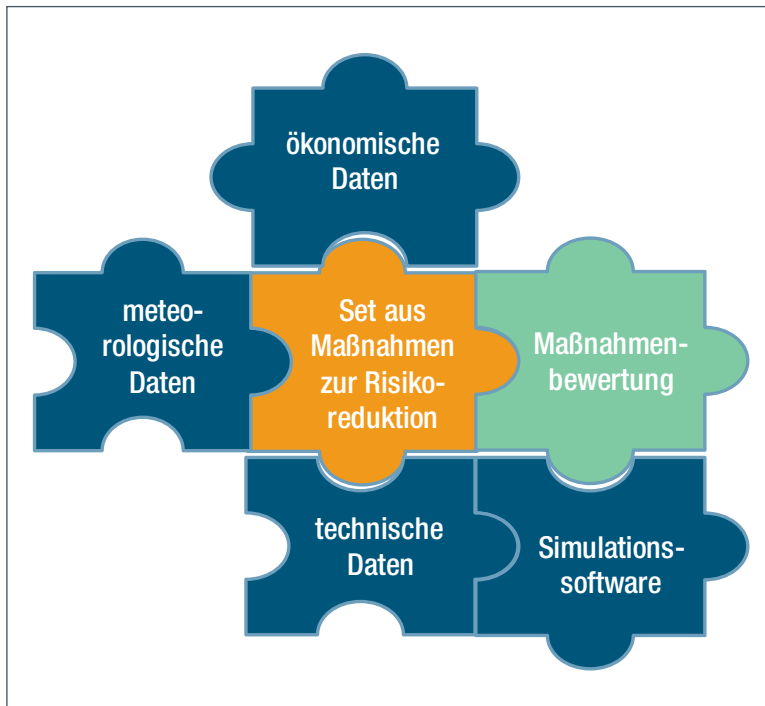
IAB Internationale Akademie für Bäder-, Sport- und Freizeitbauten in Deutschland e. V.

Bestellen Sie jetzt dieses einzigartige Fachbuch

[www.krammergroup.com/web-shop](http://www.krammergroup.com/web-shop)

**IAB** Internationale Akademie für Bäder-, Sport- und Freizeitbauten in Deutschland e. V.





Quelle: IWW Zentrum Wasser

**Abb. 1:** Interdisziplinäre Verknüpfung der Daten für eine Bewertung und einen Vergleich von Anpassungsmaßnahmen

die wurden in einer Serie von insgesamt sechs Workshops erarbeitet. Ergänzend zu diesen Workshops im größeren Rahmen mit bis zu rund 30 Teilnehmern, waren diverse kleinere Workshops zwischen dem Wupperverband als Talsperrenbetreiber und dem IWW Zentrum Wasser erforderlich. Während dieser Abstimmungen kristallisierte sich eine passgenaue Fallstudienmethodik heraus, welche sich an einschlägigen Risikomanagement-Leitlinien wie der DIN-ISO-31000 [5] orientierte:

- Aufstellung des Kontexts
- Risikobeurteilung inkl. Risikoidentifikation, Risikoanalyse und Risikobewertung
- Risikobehandlung inkl. des Vergleichs möglicher Anpassungsmaßnahmen

Wichtig war für die Fallstudie ein interdisziplinäres Vorgehen in den einzelnen Prozessschrit-

ten und Datenanalysen. So mussten z. B. meteorologische Daten und Klimawandelprognosen, technische Maßnahmendimensionierungen sowie Kostendaten für eine aussagekräftige Analyse verknüpft werden (**Abb. 1**).

Sowohl für die Risikoidentifikation als auch die quantitative Risikobewertung waren erstens regionalisierte, meteorologische Zeitreihen als Prognose für das Wuppereinzugsgebiet und zweitens das daran anknüpfende Simulationsmodell des Talsperrenfüllstands (TALSIM von der Firma SYDRO in Anwendung mit dem Wupperverband) besonders wichtig.<sup>2</sup>

Die Zusammenstellung der Kostendaten wiederum erforderte eine umfassende technische Dimensionierung einzelner Maßnahmen nach Vorgaben der Stakeholder sowie den einschlägigen Regeln der Technik [6, 7] und eine finanzmathematische Kalkulation mit aktuellen Literatur- und Marktdaten [8]. Die durchgeführte Ermittlung der Kosten ist auf der Stufe einer Kostenschätzung nach DIN-276 [9] einzuordnen. Methodisch wurde für den Vergleich der Maßnahmen ein sogenannter Kosten-Wirksamkeits-Quotient nach [10] gebildet. Dieser stellt für einen fallspezifischen Maßnahmenvergleich die Kosten ins Verhältnis zu einer Wirksamkeitsgröße. In diesem Fall sollten die Kosten als Jahreskosten gemäß [11] kalkuliert und ins Verhältnis zur jährlich erwartbaren zusätzlichen Wassermenge in m<sup>3</sup> je Maßnahme ausgewiesen werden.

Aus den Workshops und diversen bilateralen Abstimmungen heraus wurden insgesamt vier Maßnahmen zum Vergleich definiert. Diese umfassten, wie in [12] empfohlen, auch überregionale Optionen sowie Maßnahmen auf Wasserangebots- und Wassernachfrageseite (**Tab. 1**).

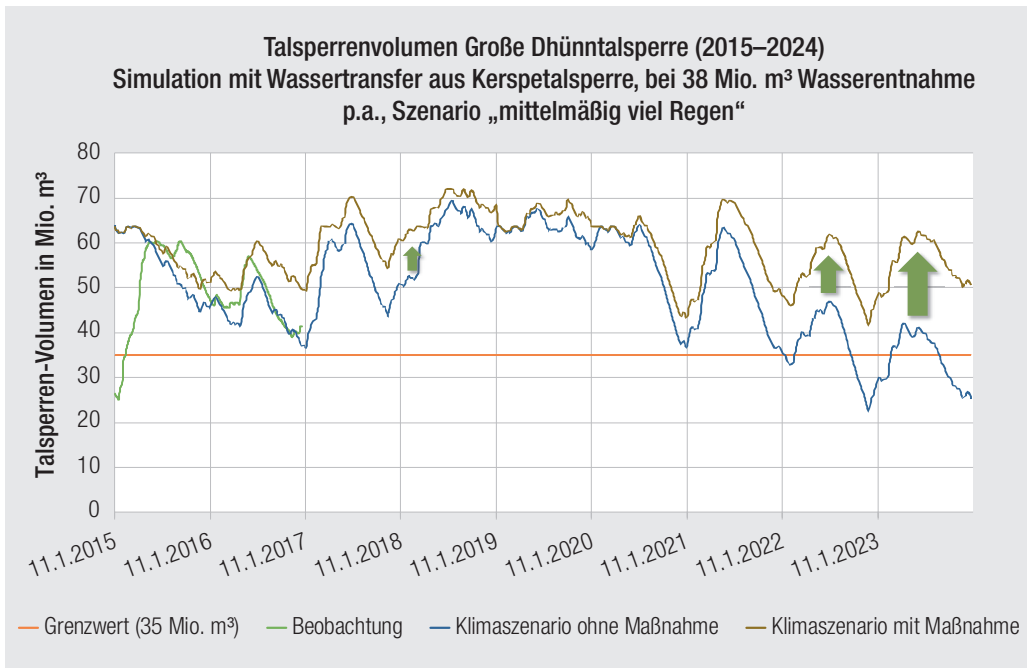
**Tabelle 1: Maßnahmen und Typisierung aus Sicht der Trinkwasserversorgung**

	Maßnahmentyp	Beschreibung
1	Wasserangebot	Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung: weniger Abfluss in den Unterlauf
2	Wasserangebot	Wassertransfer: per Überleitung aus einem anderen Einzugsgebiet zur GDT
3	Wasserangebot (überregional)	alternative Wasserquellen nutzen
4	Wassernachfrage	Wasserverbrauch reduzieren: Wasserspar-/Notmaßnahmen

Quelle: IWW Zentrum Wasser

<sup>2</sup> Die dekadischen Prognosen (Zeitraum 2015–2024) umfassten diverse Szenarien und wurden von der Freien Universität Berlin bereitgestellt. Die Simulationen des Talsperrenfüllstands wurden vom Wupperverband erstellt.





**Abb. 2:** Wirksamkeit der Maßnahme „Wassertransfer“ im Verlauf der Simulation bis 2034 (Daten: Wupperverband und BINGO-Projekt, Paula Lorza)

## Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Risikoanalyse und Bewertung zeigen, dass ohne Maßnahmen das Risiko eines kritischen Füllstands in der GDT hoch ist. Bis zum Jahr 2024 könnte der kritische Schwellwert von 35 Mio. m<sup>3</sup> Einstauvolumen laut Zukunftssimulation mit dekadischen Prognosen im besten Fall an 78 und im schlechtesten Fall an 1.090 Tagen unterschritten werden. Diese Spannweite ist zwar hoch und verdeutlicht die nach wie vor hohe Unsicherheit in den Zukunftsvorhersagen auf Basis regionalisierter

Klimamodelle – dennoch verdeutlicht sie den notwendigen Handlungsbedarf, da ein Trend erkennbar ist.

Simulationen unter Berücksichtigung der Maßnahmen zeigen, wie diese das Wasserknappheitsrisiko reduzieren können. So kann z. B. die Überleitung aus einem anderen Einzugsgebiet (hier von der Kerspetalsperre) zur GDT über die Zeit für einen ausreichenden Volumenausgleich sorgen, wie anhand der Vergleichsrechnungen in **Abbildung 2** (blaue Linie: ohne Überleitung, braune Linie: mit) exemplarisch zu sehen ist.



**Abb. 3:** Luftaufnahme der Großen Dhünntalsperre

Insgesamt kann entsprechend den Simulationsergebnissen mit allen vier Maßnahmenvarianten eine ausreichende Risikoreduktion erreicht werden. Allerdings unterscheiden sie sich auf der Kostenseite beträchtlich: Während bei beiden Infrastrukturmaßnahmen (Wassertransfer und alternative Wasserquelle; hier: Horizontalfilterbrunnen) mit Jahreskosten im mittleren sechsstelligen Bereich zu rechnen ist, entstehen dem Wupperverband durch die Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung Opportunitätskosten im unteren fünfstelligen Bereich, z. B. durch die geringere Stromproduktion der Wasserkraftanlagen an der GDT. Hinzu kommen allerdings noch weitere Kosten für ein begleitendes Monitoring in Form von Material- und Personalkosten. Wasserspar- und Notfallmaßnahmen wiederum würden laut Schätzung mit einem knappen sechsstelligen Betrag günstiger ausfallen.

Die Kostenwirksamkeit ist für die Infrastrukturmaßnahmen deutlich schlechter als für die anderen Maßnahmen. Die Wassertransfermaßnahme liegt bei über 100 Euro/m<sup>3</sup> und die Brunnenmaßnahme bei über 200 Euro/m<sup>3</sup>. Die Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung wiederum beläuft sich auf rund 6 Euro/m<sup>3</sup> (bezogen auf die Opportunitätskosten, ohne noch nicht abschließend evaluierte Gewässermonitoringkosten) und die Wasserspar-/Notfallmaßnahmen auf rund 60 Euro/m<sup>3</sup>. Relativierend ist allerdings bei den Infrastrukturmaßnahmen zu berücksichtigen, dass diese gemäß der technischen Auslegung deutlich höhere Kapazitäten vorhalten, deren Inanspruchnahme die Kosten pro m<sup>3</sup> Wasser deutlich reduzieren würden.

## Fazit und Ausblick

Die Analyse hat gezeigt, dass die Maßnahme der Reduktion der Niedrigwasseraufhöhung schon heute möglich ist und das Potenzial besitzt, das Risiko signifikant zu reduzieren. Sie ist aber nur begleitend durch ein aufwendiges Gewässermonitoring im begrenzten Umfang möglich, verursacht Oppor-

tunitätskosten und steht im Zielkonflikt mit gewässerökologischen Bedürfnissen im Unterlauf. Aus einer vorsorgenden Perspektive heraus ist es in diesem Zusammenhang ratsam, die gleichwohl kostspieligeren Infrastrukturmaßnahmen auf ihre Finanzierbarkeit hin zu prüfen. Sowohl die Überleitung von der Kerspeltalsperre als auch der Bau z. B. eines Horizontalfilterbrunnes würden wahrscheinlich sechsstelligen Jahreskosten nach sich ziehen, sie würden aber auch wesentlich mehr Redundanz für eine sicherere Rohwasserebereitstellung bedeuten und damit die Handlungsoptionen für die Region deutlich erweitern. Damit wären diese Maßnahmen eine passende Antwort auf die Unsicherheiten in der weiteren Entwicklung des Klimawandels.

Der im Rahmen dieser Fallstudie verfolgte Ansatz war stark anwendungsorientiert, wobei der Fokus auf der konzeptionellen Ausarbeitung von Klimawandel-Anpassungsmaßnahmen für die strategische Entscheidungsunterstützung lag. Der Bearbeitungsrahmen des hier präsentierten Ausschnitts der Fallstudie folgte dazu einer betriebswirtschaftlichen Forschungslogik und kombinierte eine interdisziplinäre sowie kooperative Arbeitsweise. Diese Bearbeitungsgrundsätze zur Anpassung an den Klimawandel sind gut auf ähnliche Fälle außerhalb des Versorgungsgebiets der GDT übertragbar. Darüber hinaus können die entwickelten Musterbewertungen einzelner Maßnahmen als Startpunkt zur individuellen Ausarbeitung in Regionen mit ähnlicher Problematik herangezogen werden. ■

### Literatur

- [1] Döring, N., Bortz, J.: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin/Heidelberg 2016.
- [2] Heinen, E.: Industriebetriebslehre – Entscheidungen im Industriebetrieb. Wiesbaden 1991.
- [3] DeGEval: Standards für Evaluation. Mainz 2017.
- [4] Borchardt, A., Göthlich, S. E.: Erkenntnisgewinnung durch Fallstudien, in: Albers, S., Klapper, D., Konradt, U., Walter, A., Wolf, J. (Hrsg.): Methodik der empirischen Forschung, S. 35–48. Wiesbaden 2009.
- [5] DIN-ISO-31000: Risikomanagement – Leitlinien (ISO 31000:2018). Berlin 2018.
- [6] DVGW-Arbeitsblatt W 128: Bau und Ausbau von Horizontalfilterbrunnen.
- [7] DIN-4124: Baugruben und Gräben – Böschungen, Verbau, Arbeitsraumbreiten. Berlin 2012.

- [8] Baur, A., Fritsch, P., Hoch, W., Merkl, G., Rautenberg, J., Weiß, M., Wricke, B.: Mutschmann/Stimmelmayr Taschenbuch der Wasserversorgung. Wiesbaden 2019.
- [9] DIN 276: Kosten im Bauwesen. Berlin 2018.
- [10] Levin, H. M., McEwan, P. J.: Cost-Effectiveness Analysis: Methods and Applications. Thousand Oaks/London 2001.
- [11] DWA: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR Leitlinien). Hennef 2012.
- [12] Garnier, M., Holman, I.: Critical Review of Adaptation Measures to Reduce the Vulnerability of European Drinking Water Resources to the Pressures of Climate Change, in: Environmental Management, 64(2) (2019), S. 138–153.

## Die Autoren

**Clemens Strehl** arbeitet im Bereich für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser in (inter-)nationalen Projekten. Die Fallstudie an der Großen Dhünntalsperre ist Teil seiner laufenden Dissertationsarbeit zum Thema Klimawandelanpassung in der Wasserwirtschaft.

**Andreas Hejn** leitet den Bereich für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser.

**Marc Scheibel** ist Leiter Wassermengenwirtschaft & Hochwasserschutz beim Wupperverband.

**Paula Lorza** arbeitet beim Wupperverband im Sachbereich für Wassermengenwirtschaft & Hochwasserschutz.

**Prof. Andreas Hoffjan** ist Lehrstuhlinhaber an der TU Dortmund für Unternehmensrechnung und Controlling und wissenschaftlicher Direktor des Bereichs für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser.

### Kontakt:

Clemens Strehl  
IWW Zentrum Wasser  
Moritzstr. 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Tel.: 0208 40303-441  
E-Mail: c.strehl@iww-online.de  
Internet: www.iww-online.de

Ab sofort verfügbar!

# CAMPUS

## Das DVGW-Regelwerk – von Anfang an CAMPUS: die Regelwerk-Lizenz für Hochschulen und ihre Studierenden

Die **CAMPUS-Lizenz** bietet...

- die Möglichkeit, allen Studierenden, Lehrenden und Mitarbeitenden der Hochschule das **DVGW-Regelwerk Online** zur Verfügung zu stellen,
- den Zugang mit einfachem Log-in über eine Landing-Page des **DVGW-Regelwerk Online**,
- einen attraktiven Preisvorteil für die Hochschule.

Die **CAMPUS-Lizenz** ermöglicht:

- einen zentral verwalteten Zugang zum **DVGW-Regelwerk Online**,
- die bessere Verfügbarkeit für alle berechtigten Personen
- und den zeitgleichen Zugang für viele und wechselnde Nutzer.

**Wir beraten Sie gern zur CAMPUS-Lizenz!**

wvgw-Kundenservice: **Anja Klausener**, Telefon: **0228 9191-429** oder **klausener@wvgw.de**

➔ [www.mein-regelwerk.de](http://www.mein-regelwerk.de)





Blick auf das Wasserwerk  
Carlsfeld, im Hintergrund die  
gleichnamige Talsperre

Quelle: Südsachsen Wasser GmbH

## Steigende DOC-Konzentrationen in Trinkwassertalsperren: Prognose, Vorsorge, Handlungsoptionen

Die Konzentration **gelöster organischer Kohlenstoffe in den Gewässern** ist in vielen Regionen Deutschlands in den letzten Jahren stark gestiegen. Dieser Anstieg führt dazu, dass sich zahlreiche Wasserversorgungsunternehmen mit einem **Mehraufwand bei der Aufbereitung des Trinkwassers** konfrontiert sehen; dies betrifft naturgemäß die Betreiber von Trinkwassertalsperren überproportional stark. Der Beitrag stellt die **Ergebnisse eines Forschungsvorhabens vor**, welches sich in diesem Zusammenhang mit Prognosen sowie Vorsorge- und Handlungsempfehlungen befasst hat.

von: Dr. Burkhard Wricke (TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser) & Ute Gernke (Südsachsen Wasser GmbH)

Seit rund 20 Jahren steigt die Konzentration des gelösten organischen Kohlenstoffs (Dissolved Organic Carbon, kurz: DOC) in den Gewässern Nordeuropas und -amerikas. In Deutschland sind von dieser Entwicklung insbesondere die Mittelgebirge betroffen, darunter auch Trinkwassertalsperren im Erzgebirge, aus denen der Zweckverband Fernwasser Südsachsen sein Rohwasser für die

Trinkwasseraufbereitung bezieht. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind auch zukünftig weiter steigende DOC-Konzentrationen zu erwarten. Ursächlich für die häufig plötzlich eintretenden und hohen DOC-Einträge in die Talsperren sind insbesondere Starkniederschläge, deren Häufigkeit laut Klimaprognosen in Zukunft in den Sommermonaten zunehmen wird.

Der Anstieg der DOC-Konzentration im Rohwasser führt dazu, dass die Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung steigen. Um die Bildung von Desinfektions-Nebenprodukten zu begrenzen, kann eine weitergehende DOC-Eliminierung erforderlich sein. Unabhängig davon erhöht sich der Flockungsmittelbedarf, um die für die Partikeleliminierung erforderliche Bildung filtrierbarer Flocken zu sichern.



In der Filterstufe führt dies zu einem schnelleren Gütedurchbruch und, damit verbunden, zu kürzeren Filterlaufzeiten.

### Maßnahmen in den Wasserwerken des Zweckverbands Fernwasser Südsachsen

In den Wasserwerken Carlsfeld und Burkersdorf des Zweckverbandes Fernwasser Südsachsen führte der seit Jahren fortschreitende Anstieg der DOC-Konzentration im Rohwasser bereits dazu, dass nach dem zweistufigen Ausbau mit Realisierung einer Flockenfiltration in einer Mehrschichtfilterstufe zusätzliche Maßnahmen zur Sicherung eines stabilen Betriebes erforderlich waren. Im Wasserwerk Carlsfeld (Abb. 1) z. B. wurde die Flockungs- in eine Sedimentationsstufe umgerüstet, um die vorhandene Filteranlage zu entlasten. Damit verbunden war eine Um-



Quelle: Südsachsen Wasser GmbH

Abb. 1: Im Wasserwerk Carlsfeld wurde eine zusätzliche Sedimentationsstufe eingebaut, um den steigenden DOC-Konzentrationen Herr zu werden.

schichtfilter in Einschichtfilter. Im Wasserwerk Burkersdorf (Abb. 2) wiederum wurde die Flockung auf eine saure Flockung umgestellt, bei der mit geringerem Flockungsmittel-

einsatz eine weitergehende DOC-Eliminierung erreicht werden konnte. Damit verbunden war die Einführung einer Sekundärflockung bei einem höheren pH-Wert vor der zweiten Filterstufe, ▶

# PROBEABO

## SHT - DAS MAGAZIN FÜR PLANER UND INSTALLATEURE

Das Probeabonnement endet automatisch nach drei Ausgaben

Bitte senden Sie die SHT 3 Monate kostenlos an

Firma/Name: \_\_\_\_\_

Straße/Hausnummer: \_\_\_\_\_

Postleitzahl/Ort: \_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

Mit Rücksendung dieses Coupons geben Sie Ihr Einverständnis zur Speicherung und Verarbeitung Ihrer personenbezogenen Daten. Sie können der Verarbeitung Ihrer Daten jederzeit widersprechen: Krammer Verlag Düsseldorf AG, Goethestr. 75, 40237 Düsseldorf, Tel.: 0211 / 91 49 3, Fax.: 0211 / 91 49 450, E-Mail: [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de)

Krammer Verlag Düsseldorf AG, 85. Jahrgang, Heft 9 • September 2020

## SANITÄR + HEIZUNGS TECHNIK

Zeitschrift für Planung, Berechnung und Ausführung von sanitär-, heizungs- und klimatechnischen Anlagen

**QUICK SANIERT!**  
Die schnellsten Hauseinführungen von DÖYMA

Abbildung zum Thema Sanierung gibt es hier!

www.doyma.de

KRAMMER GROUP

Special: Mobil Wärme- und Kälteerzeugung  
Trinkwasserhygiene  
Wasserumgebung per Fernwärmefit  
Küchenabzug  
Werkstatteinrichtung modernisieren  
Küchenlüftung  
Abwasserablauf nicht richtig

Coupon an

Krammer Verlag Düsseldorf AG

Goethestraße 75, 40237 Düsseldorf

Fax 0211/9149-450

oder bestellen Sie Ihr Probeabo online

[www.sht-online.de/probeabonnement](http://www.sht-online.de/probeabonnement)

**Abb. 2:** Blick in die Maschinenhalle der Wasseraufbereitung des Wasserwerks Burkersdorf



Quelle: Südsachsen Wasser GmbH

um in dieser die Restaluminium- und Manganeliminierung zu sichern [1].

Ob sich aus weiter steigenden DOC-Konzentrationen in den Rohwässern in diesen und weiteren Wasserwerken des Zweckverbandes die Notwendigkeit eines weiteren Ausbaus der Aufbereitung ergibt, hängt auch von der Leistungsfähigkeit der bereits vorhandenen Aufbereitungsanlagen ab. Um diese zu ermitteln, werden für die Bestimmung der Leistungsgrenzen der in den Aufbereitungsanlagen für die DOC- und Partikeleliminierung vorhandenen Flockungs- und Flockenfiltrationsanlagen verschiedene methodische Grundlagen genutzt, die von TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) entwickelt wurden. Erarbeitet wurden diese Grundlagen im Rahmen des vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung Leipzig (UFZ) koordinierten BMBF-Verbundforschungsvorhabens „Belastung von Trinkwassertalsperren durch gelösten organischen Kohlenstoff: Prognose, Vorsorge, Handlungsempfehlungen (TALKO)“ [2, 3].

### Methodische Grundlagen zur Leistungsfähigkeit der Anlagen

Basierend auf einer Prognose der Entwicklung der DOC-Konzentration im Rohwasser kann bei Kenntnis des Huminstoffanteils und der mittleren Molmasse der Huminstoffe die für die DOC-Eliminierung erforderliche Flockungsmittel-Zugabemenge ermittelt werden.

Dabei ist die für die Bildung abfiltrierbarer Flocken erforderliche, vom Flockungs-pH-Wert und der DOC-Konzentration abhängige Mindestflockungsmittelmenge zu beachten. Die Ermittlung der Leistungsgrenzen der Filteranlagen basiert auf der Bestimmung der erreichbaren Flächenbelastung der Filterstufe, die jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt. Während in Einschichtfilteranlagen ohne Flockungshilfsmitteldosierung ein erhöhter Flockungsmittelseinsatz zu keiner wesentlichen Beeinflussung der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Filterstufe führt, ist diese bei einer Flockenfiltration mit Flockungshilfsmitteldosierung zusätzlich zu beachten. Mit einem erhöhten Flockungsmittelseinsatz steigt auch der Flockungshilfsmittelbedarf. Damit verbunden ist ein schnellerer Filterwiderstandsanstieg, sodass auch die Laufzeit bis zum Erreichen des Grenzfilterwiderstandes leistungsbegrenzend werden kann [4].

Wird die Leistungsgrenze einer Anlage erreicht, stehen für die Erweiterung der Aufbereitung erprobte technische Lösungen zur Verfügung, sofern die erforderliche DOC-Eliminierung noch durch eine optimierte Flockung gesichert werden kann. Neben der Erweiterung der Filterfläche sind dies die bereits genutzte Umstellung auf eine saure Flockung bzw. die Ergänzung der Anlage durch die Vorschaltung einer Grobaufbereitungsstufe. Daneben wurde im Rahmen des TALKO-Projektes die Leistungsfähigkeit der Ultrafiltration mit



vorgeschalteter Flockung untersucht. Im kleintechnischen Versuchsbetrieb konnte dabei nachgewiesen werden, dass der Betrieb der Ultrafiltration keine von der DOC-Konzentration abhängige Mindestflockungsmittelmenge erfordert, die Anlagen aber auch bei Flockungsmittel-Zugabemengen von bis zu 9 mg/l Aluminium, sofern für die DOC-Eliminierung erforderlich, stabil betrieben werden können.

### Verfahren für eine weitergehende DOC-Eliminierung und ihre Möglichkeiten

Für den Fall, dass die erforderliche DOC-Eliminierung auch durch eine optimierte Flockung nicht mehr erreicht werden kann, kommen als Verfahren für die weitergehende DOC-Eliminierung prinzipiell der Einsatz von Adsorberharzen, die Nanofiltration sowie die Verfahrenskombination „Ozonung/biologisch arbeitende Aktivkohlefiltration“ infrage. Ihre Einsetzbarkeit ist dabei unterschiedlich zu bewerten.

Der Einsatz der Verfahrenskombination „Ozonung/biologisch arbeitende Aktivkohlefiltration“ ist insbesondere bei der Aufbereitung von Flusswasser und Uferfiltrat verbreitet. Die praktische Anwendung im Rahmen der Talsperren-Wasseraufbereitung ist auf Einzelfälle beschränkt, wobei die Betriebserfahrungen zeigen, dass auch bei niedrigen Wassertemperaturen ein stabiler Betrieb der Verfahrenskombination möglich ist. Die Ergänzung der vorhandenen Technologie durch diese Verfahrenskombination ermöglicht jedoch unter praktischen Bedingungen nur eine begrenzte DOC-Eliminierung von ca. 1 mg/l.

International großtechnisch erprobt und auch im Rahmen der Talsperren-Wasseraufbereitung angewendet wird die Dosierung von Adsorberharzen vor, mit oder nach einer Flockung. Der erreichte Effekt wird dabei wesentlich von der Struktur und der Zusammensetzung des DOC bestimmt. Für das

Wasserwerk Carlsfeld durchgeführte Untersuchungen zum Adsorberharzeinsatz in Verbindung mit einer Flockung zeigten im konkreten Fall nur einen geringen zusätzlichen Effekt. Probleme beim Einsatz von Adsorberharzen bereitet die Konzentratbehandlung bzw. -entsorgung, die in der Regel durch eine Überleitung auf eine Kläranlage gelöst wird. Für den Fall, dass eine Einleitung in die Kanalisation nicht möglich ist und das Konzentrat über weite Strecken transportiert werden muss, steht bisher keine technisch erprobte Lösung für die Behandlung zur Verfügung.

Ebenfalls international klein- und großtechnisch erprobt ist die Nanofiltration unter Einsatz von Wickelmodulen. Beim Einsatz solcher Module ist eine weitgehende Partikel- und Manganeliminierung vor der Nanofiltration erforderlich, um den Reinigungsaufwand für die Membran zu begrenzen. Ein hoher Aufwand für die Vorreinigung, regelmäßig erforderliche Reinigungen, Probleme mit der Konzentratentsorgung sowie hohe Kosten sind Hauptgründe dafür, dass die Technologie bisher großtechnisch für die Talsperren-Wasseraufbereitung nur in sehr begrenztem Umfang genutzt worden ist. Der Einsatz speziell für die DOC-Eliminierung entwickelter Hohl-faser-Nanofiltrationsmembranen, die auch mit trübstoffhaltigem Wasser beschickt werden können, wurde bisher nur in Pilotanlagen getestet.

### Fazit: Wenig Erfahrung und hoher Forschungsbedarf

Zusammenfassend ist festzustellen, dass für den Einsatz von Verfahren zur weitergehenden DOC-Eliminierung im Rahmen der Talsperren-Wasseraufbereitung in Deutschland bisher keine oder nur unzureichende Erfahrungen vorliegen. Im Rahmen weiterer Forschungsvorhaben sollten deshalb ihre Einsatzmöglichkeiten wie auch ihre Grenzen ermittelt werden. Ein wesentlicher Schwerpunkt ist dabei auch, welche Optionen es für die Entsorgung des Konzentrats gibt.

Als Alternative zur weitergehenden DOC-Eliminierung ist die Umstellung der Desinfektion auf eine UV-Bestrahlung zu untersuchen. Da Fernleitungsnetze schon häufig ohne Restdesinfektionsmittel betrieben werden, sollte aus Sicht des Netzbetriebes bei den derzeitigen DOC-Konzentrationen im Reinwasser der Einsatz der UV-Bestrahlung für die Desinfektion prinzipiell möglich sein. Ob dies auch bei höheren DOC-Konzentrationen der Fall ist, muss im Rahmen der weiteren Forschung untersucht werden. ■

#### Literatur

- [1] Gernke, U., Wricke, B.: Mehr Sicherheit und Wirtschaftlichkeit in den Talsperrenwasserwerken von Südsachsen, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 2/2007, S. 36–37
- [2] Schlussbericht zum Verbundvorhaben „Belastung von Trinkwassertalsperren durch gelösten organischen Kohlenstoff – Prognose, Vorsorge, Handlungsoptionen (TALKO)“, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, DVGW-TZW, IDUS Biologisch analytisches Umweltlabor, 2016
- [3] Wricke, B., Bornmann, K., Plume, S.: Einfluss von gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) auf die Aufbereitung von Talsperrenwässern, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 6+7/2016, S. 68–78.
- [4] Wricke, B., Bornmann, K.: Optimierung der Flockungshilfsmittel-Dosierung in Ein- und Mehrschicht-Filteranlagen, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 6+7/2019, S. 62–71.

#### Die Autoren

**Dr.-Ing. Burkhard Wricke** war bis einschließlich Dezember 2020 Leiter der Außenstelle Dresden des TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser.

**Ute Gernke** ist Geschäftsführerin der Südsachsen Wasser GmbH.

#### Kontakt:

Katrin Bornmann  
DVGW-Technologiezentrum Wasser,  
Außenstelle Dresden  
Wasserwerkstr. 2  
01326 Dresden  
Tel.: 0351 85211-14  
E-Mail: katrin.bornmann@tzw.de  
Internet: www.tzw.de

# Sulfathaltige Grundwässer durch Nanofiltration nutzbar machen

– aerobe und anaerobe Verfahrensvarianten

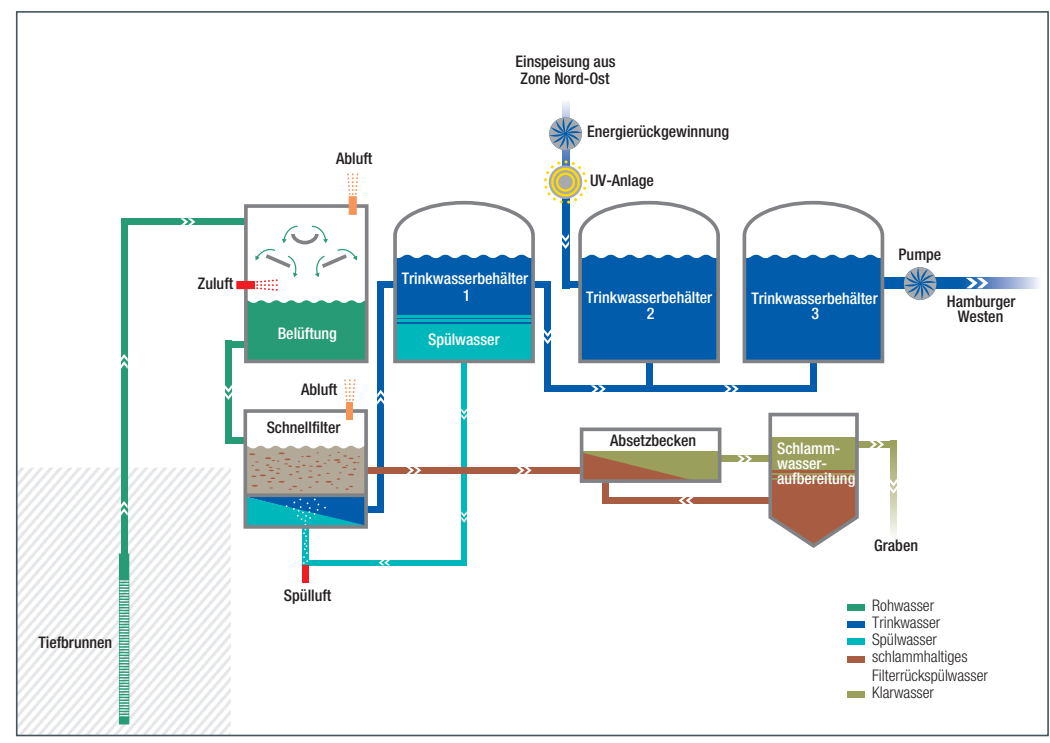
Aufgrund von wachsenden Einwohnerzahlen steigt der Trinkwasserbedarf der Stadt Hamburg, des Weiteren auch die Spitzenabgaben während Hitzeperioden. **Teilversalzene und stark sulfathaltige Grundwässer**, wie sie z. B. im Wasserwerk Hamburg-Stellingen vorkommen, können aktuell jedoch nur begrenzt genutzt werden, um die Trinkwasserproduktion in der Hansestadt zu steigern. In dem genannten Wasserwerk werden daher im laufenden BMWi-Projekt SULEMAN **verschiedene Verfahrensvarianten der Nanofiltration** zur Entfernung von Sulfat getestet. Der Beitrag stellt vor diesen Hintergrund Ergebnisse der anaeroben Behandlung von Brunnenwasser und der aeroben Behandlung von Reinwasser mittels Nanofiltration gegenüber, ergänzt durch die Ergebnisse von Versuchen **mit einer neuartigen beschichteten Membran**. Ein Ausblick auf die weiteren Projektarbeiten rundet den Beitrag ab.

von: Dorothea Mergel, Sebastian Ernst, Elena Jacki, Lynn Massaki Claasen (alle: HAMBURG WASSER), Jakob Stumme & Dr.-Ing. Barbara Wendler (beide: DVGW-Forschungsstelle TUHH)

Der Trinkwasserbedarf der Stadt Hamburg steigt aufgrund wachsender Einwohnerzahlen, ferner auch die Spitzenabgaben während der häufiger werdenden Hitzeperioden. Bis ins Jahr 2030 rechnen die Verantwortlichen deshalb mit einem Anstieg des Jahreswasserbedarfs in der Größenordnung von 2 bis 6 Prozent im Vergleich zu 2017 [1].

In 2018 wurden an insgesamt 21 Tagen mehr als 400.000 m<sup>3</sup> Trinkwasser an die Kunden im Stadtgebiet der Hansestadt abgegeben, während es im Zeitraum zwischen 2007 und 2017 lediglich sieben solcher Spitzenabgabe-Tage gab. Diese Zahlen zeigen deutlich, wie sich die Häufigkeit wie auch die Dauer von Hitzeperioden in den letzten zehn Jahren auf den Wasserverbrauch ausgewirkt haben.

Abb. 1: Fließschema des Wasserwerks Stellingen



Quelle: HAMBURG WASSER



Um den steigenden Bedarf langfristig decken zu können, werden derzeit Möglichkeiten zur ressourceneffizienten Erhöhung der Trinkwasserproduktion untersucht. Erhöhte Salzkonzentrationen in Tiefengrundwässern limitieren eine Steigerung der Trinkwasserproduktion. Zu nennen sind hier u. a. hohe Sulfatkonzentrationen in Brunnenwässern des Wasserwerks Stellingen. Die Nanofiltration kommt als Ergänzung zu den bestehenden Aufbereitungsschritten im Wasserwerk infrage, um Salze aus dem geförderten Grundwasser (Rohwasser) zu entfernen.

Hintergrund und Ausgangssituation ist, dass im Wasserwerk Stellingen die Sulfatkonzentration des aufbereiteten Wassers oberhalb des gesetzlichen Grenzwerts der Trinkwasserverordnung (TrinkwV) von 250 Milligramm pro Liter (mg/l) liegt. Um den Grenzwert für Sulfat sicher zu unterschreiten, wird das aufbereitete Wasser aus dem Wasserwerk deshalb derzeit mit Trinkwasser aus der Hamburger Versorgungszone Nord gemischt. Eine Sulfatentfernung im Teilstrom mittels Membrantechnik könnte das Werk langfristig unabhängig von dieser Vermischung machen und die Nutzung weiterer teilversalzener/sulfathaltiger Brunnenwässer zur Steigerung der Trinkwasserproduktion ermöglichen. Vor diesem Hintergrund untersucht HAMBURG WASSER zusammen mit weiteren Partnern im laufenden BMWi-Verbundprojekt SULEMAN (vollständiger Projekttitel: Aufbereitung von Grundwässern mit erhöhten Sulfatgehalten: Innovative Optionen und Grenzen eines ressourcen- und insbesondere energieeffizienten Trinkwassermanagements), mit welchen Behandlungsverfahren die Sulfatentfernung im Rahmen der Grundwasseraufbereitung energie- und kosteneffizient realisiert werden kann.

Ziel des Projektes ist es, auf Basis der Versuchsergebnisse Handlungsempfehlungen für die ressourcen- und energieeffiziente Aufbereitung von Rohwässern mit erhöhten Sulfatgehalten für die deutsche Wasserversorgung bereitzustellen. Hierzu werden modifizierte Kapillarmembranen entwickelt und im Praxistest mit kommerziellen Verfahren verglichen. Alle Verfahrensvarianten werden dabei über ihre Lebenszyklen bewertet.

Für den Standort Stellingen von HAMBURG WASSER werden eine dezentrale Aufbereitung des sulfathaltigen Brunnenwassers mittels anaerober Nanofiltration vor der Enteisung/

Tabelle 1: Qualität des Zulaufwassers

Parameter	Zulauf NF anaerob (Brunnenwasser) n = 15	Zulauf NF aerob = Zulauf Kapillar-NF (Reinwasser) n = 6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	570	288
TOC [mg/l]	0,99	1,15
DOC [mg/l]	0,76	1,01
Fe (gelöst) [mg/l]	0,88	< 0,01
Fe (partikulär) [mg/l]	0,03	< 0,01
Mn (gelöst) [mg/l]	0,3	< 0,01
Gesamthärte [°dH]	37,8	26,2
Karbonathärte [°dH]	9,45	8,20
Leitfähigkeit [µS/cm]	1.578	1.001
pH-Wert [-]	7,73	7,30
Temperatur [°C]	12,3	12,9

Quelle: HAMBURG WASSER

Entmanganung im Wasserwerk, eine zentrale Aufbereitung des im Wasserwerk aufbereiteten Wassers (Reinwasser) mittels aerober Nanofiltration sowie eine zentrale Aufbereitung des Reinwassers mittels der neu entwickelten Ka-

## Wir planen, bauen und betreuen

Ihre Membranfiltrationsanlagen, die Prozesse optimieren, Kosten minimieren und Ressourcen schonen.

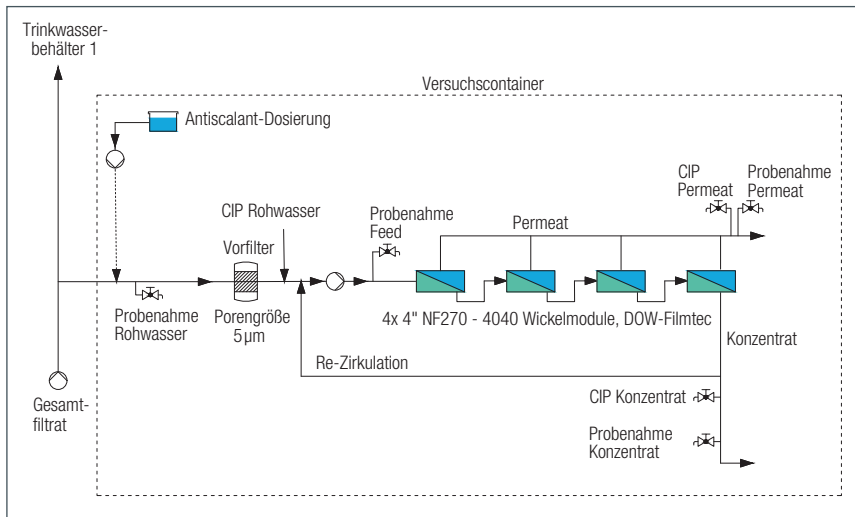
### Innovative Wasseraufbereitung für die Aufgabenbereiche

- Partikelentfernung
- Enthärtung/Entsalzung

**BREMAG**

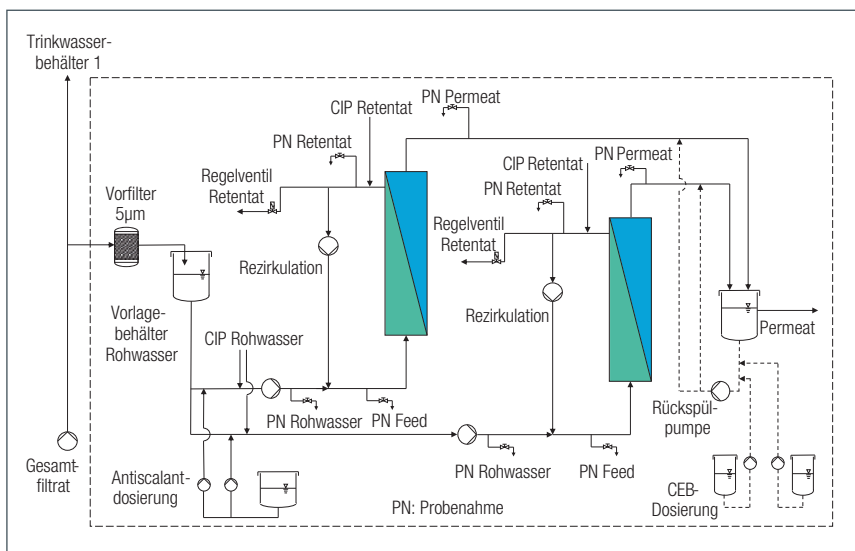
Bremer Anlagen GmbH  
T. +49 421 408 982 20  
vertrieb@bremag.de

[www.bremag.de](http://www.bremag.de)



Quelle: HAMBURG WASSER/BREMAG

**Abb. 2:** Schema der Versuchsanlage: Nanofiltration aerob; im anaeroben Betrieb wird die Anlage anstelle des Gesamtfiltrats mit Brunnenwasser betrieben (CIP – Anschlüsse für chemische Reinigung)



Quelle: DVGW-Forschungsstelle TUHH/BREMAG

**Abb. 3:** Schema der Versuchsanlage für die kapillare NF im Wasserwerk Stellingen

pillarmembranen in mehrmonatigen Pilotversuchen getestet. Leistungsfähigkeit und Fouling der Membranen werden bei unterschiedlichen Betriebs-einstellungen (z. B. Ausbeute, Flächen-belastung) ausgewertet.

### Verfahren zur Sulfatentfernung

Die Nanofiltration (NF) ist ein etabliertes Verfahren der Membranfiltration, das in der Trinkwasseraufbereitung zur Enthärtung, Teilentsalzung und Abtrennung von organischen Spurenstoffen eingesetzt wird [2, 3]. Das aufzubereitende Wasser wird dabei mit einem Druck von typischerweise < 10 bar durch eine nanoporöse Membran gedrückt. Die Entfernung von zweiwertigen

Anionen wie Sulfat ist ein typisches Einsatzgebiet der Nanofiltration. Es muss daher nicht die grundsätzliche Machbarkeit, sondern vielmehr die Energieeffizienz der Aufbereitung, z. B. im Vergleich zum Ionenaustausch-Verfahren Carix, sowie die Stabilität der Filtration insbesondere im anaeroben Betrieb geklärt werden. Ein Untersuchungsschwerpunkt liegt daher auf geeigneten Betriebsparametern, der Membranreinigung und dem Einsatz von Antiscalants für den stabilen Langzeitbetrieb.

Neu ist weiterhin der anaerobe Betrieb der Nanofiltration, d. h., das reduzierte Grundwasser wird komplett ohne Luftkontakt über die Nanofiltration

geleitet. Dies ist die Voraussetzung für eine Teilstrombehandlung, z. B. eines besonders hoch sulfathaltigen reduzierten Brunnenwassers. Im reduzierten Grundwasser liegen Eisen und Mangan gelöst vor und das Wasser kann direkt mittels Nanofiltration aufbereitet werden. Bei Luftkontakt fallen Eisen und Mangan aus. Die Ausfällungen müssen vor der Nanofiltration abgetrennt werden, da die Membranmodule ansonsten verblocken.

Die Layer-by-Layer-Technologie (LbL) stellt eine innovative Möglichkeit dar, Membranen zu modifizieren und die Filtrationscharakteristik anzupassen [4]. Die hier modifizierten Kapillarmembranen sind poröse Ultrafiltrations(UF)-Membranen, welche an sich nahezu keinen Rückhalt für zweiwertige Ionen wie Sulfat aufweisen. Für die Modifikation wird eine dünne Filmschicht aus Polyelektrolyten (PE) auf der Membranoberfläche aufgebracht. Hierfür wird die Membran abwechselnd Polykation- und Polyanion-Lösungen ausgesetzt, wodurch sich sukzessive PE an der Oberfläche anlagern. Je nach Anzahl der Schichten und Beschichtungsparametern werden unterschiedliche, angepasste Filtrationscharakteristiken erzielt [5]. Im Rahmen des Projekts wird eine kapillare UF-Membran mit einem NF-Trennverhalten entwickelt, die einen hohen Rückhalt für Sulfat, einen Betrieb bei möglichst geringen Drücken und eine hydraulische Rückspülbarkeit miteinander vereint.

### Versuchsstandort Wasserwerk Stellingen

Im Wasserwerk Stellingen (WW Stellingen), welches im Jahr 1936 in Betrieb gegangen ist, wird das Rohwasser aus zwölf Tiefbrunnen der Fassungen Eidelstedt und Stellingen gefördert und mithilfe von zwei Rieslern und sechs Betonrundfiltern aufbereitet. Das Wasser wird anschließend in die Reinwasserbehälter zur Speicherung geleitet. Zusätzlich wird aus dem Bereich Nord Trinkwasser in den Behälter geleitet und mit dem Stellingener Wasser vermischt, um die Grenzwerte der Trinkwasserver-

ordnung für Calcitlösekapazität sowie für Sulfat sicher zu unterschreiten. Die Trinkwasserabgabe lag im Jahr 2020 bei rund 7,1 Mio. m<sup>3</sup>/a, wovon ca. 3,4 Mio. m<sup>3</sup>/a aus dem WW Stellingen stammen. Die Differenz wird aus dem Norden zugeführt. **Abbildung 1** zeigt das Fließschema des Werks.

Im anaeroben Betrieb wird die Versuchsanlage im Bypass zum Rohwasser-Hauptstrom direkt mit unbelüftetem Brunnenwasser des sulfathaltigen Brunnens beschickt. Beim aeroben Betrieb der Nanofiltration sowie der Kapillar-NF geschieht dies mit aufbereitetem Wasser (nach der Enteisung/Entmanganung). **Tabelle 1** gibt einen Einblick in die Qualität des Zulaufwassers zur Nanofiltration.

### Versuche zur Sulfatentfernung

Die Versuche zur Sulfatentfernung mittels Nanofiltration (anaerob, aerob) werden mit einer Pilotanlage der Firma

BREMAG (Umkehrosroseanlage Typ ROBA 4.4) und einem Durchsatz von ca. 1 m<sup>3</sup>/h durchgeführt (**Abb. 2**).

Jedes Druckrohr ist mit einem Spiralwickelmodul (NF270-4040) der Firma DOW-Filmtec bestückt. Diese Membran wurde auf Grundlage theoretischer Vorüberlegungen und einem Performance-Vergleich einer Reihe kommerziell verfügbarer NF-Membranen ausgewählt (höchster Sulfatrückhalt bei geringstem Betriebsdruck und höchstem Permeatflux). Es handelt sich um eine Polyamid-Membran (thin-film-composite); die aktive Membranoberfläche beträgt 7,6 m<sup>2</sup> pro Modul und somit insgesamt 30,4 m<sup>2</sup>.

Die modifizierten kapillaren Membranen wurden zunächst im Labormaßstab hergestellt und getestet. Hierfür kamen als Ausgangsmembranen Multibore Polyethersulfon-Membranen (DuPont Inge GmbH) mit sieben Kapillaren zum Einsatz, mit jeweils

einem Durchmesser von 0,9 mm, einer Gesamtlänge von 30 cm und resultierender aktiver Membranfläche von ca. 60 cm<sup>2</sup>.

Die Versuche zur kapillaren NF im Wasserwerk werden in einer zweistraßigen Versuchsanlage der Firma BREMAG durchgeführt (**Abb. 3**). Beide Straßen sind identisch aufgebaut und ermöglichen den simultanen Betrieb unterschiedlicher Membranmodifikationen. Die aktive Membranfläche (ca. 0,45 m<sup>2</sup>) ist deutlich kleiner als bei den kommerziellen NF-Versuchen und ergibt einen Durchsatz von ca. 15 l/h pro Straße. Zur Reinigung der Membran ist die Anlage mit einer hydraulischen Rückspülung, einer chemischen Rückspülung (CEB) und der Möglichkeit eines sogenannten „Cleaning in Place“ (CIP) ausgestattet.

Für die drei Verfahrensvarianten wird untersucht, wie das Trennverhalten und die Leistung der verwendeten

**Initial**<sup>®</sup>  
Die Hygiene-Experten

## Stark gegen Bakterien und Viren

jetzt  
**499,- €\***  
InspireAir 72

entfernt  
**Bakterien,  
Viren u. VOCs**

entfernt  
**99,95 %  
der Luftpartikel**

zeigt  
**Luftqualität  
in Echtzeit an**



jetzt  
**189,- €\***  
Desinfektions-  
säule

entfernt  
**99,9 % der  
Keime, Viren &  
Bakterien**

berührungslose  
**No Touch  
Technologie**

ergiebiger  
**Desinfektions-  
schaum**



Noch bis zum 31.03.2021 Einführungspreise zum Neustart von **Initial – Die Hygiene-Experten** sichern.\*

Jetzt bestellen unter der kostenlosen Hotline  
**0800 HYGIENE / 0800 49 44363**

initial.com/de

\* Preis gültig vom 01.01.-31.03.2021. Preise ohne MwSt. Nicht kombinierbar mit anderen Rabatten und Aktionen. Nur solange der Vorrat reicht. Komplett-paket Desinfektionssäule zzgl. Versand. Bestellnummer: Art. Nr. 568949-1 (Säule), 568947 (Tropfschale), 568956 (Spender), 573215 (UltraProtect Schaum, 1.000 ml). Batterien nicht im Lieferumfang enthalten. InspireAir 72 zzgl. Versand von 6,95 € im gesamten Bundesgebiet Deutschland. Bestellnummer: Art. Nr. 573572.

Der Luftreiniger InspireAir 72 reinigt einen 36 m<sup>2</sup> großen Raum in nur 10 Minuten. Clean air delivery rate (CADR): 615.6 m<sup>3</sup>/h; für Räume bis 72 m<sup>2</sup>. Verwenden Sie entsprechend mehrere Einheiten bei größeren Räumen.

Eine Marke von  
**Rentokil  
Initial**



Membranen durch die Betriebsbedingungen beeinflusst werden. Dabei wird der Einfluss von Ausbeute (Volumenstrom des Permeats/Volumenstrom des Rohwassers) und Flächenbelastung (Permeatflux [ $l/m^2h$ ]), die Effekte der Dosierung chemischer Zusätze (kommerzielle Antiscalants (AS)) zur Vermeidung von Scaling (Ausfallen von Salzen) sowie Wirksamkeit und Einflüsse chemischer Reinigungen ermittelt. Die Bewertung erfolgt auf Basis folgender Parameter:

- Transmembrandruck (TMP, Einheit: bar): Druckdifferenz zwischen Feed- und Permeatseite und damit treibende Kraft des Transports durch die Membran
- Druckdifferenz ( $\Delta p$ , Einheit: bar): Druckverlust längs der Membran zwischen Feed und Konzentrat
- temperatur- und druckkorrigierter Permeatfluss (Einheit:  $l/h$ )
- normierter Salzzückhalt: Verhältnis Salzkonzentration im Feed zur Konzentration im Permeat (Einheit: Prozent)

Auch wenn kein Fouling/Scaling auftritt, verändern variable Umgebungsbedingungen (wie z. B. die Temperatur) die Bewertungsparameter. Aus diesem Grund werden diese Parameter (auf eine Referenztemperatur und die Startbedingungen als 24-Stunden-Mittelwert des jeweiligen Parameters) normiert bzw. korrigiert. Auf diese Weise lassen sich Veränderungen der Umgebung herausrechnen und die Leistung der Membran bestmöglich bewerten und vergleichen.

Während einer Versuchsphase werden die Betriebseinstellungen konstant gehalten. Die Dauer je Versuchsphase beträgt mindestens fünf Wochen, sofern festgelegte Grenzen der Bewertungsparameter nicht überschritten werden. Zum Ende einer Versuchsphase oder bei Überschreiten bestimmter Kriterien (10 bis 15 Prozent Performanceabnahme) wird eine chemische Reinigung mit Phosphorsäure und/oder Natronlauge durchgeführt.

Im anaeroben Betrieb wird unbelüftetes Brunnenwasser direkt über die

Membran geleitet. Ein Sauerstoffeintrag muss bei dieser Betriebsweise zu jeder Zeit vermieden werden: So wird z. B. nach der chemischen Reinigung (CIP) eine Spülung mit Natriumbisulfid durchgeführt, um bei der CIP eingetragenen Sauerstoff aus der Anlage zu entfernen.

In den **Tabellen 2** und **3** sind die durchgeführten Versuchsphasen (VP) gelistet. Die Dosierung des Antiscalants ist jeweils bezogen auf das kommerzielle Flüssigprodukt angegeben, nicht als Wirkstoff.

## Ergebnisse

### Anaerobe Nanofiltration

Beim anaeroben Betrieb der Nanofiltration wird Sulfat während der Versuche immer zu mehr als 98 Prozent zurückgehalten. Ein stabiler Versuchsbetrieb ist durch eine geringe Veränderung des normierten Transmembrandrucks TMP,  $\Delta p$  und der Permeabilität gekennzeichnet. Ein Anstieg des TMP oder Abfall der Permeabilität deutet auf eine Belegung der Membran (Fouling oder Scaling) hin, wohingegen eine Zunahme des  $\Delta p$  auf Ablagerungen in den Feedkanälen der Membranwickelmodule hinweist.

Einen stabilen Betrieb liefert VP I (Ausbeute 75 Prozent, mit Antiscalant-Dosierung auf Phosphonatbasis, Flux  $20 l/m^2h$ ) und annähernd VP II. Die Abnahme der Membranperformance während der Versuchsphasen kann auf organisches Fouling in Kombination mit zweiwertigen Kationen und Huminstoffen sowie auf Scaling durch im Wasser vorhandene Aluminosilikate zurückgeführt werden. Eine höhere Ausbeute (80 Prozent), sowie ein höherer Flux ( $23 l/m^2h$ ) und eine damit einhergehende höhere Membranbelastung verstärken das Fouling und beschleunigen die Leistungsabnahme (**Abb. 4**).

Bei Verzicht auf Antiscalants können (durch Analyse der Reinigungslösungen) einerseits Calciumsulfatscaling, andererseits Eisenausfällungen nach-

**Tabelle 2: Untersuchungsprogramm NF anaerob, CIP nach jeder Versuchsphase, ausgewählte Versuchsphasen**

Versuchsphase	Dauer	Ausbeute	Flux	Permeat	Rezirkulation	Antiscalant-Dosierung und -Art
	Wochen		$l/m^2h$	$l/h$	$l/h$	$mg/l$
I	9	75 %	20	600	600	3 (Phosphonate)
II	6	80 %	20	600	650	3 (Phosphonate)
IV	5	75 %	20	600	600	0
VI	6	75 %	20	600	600	3,8 (Polyacrylate)
VIII	2	75 %	23	700	700	3 (Polyacrylate)

Quelle: HAMBURG WASSER

**Tabelle 3: Untersuchungsprogramm NF aerob, CIP nach Versuchsphase III und Versuchsphase VI**

Versuchsphase	Dauer	Ausbeute	Flux	Permeat	Rezirkulation	Antiscalant-Dosierung und -Art
	Wochen		$l/m^2h$	$l/h$	$l/h$	$mg/l$
I	5	75 %	20	600	600	1,6 (Phosphonate)
II	5	80 %	20	600	650	1,8 (Phosphonate)
III	5	80 %	20	600	650	0
IV	5	75 %	20	600	600	0
V	5	80 %	20	600	650	1,8 (Polyacrylate)
VI	2	80 %	24,7	750	810	1,8 (Polyacrylate)

Quelle: HAMBURG WASSER

gewiesen werden. Eine Antiscalant-Zugabe erweist sich also als notwendig. Das kommerzielle Antiscalant auf Phosphonatbasis (AS 1) erzielt bessere Ergebnisse als das auf Polyacrylatbasis (AS 2). Es wird vermutet, dass das polyacrylatbasierte Antiscalant AS 2 das Biofouling-Potenzial fördert.

Die mit Natronlauge und Phosphorsäure durchgeführten chemischen Reinigungen erweisen sich bei überwiegend organischem Fouling als wirksam, wobei eine zweistufige Reinigung die besten Ergebnisse erzielt. Es wird aber eine geringfügige Verschlechterung der Permeatqualität in Zusammenhang mit den durchgeführten Reinigungen im anaeroben Betrieb beobachtet.

**Aerobe Nanofiltration**

Beim aeroben Betrieb der Nanofiltration wird Sulfat während der Versuche ebenfalls immer zu mehr als 98 Prozent zurückgehalten. Ein stabiler Versuchsbetrieb ist unter Zugabe von Antiscalant bis mindestens 80 Prozent Ausbeute zu beobachten. Die Versuchsphase IV (Ausbeute 75 Prozent, keine Antiscalant-Dosierung) liefert vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich eines Verzichts der Antiscalant-Zugabe im großtechnischen Betrieb. Die Abnahme der Membranperformance während der Versuchsphasen III und IV (keine AS-Zugabe) kann auf Scaling zurückgeführt werden. Ausfällungen der aufkonzentrierten Wasserinhaltsstoffe werden in diesen Versuchsphasen nicht durch Antiscalants verhindert und führen somit zu einem TMP-Anstieg und in Versuchsphase III (Ausbeute 80 Prozent, keine AS-Dosierung) zu einer deutlichen Abnahme des Permeatflusses.

Die Anwendung von Antiscalants verursacht, wie im anaeroben Betrieb, einen Anstieg des  $\Delta p$  (bei konstantem Permeatfluss), während beim TMP nur geringe Änderungen beobachtet wurden. Es wird vermutet, dass das AS Ausfällungen verzögert, diese u. a. durch die Rezirkulation bedingt im Feedkanal und nicht

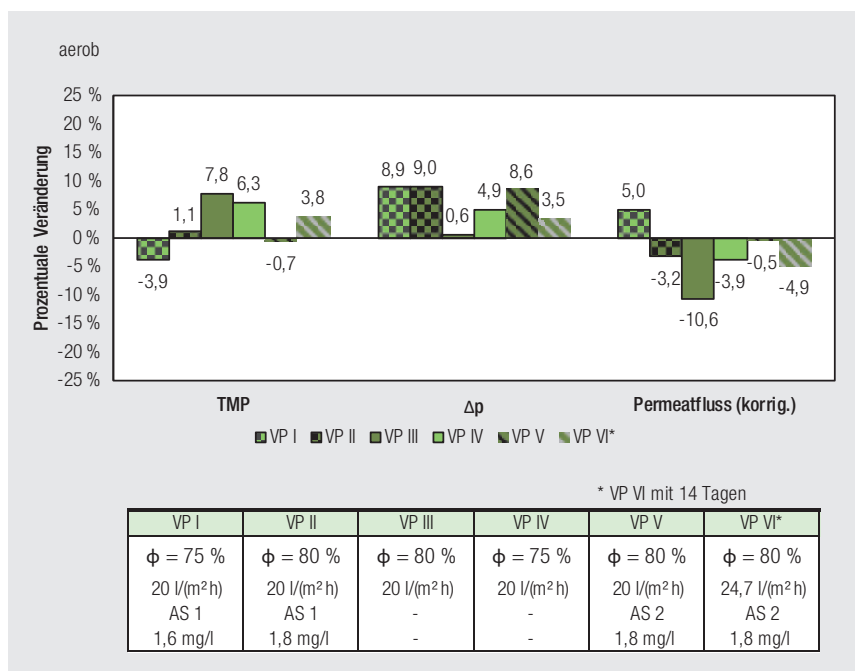


Abb. 4: Versuchsergebnisse der aeroben NF, AS – Antiscalant

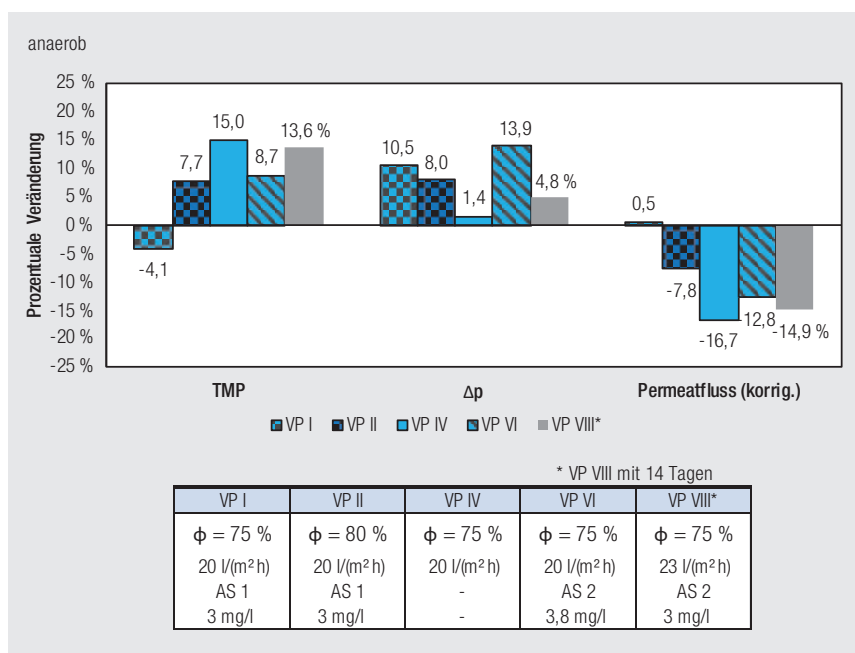


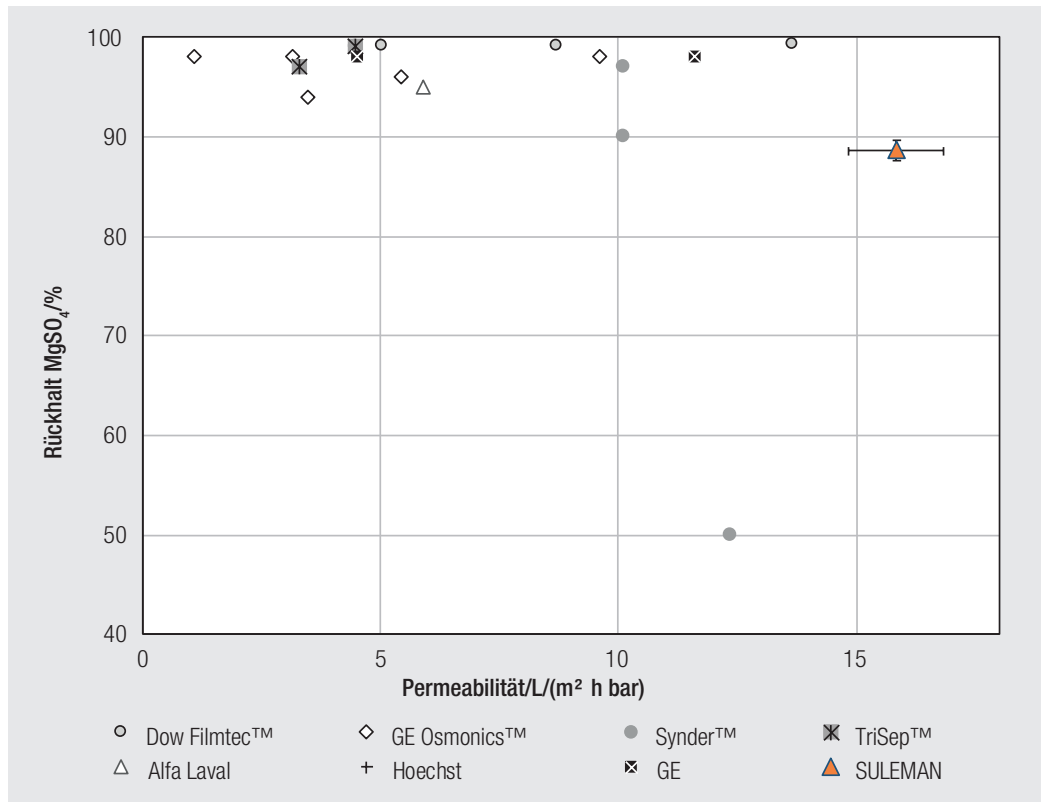
Abb. 5: Versuchsergebnisse der anaeroben NF, ausgewählte Versuchsphasen (VP), AS – Antiscalant

an der Membran stattfinden und so die Membranperformance nicht negativ beeinflussen. Das polyacrylatbasierte Antiscalant (AS 2) liefert – im Gegensatz zu den Erfahrungen im anaeroben Betrieb – gleichwertige Ergebnisse wie das phosphonatbasierte Antiscalant (AS 1) und sorgt für einen stabilen Versuchsbetrieb bei 80 Prozent Ausbeute (Versuchsphase V) (Abb. 5).

**Aerobe kapillare Nanofiltration**

Die kapillaren NF-Membranen konnten im Labormaßstab (Membranfläche ca. 60 cm<sup>2</sup>) erfolgreich modifiziert werden. Es wurden Rückhalte um 90 Prozent für Magnesiumsulfat erreicht, bei Reinwasserpermeabilitäten von ca. 15 l/(m<sup>2</sup> h bar) (Abb. 6). Unter vergleichbaren Betriebsbedingungen liegt die neue Membran damit zwar bei etwas geringeren Rück-

**Abb. 6:** Vergleich der im SULEMAN-Projekt modifizierten Membranen im Labormaßstab (oranges Dreieck) mit kommerziell verfügbaren Nanofiltrationsmembranen (Daten berechnet aus Datenblättern der Hersteller); Testbedingungen: Kapillar-NF: Feedlösung: 2.000 mg/l  $MgSO_4$ , Temperatur: 25 °C, Flux: 30 l/(m<sup>2</sup> h bar), Überströmgeschwindigkeit: 5 m/s, Ausbeute: 15 Prozent, n = 2



Quelle: DVGW-Forschungsstelle TUHH

halten für Magnesiumsulfat als kommerzielle NF-Membranen, die Permeabilität bewegt sich dafür jedoch im höheren Bereich.

Der Modifikationsprozess konnte zudem auf größere Module (Membranfläche von ca. 0,45 m<sup>2</sup>) übertragen werden, sodass auch hier ein Rückhalt von ca. 90 Prozent erreicht wurde. Die Stabilität der Membranen gegenüber hydraulischem Rückspülen wurde zunächst in Technikumsversuchen über 50 Rückspülzyklen getestet. Dabei konnte ein stabiler Betrieb mit gleichbleibenden Trenneigenschaften bis zu einem Rückspülfluss von mindestens 50 l/(m<sup>2</sup> h) festgestellt werden – diese Möglichkeit der mechanischen Reinigung würde einen deutlichen Vorteil gegenüber der kommerziellen NF bedeuten.

Erste Ergebnisse aus dem Betrieb im Wasserwerk zeigen, dass die neue Membran auch mit dem realen Wasser einen Rückhalt für Sulfat von ca. 80 bis 90 Prozent erreicht. Die Langzeitperformance der Membran im Vor-Ort-Versuch ist Teil fortlaufender Untersuchungen.

### Diskussion

Sulfat wird in beiden kommerziellen NF-Verfahrensoptionen (anaerob/aerob) zu mindestens 98 Prozent entfernt, sodass sich das Ver-

fahren sowohl zentral als auch dezentral erfolgreich zur Einhaltung des Sulfat-Grenzwertes anwenden lässt. Eine dezentrale Aufstellung bietet dabei den Vorteil, dass für die Aufbereitung von Wasser an der Stelle der höchsten Belastung eine kleinere Anlage (Zulauf etwa 1/3 im Vergleich zu zentraler NF) ausreichend ist, um den Zielsulfatwert im Reinwasser zu erreichen. Ein sicher zu verhindernder Sauerstoffeintrag im anaeroben Betrieb stellt einen Risikofaktor für die Prozessstabilität dar, zudem ist der Zusatz von Antiscalants erforderlich. Dezentral besteht keine Flexibilität bei der Aufbereitung von Wasser neuer, teilversalzener Brunnen, bei Pumpenausfall oder einem Rückgang der Brunneneignigkeit. Bei einer aeroben NF hingegen ist diese Flexibilität gegeben und auf Antiscalants kann voraussichtlich verzichtet werden. Ein Nachteil ist hier, dass eine größere Anlage zur Aufbereitung des Mischwasserteilstroms benötigt wird, um Sulfat angemessen zu reduzieren.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass in beiden Varianten etwa 20 bis 25 Prozent des zu behandelnden Wassers als Konzentrat anfallen, welches entsorgt werden muss. Ein Verzicht auf Antiscalants ist hierbei von Vorteil. Optionen zur Entsorgung werden noch untersucht. Hinsichtlich Flexibilität, Prozessstabilität und Entsorgungsmöglichkeiten



(kein Antiscalant-Einsatz und geringere Belastung des Konzentrats) wird aus diesen Gründen aktuell eine zentrale Sulfatentfernung favorisiert.

Die kapillare NF-Membran konnte erfolgreich im Labor- und Technikumsmaßstab modifiziert werden. Die Performance der Membran über einen längeren Zeitraum wird in laufenden Vor-Ort-Versuchen untersucht. Dabei werden die Betriebsparameter (Überströmgeschwindigkeit, Ausbeute, Flux etc.) variiert, um den Einfluss auf die Prozessstabilität und das Filtrationsergebnis zu identifizieren. Weiterhin soll die hydraulische Rückspülung als möglicher Vorteil der kapillaren NF gegenüber der kommerziellen NF im Langzeitbetrieb untersucht werden.

## Ausblick

Während die Vor-Ort-Versuche im WW Stellingen mit den kommerziellen NF-Membranen abgeschlossen sind, werden die Versuche mit den neuen kapillaren NF-Membranen weitergeführt, um insbesondere die Stabilität der Membranen und die Reinigungsmöglichkeiten zu testen. Die Ergebnisse mit den verschiedenen Nanofiltrationsverfahren sollen dann im Rahmen des Projektes SULEMAN miteinander verglichen und durch den Projektpartner KompetenzZentrum Wasser Berlin mithilfe eines Life Cycle Assessment bewertet werden. Dabei gehen auch die Projektergebnisse zur Nanofiltration so-

wie zum Ionenaustauschverfahren Carix an einem Wasserwerksstandort der Berliner Wasserbetriebe mit anderer Wasserzusammensetzung ein. Zum Abschluss des Projektes erfolgt dann ein umfassender Vergleich der Verfahren zur Sulfatentfernung in Bezug auf ihre Eignung für verschiedene Grundwässer, Energieeffizienz und Kosten.

## Danksagung

Die Projektpartner des Verbundprojektes SULEMAN (Förderkennzeichen 03ET1574) bedanken sich für die finanzielle Förderung durch das Bundeswirtschaftsministerium (BMWi). Die DVGW-Forschungsstelle TUHH dankt darüber hinaus dem DVGW für die Ko-Finanzierung ihres Teilprojektes (Förder-Nr.: W 201806) sowie den Projektpartnern Surflay Nanotec GmbH und DuPont Inge GmbH für die gute Zusammenarbeit im Bereich LbL-Beschichtung. ■

## Literatur

- [1] Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE): Wasserbedarfsprognose 2050 für das Versorgungsgebiet von HAMBURG WASSER, Aktualisierung der Wasserbedarfsprognose 2045 für das Versorgungsgebiet der Hamburger Wasserwerke GmbH (HWW) in der Metropolregion Hamburg. Unveröffentlichter Endbericht, Frankfurt am Main/München 2019.
- [2] Müller, U., Baldauf, G., Osmera, S., Götsche, R.: Erfassung und Bewertung von Nanofiltrations- und Niederdruckumkehrosenanlagen in der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland. TZW-Schriftenreihe, Band 39, Karlsruhe 2009.
- [3] DVGW-Information WASSER Nr. 72: Nanofiltration und Umkehrosen, Bonn 2009.
- [4] Joseph, N., Ahmadiannamini, P., Hoogenboom, R., Vankelecom, I. F. J.: Layer-by-layer preparation of polyelectrolyte multilayer membranes for separation, in: Polym. Chem. 5/2014, S. 1817–1831.

- [5] Stumme, J., Ashokkumar, O., Dillmann, S., Niestroj-Pahl, R., Ernst, M.: Theoretical Evaluation of Polyelectrolyte Layering during Layer-by-Layer Coating of Ultrafiltration Hollow Fiber Membranes, in: Membranes 2021, 11, 106.

## Die Autoren

**Dorothea Mergel** ist Mitarbeiterin des Bereichs Werke von HAMBURG WASSER und ist Ansprechperson für die Versuche zur Nanofiltration.

**Jakob Stumme** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der DVGW-Forschungsstelle TUHH und Ansprechperson für die Membranbeschichtung mittels LbL-Technik.

**Elena Jacki** und **Lynn Massaki Claasen** betreuen als Masterandinnen die Versuche zur (an-)aeroben Nanofiltration.

**Sebastian Ernst** ist Betriebsingenieur der Werksgruppe West bei HAMBURG WASSER und ist Projektleiter im BMWi-Projekt SULEMAN.

**Dr.-Ing. Barbara Wendler** ist Gruppenleiterin Verfahrenstechnik an der DVGW-Forschungsstelle TUHH und Projektkoordinatorin des BMWi-Projektes SULEMAN.

## Kontakt:

Dr.-Ing. Barbara Wendler  
DVGW-Forschungsstelle TUHH  
Technische Universität Hamburg  
Am Schwarzenberg-Campus 3  
21073 Hamburg  
Tel.: 040 42878-3918  
E-Mail: barbara.wendler@tuhh.de  
Internet: www.tuhh.de/www/dvgw-tuhh



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 2**, enthält Beiträge zu den Themen Sanitär-, Heizungs- sowie Klima- und Lüftungstechnik und stellt Referenzobjekte sowie neue Produkte und Normen aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus mehr zu den Themen:

- **Regenwasser**  
Rückstausicherung mit Unterflurhebeanlagen
- **Sanierungen**  
Heizung: GEG-Quote ist einfach zu wenig
- **Lüftung**  
Ursachen von Leckagen bei Luftleitungssystemen

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter [www.sht-online.de](http://www.sht-online.de).  
Kostenloses Probeheft unter [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de).

# Erschließung von Wasserressourcen für Ersatzlieferungen an geeignete Industriekunden

Im Forschungsprojekt „MULTI-ReUse“ („Modulare Aufbereitung und Monitoring bei der Abwasser-Wiederverwendung“) haben die beteiligten Akteure erfolgreich eine Referenzanlage für die **Wasserwiederverwendung von kommunalem Kläranlagenablauf** konzipiert. Standort der Anlage war die niedersächsische Stadt Nordenham. Das Projekt wurde von einem interdisziplinären Team aus wissenschaftlichen Einrichtungen, Anwendern aus Wasserversorgung und Industrie, Lieferanten sowie Anlagenbauern bearbeitet und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. **Dieser Fachbeitrag erläutert das Vorhaben und gibt einen Ausblick auf potenzielle Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis.**

von: Anja Rohn, Dr. Andreas Nahrstedt, Anil Gaba, Barbara Zimmermann, Dr. Andreas Nocker, Dr. Gerhard Schertzing, Kristina Wencki & Timo Jentzsch (alle: IWW Zentrum Wasser)

Abwasser war in Deutschland bislang als Wasserressource kein Thema; wurde es doch in erster Linie als (Umwelt-)Belastung gesehen und in Kläranlagen so weit gereinigt, dass es in Flüsse und Bäche möglichst schadlos eingeleitet werden kann. Gereinigtes Abwasser fällt gleichwohl in vielen deutschen Kommunen täglich in großen Mengen an – häufig sogar nah an potenziellen Nutzern (wie z. B. Industriebetrieben). Außerdem ist es aufgrund seiner Eigenschaften für eine weitergehende Aufbereitung gut geeignet, denn der Salzgehalt ist moderat, der Nährstoffgehalt weitgehend reduziert, der Feststoffgehalt gering und die Qualität in der

Regel mit geringen Schwankungen verlässlich. Eine Wiederverwendung bietet sich in diesem Zusammenhang vor allem für industrielle und landwirtschaftliche Zwecke an, bei denen Trinkwasserqualität nicht gefordert ist.

Doch aus welchem Grund ist die Nutzung von aufbereitetem Abwasser für die genannten Einsatzzwecke von Interesse? Obwohl Deutschland im Allgemeinen als wasserreiches Land gilt, gibt es auch hierzulande einige Regionen mit sehr begrenzten Grundwasserressourcen. Ein Beispiel dafür ist die niedersächsische Region Wesermarsch an der Nordseeküste: Langfristige Prog-

**Abb. 1:** Pilotanlage mit stehender Ultrafiltration (links), liegender Umkehrosmose (Mitte) und Sandfilter/Filtern mit granulierter Aktivkohle (GAK) (rechts)



Quelle: IWW Zentrum Wasser

nosen zeigen auf, dass hier Versorgungsprobleme zu einem limitierenden Faktor für regionales Wachstum werden könnten. An Standorten in dieser Region werden daher hohe Potenziale für alternative Wasserressourcen gesehen. Als verschärfender Faktor muss hierbei der Klimawandel mit seinen zahlreichen Folgeerscheinungen betrachtet werden: Steigende Temperaturen und ein in der Folge immer weiter anwachsender Bedarf an Trinkwasser haben bereits in der jüngeren Vergangenheit in einigen Regionen zu Engpässen in den Sommermonaten geführt. Umso wichtiger wird in diesem Zusammenhang die Erschließung von alternativen Versorgungsoptionen.

Der Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) geht dieses Problem aktuell an und möchte in der Wesermarsch, am Klärwerk der Stadt Nordenham, Abwasser für die Industrie aufbereiten. Hintergrund ist, dass an dieser Stelle mit der Versorgung von wasserintensiven Industriekunden ein konkreter Bedarf für die Wiederverwendung von Abwasser besteht.

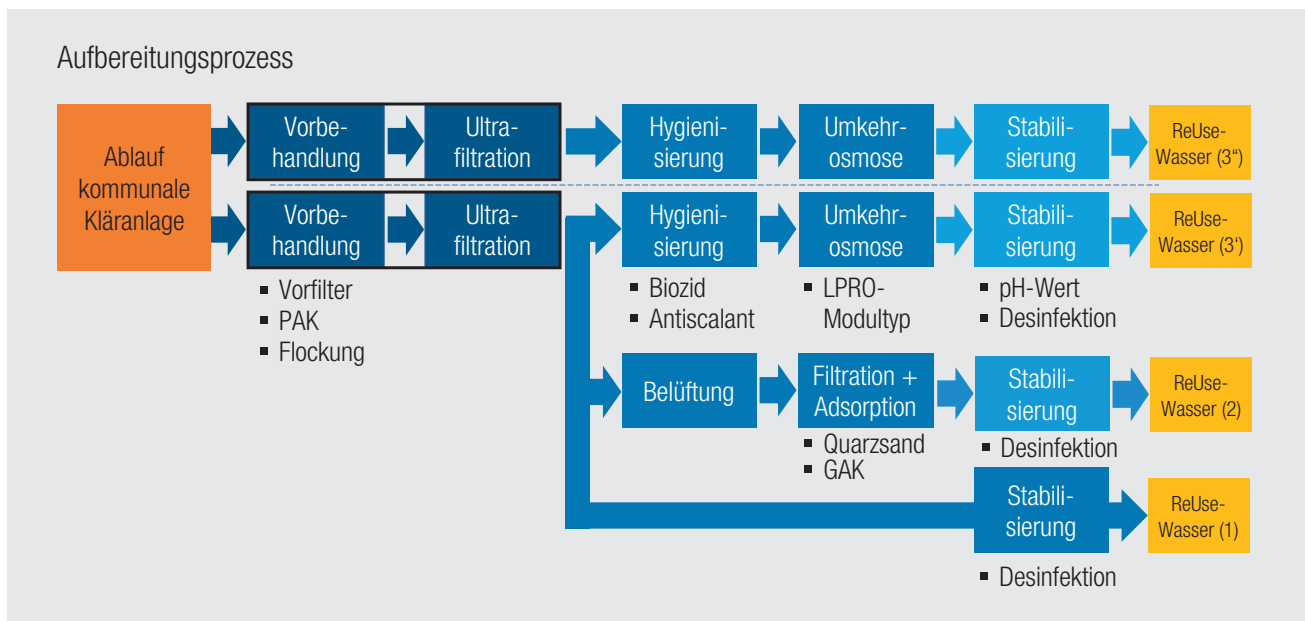
### Verfahrenstechnik

Der Forschungsverbund MULTI-ReUse hat im Projektverlauf auf dem Gelände der besagten Kläranlage in Nordenham eine Pilotanlage mit einem modularen Aufbereitungssystem errichtet und unter realen Bedingungen getestet (Abb. 1). Im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogrammes wurden dabei Betriebswässer unterschiedlicher Qualität aus Kläranlagenablauf produziert. Als zuverlässiges Verfahren in diesem Bereich hat sich weltweit die Mem-

branfiltration bewährt. Auch in der MULTI-ReUse-Anlage waren deshalb die beiden Membranverfahren Ultrafiltration (UF) und Umkehrosmose (UO) die zentralen Prozesse, die mit weiteren Verfahren (wie z. B. Aktivkohlefiltration und UV-Desinfektion) in flexiblen Aufbereitungsketten kombiniert wurden.

UF-Membranen bilden mit Porengrößen unterhalb von 25 Nanometern (nm) eine sichere Barriere für Partikel, Kolloide und somit auch für Bakterien und viele Viren. Daher wurde die UF als erste, zentrale Stufe in insgesamt drei Verfahrensketten gewählt, um eine Hygienisierung des Wassers aller angestrebten unterschiedlichen Qualitätsstufen zu erreichen. Zur Aufbereitung von Kläranlagenablauf für anspruchsvolle industrielle Nutzungen (wie z. B. die Aufarbeitung zu vollentsalztem Wasser) ist wiederum die UO gut geeignet. UO-Membranen bilden mit einer nicht-porösen Membran eine Barriere für (fast) alle im Wasser gelösten Stoffe. Bei der Aufbereitung von Kläranlagenablauf kann es aber verstärkt zur Ausbildung von schlecht entfernbaren Verschmutzungen (Fouling) auf den UF- und UO-Membranen kommen, die die Wirtschaftlichkeit ihrer Prozesse stark beeinträchtigen können. Ein wesentlicher Untersuchungsbedarf bestand deshalb in der Klärung des notwendigen Umfangs einer Vorbehandlung der Wässer vor den Membranprozessen. Außerdem mussten Betriebsparameter wie beispielsweise die notwendige Porengröße der UF-Membran, der spezifische Membranfluss (engl.: Flux) für die Filtration und Rückspülung sowie ihre jeweilige Dauer, die Auswirkung einer mit der UF kombi-

Abb. 2: Verfahrensketten der MULTI-ReUse-Aufbereitung zur Erzeugung unterschiedlicher Wasserqualitäten (Fit-for-Purpose)





nierten Flockung und/oder Pulverkohle (PAK)-Dosierung oder der Einsatz von Antiscalants, Bioziden (Monochloramin) und Reinigungskemikalien aufeinander abgestimmt werden. Auch die Anpassung der UO-Betriebsparameter auf den Gesamtprozess war Bestandteil der Untersuchungen. Die Membranstufen der Pilotanlage waren deshalb jeweils zweistraßig ausgeführt, um verschiedene Prozess-Einstellungen parallel untersuchen zu können.

Um die Nitrifikation zu vervollständigen, assimilierbare organische Kohlenstoffe (Assimilable Organic Carbon, kurz: AOC) biologisch abzubauen und gelöstes Mangan biologisch-katalytisch zu entfernen, wurde der UF eine Biofiltration in Form einer Schnellfiltration mit Sandschüttung nachgeschaltet. Darüber hinaus wurde ein Einmischsystem für Luftsauerstoff im Zulauf nachgerüstet, um den dabei bestehenden hohen Sauerstoffbedarf (Nitrifikation, DOC-Abbau, Entmanganung) zu decken.

Als abschließende Desinfektion bzw. Hygienisierung wurde für die MULTI-ReUse-Anlage die UV-Desinfektion redundant zum Keimrückhalt mittels UF und UO gewählt.

Mit den modular aufgebauten Verfahrensketten der Versuchsanlage war grundsätzlich die Produktion der drei folgenden Betriebswasserqualitäten für unterschiedliche Anwendungszwecke möglich (Abb. 2):

- Linie 1 für ReUse-Wasser 1 (für Reinigungs- und Kühlzwecke): Vorfiltration (Mikrosieb), optional Pulverkohledosierung (PAK), Flockung, UF und UV-Desinfektion
- Linie 2 für ReUse-Wasser 2 (für landwirtschaftliche Bewässerung außerhalb der Lebensmittelproduktion): Vorfilter, Flockung, UF, Sandfiltration und Aktivkohlefiltration
- Linie 3 für ReUse-Wasser 3 (industrielles Prozesswasser): Vorfiltration, optional Pulverkohledosierung, Flockung, UF, chemische Desinfektion, UO, UV-Desinfektion, pH-Anpassung

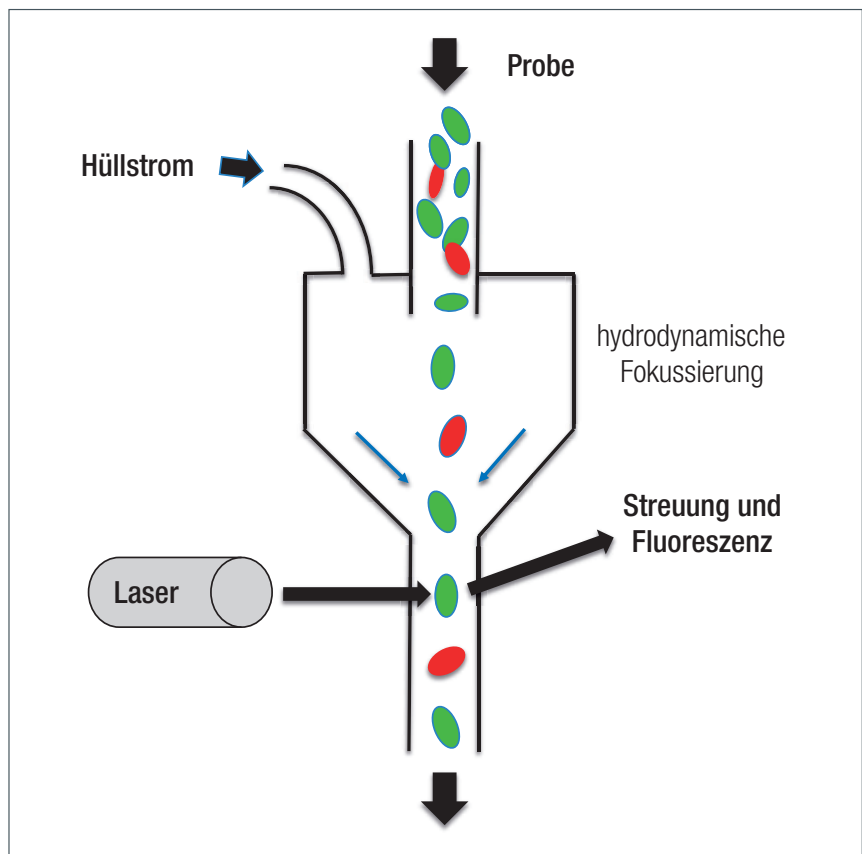


Abb. 3: Prinzip der Durchflusssytometrie

Quelle: IWW Zentrum Wasser

### Innovative Qualitätsüberwachung

Eine wichtige Säule der Wasserwiederverwendung ist ein zuverlässiges Prozess- und Produkt-Monitoring im Rahmen eines sicheren Risikomanagements. Unabhängig von der Anwendung war die hygienische Sicherheit eine Grundforderung für alle im Rahmen des Projektes produzierten Wasserqualitäten. Übliche mikrobiologische Monitoringverfahren beruhen bisher ausschließlich auf der kulturellen Untersuchung von Indikatorbakterien. So muss das Endprodukt frei von Fäkalbakterien wie *E. coli* oder intestinalen Enterokokken sein. Diese Indikatoren wurden auch im Projekt MULTI-ReUse getestet. Zusätzlich untersuchte man Legionellen und den Sporenbildner *Clostridium perfringens*, der typischerweise stabiler und langlebiger ist und damit einen besseren Indikator für persistente Pathogene darstellt. Veränderungen der Koloniezahl bei 22 °C und 36 °C dienen oft zur Beurteilung der Behandlungseffizienz verschiedener Verfahrensstufen – jedoch wurde klar die damit verbundene Prob-

lematik aufgezeigt, dass sich der Anteil kultivierbarer Keime entlang der Aufbereitung stark verändert und die Koloniezahl damit keine quantitativen Schlüsse auf die Veränderungen der Bakterienzahl erlaubt. Aus diesem Grund wurde in MULTI-ReUse die Durchflusssytometrie als kultivierungsunabhängige Methode zur Quantifizierung von Bakterien erprobt und weiterentwickelt. Diese ermöglicht eine Online-Bestimmung aller tatsächlich im Wasser befindlichen Bakterien in Form der Gesamt- und Intaktzellzahl (GZZ und IZZ) sowie die Offline-Bestimmung des Aufkeimungspotenzials (Abb. 3). Bei einer Verwendung des ReUse-Wassers im landwirtschaftlichen Bereich (ReUse-Wasser 2) sind darüber hinaus relevante Mikroschadstoffe zu überwachen und die Risiken durch den möglichen Eintrag von Mikroplastik zu bewerten. Diese Anwendung wird an dieser Stelle aber nicht weiter ausgeführt. Mehr Informationen zum Thema sind in der weiterführenden Literatur und in den Factsheets auf der Projekt-Homepage zu finden.

## Praxistest der MULTI-ReUse-Verfahren

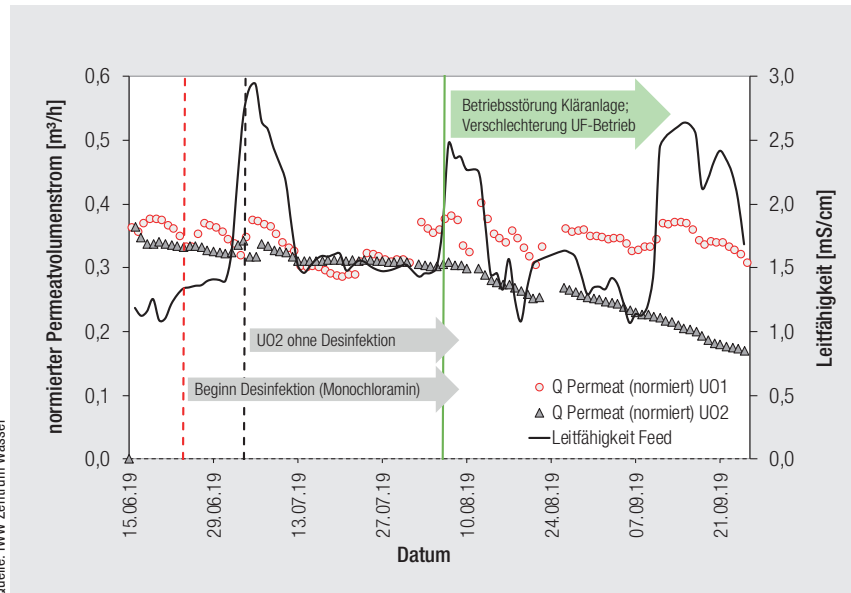
### Optimierte Verfahrenstechnik

Für den Anwendungsfall in Nordenham wird das ReUse-Wasser 3 zum Einsatz in einem Industriebetrieb benötigt. In dieser Verfahrenskette hat sich als Vorbehandlung zur UO der Hybridprozess Flockung-UF mit einer Inside-out betriebenen Multibore-Kapillarmembran während der Pilotierung als robust, leistungs- und anpassungsfähig gezeigt. Im Flockungsprozess stellte sich die Methode des sogenannten „Coatings“ (höhere Flockungsmitteldosierung, z. B. während des ersten Drittels eines Filtrationszyklus und deutliche Reduzierung für die verbleibenden zwei Drittel) als erfolgreich heraus. Der Betrieb war hierbei deutlich stabiler als bei kontinuierlich konstanter Dosiermenge. Ein Verzicht auf Flockung war bei der pilotierten Wasserqualität nicht möglich.

Bei störungsfreiem Kläranlagenbetrieb konnte die UF mit folgenden Betriebsparametern und einer Ausbeute von 90,9 Prozent sowie einer Verfügbarkeit des reinen Filtrationsbetriebs von 93,2 Prozent stabil betrieben werden:

- Flockung mit Eisen(III)-chlorid in einem kombinierten Coating-Modus (mittlere Dosierkonzentration 6 mg Fe<sup>3+</sup>/l) oder mit Dialuminiumhydroxidchlorid (Dosierkonzentration 2–3 mg Al<sup>3+</sup>/l) bei kontinuierlicher Dosierung
- 60 l/(m<sup>2</sup>h) Filtrationsflux
- 45 Minuten Filtrationszeit
- 230 l/(m<sup>2</sup>h) Rückspülflux

Quelle: IWW Zentrum Wasser



- 57 Sekunden Rückspülzeit
- einmal täglich chemisch unterstützter Backwash (CEB) mit einer Sequenz aus Lauge-Phase (NaOH) und Säure-Phase (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)

Abb. 4: Permeabilitäten der UO1 mit und der UO2 ohne Biozid-Dosierung; Leitfähigkeit im Zulauf (Feed)

Aufgrund bisher unbekannter Einflüsse mussten die UF-Betriebsparameter zeitweise dynamisch angepasst werden. Trotz umfangreicher Analytik unter Aufschlüsselung des DOC war es nicht möglich, einen Wasserparameter im Kläranlagenablauf zu identifizieren, der eindeutig mit unüblich hohen transmembranen Druckanstiegen korrelierte. Als Ursache wurden nicht identifizierte Schwankungen der Abwasserqualität, z. B. durch Indirekteinleiter, vermutet. Daher konnten nur adaptive Optimierungsmaßnahmen durchgeführt

## Straßenkappen

Höhenverstellbar KHL XL

KEULAHÜTTE LÜNEBURG  
Armaturen GmbH



Know-how. Beratung. Lieferung.

MADE IN GERMANY

Weitere Informationen:



## INFORMATIONEN

## Informationen zum Forschungsprojekt

Das Forschungsprojekt MULTI-ReUse wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Fördermaßnahme „Zukunftsfähige Technologien und Konzepte zur Erhöhung der Wasserverfügbarkeit durch Wasserwiederverwendung und Entsalzung (WavE)“ gefördert.

**Bearbeitungszeitraum:**

September 2016 bis Dezember 2019

**Projektpartner:**

OOWV Oldenburgisch-Ostfriesischer Wasserverband  
De.EnCon GmbH  
BASF SE/inge GmbH  
LANXESS – IAB Ionenaustauscher GmbH  
Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl Biofilm Centre  
ISOE Institut für sozial-ökologische Forschung GmbH  
DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e. V.  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V. (ZALF)

Mehr Informationen finden Sie auf der Website [www.water-multi-reuse.org](http://www.water-multi-reuse.org).

werden, wie beispielsweise eine zweite CEB-Reinigung pro Tag. Diese Beeinträchtigungen traten aber immer nur zeitlich begrenzt auf und waren reversibel. An dieser Stelle wird weiterer Forschungsbedarf unter Einsatz von mehr Online-Sensorik in der Klärtechnik gesehen, um kausale Zusammenhänge zeitnah zu identifizieren.

Ohne den Einsatz eines Biozids noch vor dem Vorfilter der UO war insbesondere bei hoher Wassertemperatur (bis 21 °C) kein stabiler UO-Betrieb möglich, denn Foulingeffekte im Vorfilter und im UO-Modul verursachten starke Druckanstiege. Als Biozid wurde Monochloramin eingesetzt mit dem Vorteil, dass dieses die UO-Membran weitgehend passiert und somit eine Depotwirkung im Permeat erzeugt. Gebildete Nebenprodukte werden dagegen durch die UO abgetrennt.

**Durchflusszytometrie als Überwachungsverfahren**

Die bakteriologische Online-Qualitätskontrolle mittels „Durchflusszytometrie“ bewährte sich als ein sehr wirkungsvolles Überwachungsverfahren. Dies gilt sowohl für die Wasserqualität als auch für die Leistung der Verfahrensstufen, insbesondere für die UF. Sie ermöglichte innerhalb von 15 Minuten die Bestimmung der bakteriellen GZZ und IZZ. Damit war zum ersten Mal die Abbildung der zeitlichen Veränderungen von Bak-

terienkonzentrationen bei ausgewählten Verfahrensstufen in Fast-Echtzeit möglich. Das Verhältnis der hohen Konzentrationen von GZZ im Feed zu den geringen Konzentrationen im Filtrat erlaubte darüber hinaus eine zeitlich ebenso straffe Integritätsüberwachung der UF.

Kam es zu einer filtratseitigen Erhöhung der Zellzahlen, so war dies auf Stagnation, bedingt durch Ausfall der UF, zurückzuführen. Eine mikrobiologische Aufkeimung wurde mit einer zeitlichen Verzögerung von ca. 1,5 Stunden nach Prozessausfall festgestellt. Das Ausmaß der Aufkeimung korrelierte dabei mit der Länge des Ausfalles der Ultrafiltration. Die erhöhte Bakterienkonzentration durch Stagnation war mittels Durchflusszytometrie klar unterscheidbar von der, die durch Integritätsverlust der Membran verursacht wird. Während bei einer defekten Membran vor allem kleine Bakterien mit einem geringen Nukleinsäuregehalt im Filtrat zu erwarten sind, liegen bei stagnationsbedingter Aufkeimung vorwiegend Bakterien mit höherem Nukleinsäuregehalt und damit (bei Verwendung eines Farbstoffes, der Nukleinsäuren anfärbt) einem stärkerem Fluoreszenzsignal vor.

Eine weitere Stärke der Durchflusszytometrie liegt in der Quantifizierung des biologischen Effektes bei Einsatz oxidativer Biozide. Die Anzahl der Bakterien mit geschädigten Zellmembranen und das Ausmaß der Schädigung konnten direkt gemessen werden, was wiederum die Optimierung der Bioziddosierung ermöglichte. Auf dieser Basis wurde das Dosierintervall so gewählt, um mit möglichst geringer Dosierzeit (und damit Biozideinsatz) einen maximal möglichen biologischen Effekt und Schutz von Vorfilter und UO-Modul zu erreichen.

Eine Mikrobiomanalyse mittels Hochdurchsatz-Sequenzierung ergab ein sehr dynamisches bakterielles Mikrobiom entlang der Aufbereitung, welches substanziellen Veränderungen unterliegt. Die bakteriellen Gemeinschaften der Betriebswasserqualitäten erwiesen sich als stark unterschiedlich zum Mikrobiom des Rohwassers, was auf eine hohe Effizienz der Mikroorganismen-Entfernung in den Aufbereitungsschritten hindeutet.

**Toxikologische Überprüfung der Betriebswässer**

Die erzeugten Betriebswässer wurden toxikologischen Untersuchungen unterzogen, die eine Analyse der gentoxischen und östrogenen Wirkung vor und nach den einzelnen Prozessstufen



beinhalteten. Ein gentoxisches Potenzial konnte dabei weder im Zu- noch im Ablauf der MULTI-ReUse-Aufbereitung festgestellt werden. Eine zeitweise im Zulauf und auch im Ablauf der UF nachweisbare östrogene Wirkung konnte durch die UO vollständig eliminiert werden.

### Entscheidungshilfen für potenzielle Anwender

Für die Verteilung der erzeugten Betriebswässer müssen deren korrosionschemische Eigenschaften mit dem Korrosionsverhalten der infrage kommenden Rohrwerkstoffe in Form einer Risikobewertung aufeinander abgestimmt werden. Eine entsprechende Entscheidungshilfe zur Auswahl geeigneter Werkstoffe für Verteilungs- und Betriebswassernetze wurde im Projekt erarbeitet und durch praxisnahe Untersuchungen abgesichert.

Zur Unterstützung potenzieller Anwender der entwickelten MULTI-ReUse-Technologie wurde im Rahmen des Projektes darüber hinaus ein umfangreiches Bewertungswerkzeug entwickelt, mit dem Vor- und Nachteile gegenüber dem derzeitigen Versorgungskonzept (z. B. mit Trinkwasser) ermittelt werden können. Dabei werden ökonomische,

ökologische und technische Faktoren berücksichtigt und verschiedene Optionen der Bereitstellung von Betriebswasser vergleichend bewertet.

### Ausblick

Seitens des OOWV gibt es sehr konkrete Überlegungen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Referenzanlage umzusetzen. Der Wasserver- und Abwasserentsorger tauscht sich dabei seit längerer Zeit mit möglichen industriellen Kunden aus. Die Realisierung einer entsprechenden großtechnischen Anlage wäre bisher einzigartig in Deutschland. Die Kosten für den Bau einer solchen Anlage liegen ersten Schätzungen zufolge bei knapp sechs Mio. Euro (inkl. Betriebswassernetz). Bis zu eine Million Kubikmeter Trinkwasser könnte auf diese Weise an diesem Standort im Jahr eingespart und somit Grundwasser geschont werden. ■

#### Weiterführende Literatur

Becker, D. et al.: MULTI-ReUse: Zweckgebundene Wasserwiederverwendung für Industrie und weitere Sektoren, in: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Ausgabe 6/2019.

Krömer, K. et al.: Wasserwiederverwendung zur Brauchwasserversorgung von Industrie und Gewerbe, in: KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Ausgabe 6/2019.

Nahrstedt, A. et al.: Reuse of municipal wastewater for different purposes based on a modular treatment concept, in: Journal of Water Reuse and Desalination, 10.4, Dezember 2020.

Nocker, A. et al.: Microbiological changes along a modular wastewater reuse treatment process with a special focus on bacterial regrowth, in: Journal of Water Reuse and Desalination, 10.4, Dezember 2020.

Wencki, K. et al.: Approaches for the evaluation of future-oriented technologies and concepts in the field of water reuse and desalination, in: Journal of Water Reuse and Desalination, 10.4, Dezember 2020.

Wencki, K. et al.: Application of a decision support tool for industrial and agricultural water reuse solutions in international case studies, in: Journal of Water Reuse and Desalination, 10.4, Dezember 2020.

### Die Autoren

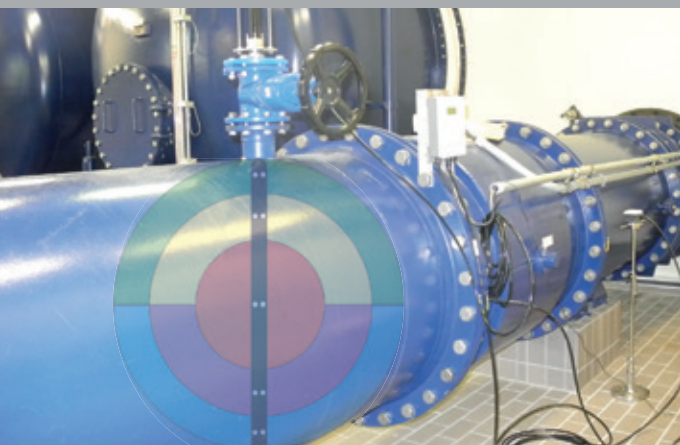
Anja Rohn (Projektkoordination), Dr. Andreas Nahrstedt, Anil Gaba, Barbara Zimmermann (Verfahrenstechnik), Dr. Andreas Nocker (Durchflussszytometrie), Dr. Gerhard Schertzinger (Toxikologie), Kristina Wencki (Bewertungstool) und Timo Jentsch (Rohrleitungswerkstoffe) sind am IWW Zentrum Wasser in Mülheim an der Ruhr tätig und waren am Forschungsprojekt „MULTI-ReUse“ beteiligt.

#### Kontakt:

Anja Rohn  
IWW Zentrum Wasser  
Moritzstr. 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Tel.: 0208 40303-384  
E-Mail: a.rohn@iww-online.de  
Internet: www.iww-online.de

# LANZEN-MiD

**TORPEE-MAG: Magnetisch-induktive DURCHFLUSSREFERENZ für vollgefüllte Rohrleitungen**



- Messung über den gesamten Rohrquerschnitt
- Einfachste Installation ohne Zuflussunterbrechung
- Einsatz in Trinkwasserversorgung und -gewinnung
- Reale Erfassung auch von minimalsten Geschwindigkeiten (<5 cm/s) ➔ Schleichmengenmessung



Autonome, erdverbaute Systeme

Hersteller:



Vertrieb:

GWU-Umwelttechnik GmbH

wasser@gwu-umwelttechnik.de



# Management von Wasserforschung im DVGW in Zeiten des Klimawandels

Für zahlreiche Wasserversorgungsunternehmen in Deutschland ist die Bewältigung der Folgen, die der Klimawandel mit sich bringt, bereits heute gelebte Realität. Es verwundert in diesem Zusammenhang nicht, dass sowohl der Innovationsdruck als auch der Orientierungsbedarf in der Branche kontinuierlich anwächst. Um seinen Mitgliedsunternehmen bei dieser gleichermaßen wichtigen wie auch drängenden Herausforderung optimale Unterstützung und Orientierung bieten zu können, leistet der DVGW im Verbund mit maßgeblichen Partnern einen wertvollen Beitrag durch Forschung und Entwicklung. Der vorliegende Text erläutert, welche Rolle das Forschungsprogramm sowie -management der DVGW-Wasserforschung in diesem Zusammenhang spielen. Darüber hinaus werden auch die Ergebnisse einer entsprechenden Mitgliederumfrage dargestellt. Diese wurde mit dem Ziel durchgeführt, den aktuellen Stand und die Ausrichtung der DVGW-Wasserforschung aus Sicht der Praxis zu erfassen, um den breiten Nutzen für die Branche auch in Anbetracht neuer Herausforderungen und sich verändernder Rahmenbedingungen weiterhin sicherzustellen.

von: Dr. Mathis Keller & Dr. Nils Horstmeyer (beide: DVGW e. V.)

Die Folgen des Klimawandels und dessen Auswirkungen auf die Wasserversorgung in Deutschland treten immer deutlicher zutage. Konkret messbar sind z. B. die Zunahme von Wasser-Extremereignissen (wie langanhaltende Trockenheit und starke Niederschläge), historisch niedrige Pegelstände in Trinkwassertalsperren sowie beständig sinkende Grundwasser-Neubildungsraten. Steigende Temperaturen beeinflussen vielerorts bereits die Rohwasserqualität und verändern die Rahmenbedingungen der Trinkwasseraufbereitung und -Verteilung. Exemplarisch lassen sich die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserversorgung anhand des Trockenjahres 2018 darstellen, die durch den DVGW im Rahmen einer breit angelegten Branchenumfrage erhoben wurden (siehe ewp 10/2020). Die Bewältigung von Klimafolgen ist somit für viele Wasserversorger in Deutschland bereits gelebte Realität. In der Folge steigt sowohl der strukturelle, inhaltliche als auch der zeitliche Transformations- und Innovationsdruck in der Branche weiter an, und zwar sowohl in Umfang als auch in Geschwindigkeit. Gleichzeitig gibt es in der Branche einen wachsenden Orientierungsbedarf, um die hierbei erforderlichen, zum Teil sehr weitreichenden und langfristig bindenden strukturellen Entscheidungen faktenbasiert und wissenschaftlich abgesichert treffen zu können. Verstärkt wird diese Entwicklung in Zukunft durch verän-

derte gesellschaftliche und gesetzliche Rahmenbedingungen, die weitere Anpassungen erforderlich machen.

Im starken Verbund aus eigenen und externen Forschungseinrichtungen, DVGW-Fachgremien sowie weiteren internen und externen Partnern leistet der DVGW hierbei einen maßgeblichen explorativen Beitrag durch Forschung und Entwicklung (F&E) für seine Mitglieder zur Bewältigung dieser Herausforderungen. Die DVGW-Einheit Technologie und Innovationsmanagement (TIM) in der Hauptgeschäftsstelle des Vereins in Bonn nimmt in dieser dezentralen und vernetzten Struktur eine koordinierende und steuernde Rolle ein. Die Aufgaben von TIM in diesem Kontext sind vielfältig: In enger Zusammenarbeit mit dem DVGW-Forschungsbeirat Wasser organisiert TIM u. a. das satzungsgemäße Management des Forschungsprogramms. Die Sicherstellung von Informationsflüssen und die Vernetzung der relevanten F&E-Stakeholder nach innen und außen sind dabei von zentraler Bedeutung. Auf inhaltlicher Ebene kommt TIM die Funktion des Impulsgebers insbesondere für diejenigen Themenbereiche zu, die die vorwärts gerichtete Entwicklung der Wasserversorgung in Deutschland als Ganzes betreffen. Weitere operative Aufgaben liegen in der Koordinierung und Bewirtschaftung des DVGW-Projektforschungsbudgets und dessen Planung.

## Forschungsprogramm Wasser und die DVGW-Projektfor-

Neben der weitestgehend drittmittel-finanzierten Forschung an den DVGW-Forschungseinrichtungen bildet die eigenfinanzierte DVGW-Projektfor-schung das zweite wesentliche Stand-bein der DVGW-Forschung. Beide Ele-mente leisten einen wertvollen und aktiven Beitrag zur Anpassung der Wasserbranche an den Klimawandel. Da die anstehenden Forschungsthe-men (wie z. B. die Anpassungen an Kli-mawandel) eine breitere gesellschaft-lichen Grundlage berühren, werden zunehmend auch Programme der öf-fentlichen Forschungsförderung für deren Bearbeitung herangezogen. Ein-nige aktuelle Beispiele wurden im Rah-men der Beitragsreihe „Forschung zur Anpassung an den Klimawandel“ in den letzten Ausgaben dieser Fachzeit-schrift bereits ausführlich beleuchtet.

Als zentrales Förderprogramm für an-wendungsorientierte Forschung und Entwicklung in der Trinkwasserver-sorgung steht das Förderprogramm

der DVGW-Projektfor-schung grund-sätzlich allen Antragstellern offen. Dabei gibt das DVGW-Forschungspro-gramm die allgemeinen inhaltlichen Leitplanken vor. Über die inhaltliche Rahmengen-bung für die DVGW-Pro-jektfor-schung hinaus legt das Pro-gramm auch die grundsätzlichen Ab-laufprozesse für die DVGW-Forschung fest, weist akute Handlungsfelder aus und liefert Zukunftsbilder für die Branchenentwicklung als Orientie-rungshilfe.

In Zeiten tiefgreifender Veränderungen, in denen sich Umbrüche zunehmend disruptiv vollziehen, ist die kontinuier-liche Anpassung an die jeweils existie-renden Rahmenbedingungen ein ent-scheidendes Erfolgskriterium. Um eine thematische wie auch organisatorische Aktualität der DVGW-Forschung im Sinne der DVGW-Mitglieder zu gewähr-leisten, betreibt TIM ein kontinuierli-ches Verbesserungs- und Anpassungs-management, in dessen Rahmen auch das DVGW-Forschungsprogramm so-wie die damit zusammenhängenden Organisationsstrukturen und Pro-

zessabläufe regelmäßig in einem offe-nen Revisionsprozess bewertet und bei Bedarf angepasst werden. Zuletzt wur-den hierzu im Herbst 2020 im Auftrag des Forschungsbeirats Wasser die Mit-glieder aller DVGW-Fachgremien Was-ser in einer Online-Umfrage u. a. nach der Bewertung der aktuellen For-schungsschwerpunkte, der Forschungs-prozesse (von der Idee zum Ergebnis) sowie deren Nutzenbeurteilung befragt. Die eingegangenen Rückmeldungen von insgesamt 56 Wasserversorgungs-unternehmen, Wirtschaftsunterneh-men und Ingenieurbüros bilden die Zusammensetzung der DVGW-Mit-gliedschaft und die Gremienstrukturen ganzheitlich ab und vermitteln daher ein repräsentatives Bild der allgemeinen Wahrnehmung der DVGW-Wasserfor-schung. Das Ergebnis der Befragung lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Die aktuell gesetzten Inhalte und Schwerpunkte des Forschungspro-gramms decken die wesentlichen Innovationsfelder und -themen auch weiterhin umfassend ab (Abb. 1a). Eine inhaltliche Überarbeitung des

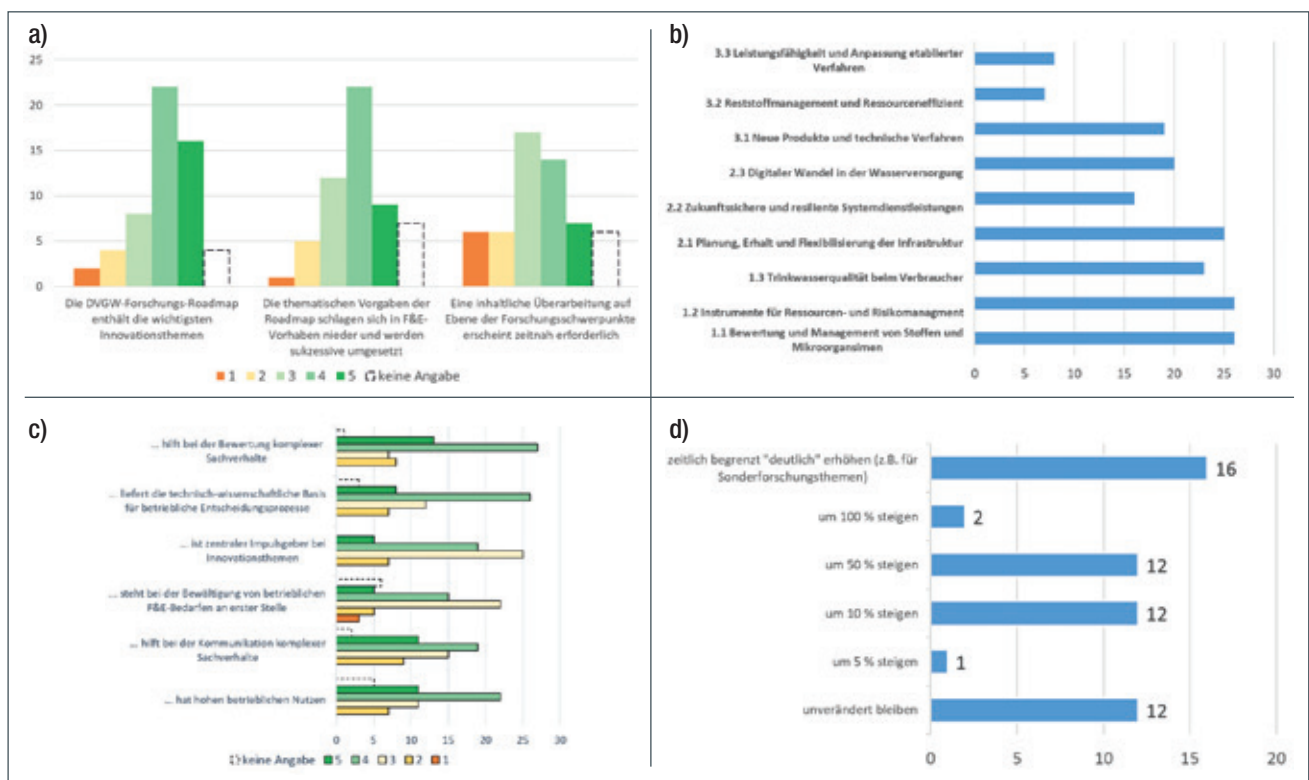


Abb. 1: Kernergebnisse der Mitgliederumfrage – Bewertung der Forschungsschwerpunkte und Ausrichtung: a) DVGW-Forschungsroadmap 2025, 1 = stimme gar nicht zu, 5 = trifft voll zu; b) Priorisierung der Fokusgebiete, Gewichtung nach Anzahl der Nennungen, 3 Auswahlmöglichkeiten pro Teilnehmer möglich; c) Nutzen des DVGW-Forschungsprogramms; d) Notwendigkeit zur Erhöhung des Forschungsbudgets, Gewichtung nach Anzahl der Nennungen, 3 Auswahlmöglichkeiten pro Teilnehmer möglich



Forschungsprogramms ist daher nicht erforderlich.

- Die bisherige Priorisierung von Wasserqualitätsthemen wird weiterhin mehrheitlich befürwortet. Die Themenkomplexe „Instrumente für Ressourcen- und Risikomanagement“ sowie „Planung, Erhalt, und Flexibilisierung der Infrastruktur“ sollen zusätzlich verstärkt in den Blick genommen werden (**Abb. 1b**).
- Der Stellenwert und Nutzen der Forschungsergebnisse sowie deren Verwertbarkeit ist hoch. Als Hauptnutzen wird hierbei die unterstützende Funktion bei innerbetrieblichen Entscheidungsprozessen und bei der Bewertung und Kommunikation komplexer Sachverhalte gesehen (**Abb. 1c**).
- Die Prozessabläufe bei der Abwicklung des Forschungsprogramms werden weitestgehend positiv bewertet. Insbesondere im Bereich der Antragsanbahnung („von der Forschungsidee bis zum Antrag“) sowie bei der transparenten Außendarstellung der Prozesse wird jedoch noch weiteres Optimierungspotenzial gesehen.
- Im Bereich des Forschungstransfers und der Forschungskommunikation werden aktive Austausch- und Transferformaten (z. B. Workshops, Webinare) bevorzugt.
- In Anbetracht der aktuellen Herausforderungen für die Trinkwasserversorgung in Deutschland unterstützt ein Großteil der Umfrageteilnehmer eine Erhöhung des DVGW-Forschungsbudgets. Hierbei wird eine deutliche, aber zeitlich begrenzte Steigerung bevorzugt (**Abb. 1d**).

Die individuellen Rückmeldungen, die im Rahmen der Mitgliederbefragung eingegangen sind, unterliegen einer differenzierten Betrachtung, an der der Forschungsbeirat Wasser maßgeblich beteiligt ist. Als unmittelbare Reaktion auf die Umfrage werden zurzeit konkrete Maßnahmen ausgearbeitet und umgesetzt. Hierzu gehört u. a. eine Überprüfung und Optimierung der Prozessabläufe (von der Forschungsidee zur Antragstellung) sowie

die Entwicklung neuer Instrumente für den aktiven Forschungstransfer in die Praxis.

### Forschungstransfer und Vernetzung der Forschungsgemeinschaft entlang des gesamten Wasserkreislaufs

Die Herausforderungen, die der Klimawandel mit seinen vielfältigen Ausprägungen und deren komplexen Wechselbeziehungen an die deutsche Trinkwasserversorgung stellt, erfordern eine ganzheitliche vernetzte Sichtweise und Lösungskonzeption, die den Wasserkreislauf als Ganzes berücksichtigen. Als gemeinsame Austauschplattform der praxisbezogenen Wasserforschung in Deutschland besteht hierzu der von DVGW und der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) gegründete Water Innovation Circle (WIC). Als eine der Hauptaufgaben bündelt der WIC die interdisziplinären und branchenübergreifenden Forschungs- und Innovationsbedarfe aus Sicht der Praxis und forciert so die zielgerichtete und praxisorientierte Forschung. Zuletzt wurde hierzu, unter der Geschäftsführung von TIM, eine gemeinsame strategische Innovationsagenda erarbeitet. Die aktuellen Herausforderungen in der Wasserwirtschaft werden in drei Kernthemen fokussiert, wobei die aktive Begegnung des Klimawandels als ein Querschnittsthema einen zentralen Stellenwert einnimmt. Die gezielte Kommunikation dieser Forschungs- und Innovationsbedarfe ermöglicht und sichert u. a. auch deren Berücksichtigung in öffentlichen Forschungsförderprogrammen. Eine weitere Aufgabe des WIC besteht darin, den Transfer von Forschungsergebnissen in die Praxis zu fördern. Als eigener, aktiver Beitrag findet das Innovationsforum Wasserwirtschaft als Transferveranstaltung des WIC in enger Kooperation mit dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) jeweils im jährlichen Wechsel auf der gat | wat oder der IFAT statt.

Im Rahmen der originären DVGW-Forschung ist TIM darüber hinaus auch im Bereich Forschungskommunikation und -transfer aktiv. Zuletzt wurden hierbei u. a. der Webauftritt der DVGW-Forschung grundlegend überarbeitet und durch eine stetig fortgeschriebene Projektübersicht mit weiterführenden themenbezogenen Informationen und Verweisen ergänzt. Durch seine weiteren Aktivitäten in dem Bereich sichert TIM den Informationsfluss aus laufenden und abgeschlossenen Forschungsvorhaben für die Gremienarbeit ab und bindet durch eine transferorientierte Steuerung des Forschungsprogramms auch die zentralen DVGW-Medien wie die DVGW energie | wasser-praxis mit ein. ■

#### Die Autoren

**Dr. Mathis Keller** und **Dr. Nils Horstmeyer** sind in der Einheit Technologie und Innovationsmanagement der DVGW-Hauptgeschäftsstelle in Bonn in der Wasserforschung tätig.

Kontakt:

Dr. Mathis Keller  
 Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.  
 Technisch-wissenschaftlicher Verein  
 Josef-Wirmer-Str. 1–3  
 53123 Bonn  
 Tel.: 0228 9188-727  
 E-Mail: keller@dvgw.de  
 Internet: www.dvgw.de



LANDESGRUPPE  
MITTELDEUTSCHLAND

LANDESGRUPPE  
BAYERN

Deutscher Verein des  
Gas- und Wasserfaches e.V.



🌐 [www.wassertreff-hof.de](http://www.wassertreff-hof.de)

# DVGW-Wassertreff Hof

Regionale Leitveranstaltung Trinkwassergewinnung und  
Qualitätsmanagement für Mitteldeutschland und Bayern  
26.–27. Mai 2021, online

Branchentreffen mit  
virtueller Fachausstellung –  
Jetzt anmelden!

## Themen

- ➔ Zukunft Trinkwasser:  
Warum es Veränderungen braucht!
- ➔ Herausforderung Klimawandel
- ➔ Hygiene in der Trinkwasserversorgung
- ➔ Geologie und Brunnen
- ➔ Pandemie- und Notfallpläne:  
Lehren aus dem Fall Corona



Mit freundlicher  
Unterstützung von







Quelle: Dusan Kostic/fofolla.com

# Untersuchungen zur Entwicklung von Spitzenverbrauch und Spitzenfaktoren

Die zurückliegenden Sommer haben mit ihren außergewöhnlich hohen Temperaturen und längeren Trocken- bzw. Dürrephasen das **Verhaltensverhalten vieler Haushalte stark beeinflusst**. Umso wichtiger ist es für Wasserversorgungsunternehmen, vor dem Hintergrund des immer stärker werdenden Klimawandels die eigenen Anlagen exakt bemessen zu können. Um **allgemeingültige Aussagen zu Spitzenverbrauch und Spitzenfaktoren treffen zu können**, hat das DVGW-Forschungsvorhaben „Untersuchungen zur Entwicklung von Spitzenverbrauch und Spitzenfaktoren“ (Förderkennzeichen: W 201712) entsprechende Erhebungen durchgeführt. Langfristiges Ziel dabei ist die Anpassung des entsprechenden DVGW-Regelwerks.

von: Tobias Martin, Dr. Martin Wagner & Dr. Andreas Korth (alle: TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser)

Für ein Wasserversorgungsunternehmen sind der Spitzenverbrauch und die Spitzenfaktoren relevant, um die eigenen Anlagen exakt bemessen zu können. Die entsprechenden Angaben werden maßgeblich durch die Struktur des Versorgungsgebietes und das Verbraucherverhalten der Abnehmer bestimmt, das wiederum häufig stark durch das Wetter beeinflusst wird. Insbesondere die beiden Jahre 2018 und 2019 waren von lang anhaltend hohen Temperaturen in den Sommermonaten und nur wenig Niederschlag geprägt. Diese Wettersituation, die maßgeblich durch den



Klimawandel geprägt wurde, wirkte sich auch auf die Versorgung mit Brauch- und Trinkwasser aus und fand ein breites Echo in der Öffentlichkeit [1].

Für den durchschnittlichen Tagesverbrauch gibt es seit Jahrzehnten umfangreiche Datenerhebungen; derzeit liegt der durchschnittliche Pro-Kopf-Verbrauch bei ca. 125 Liter pro Tag (l/d) [2]. Allerdings treten in den Bundesländern deutliche Unterschiede auf, die Ursachen hierfür sind multifaktoriell [3]. Im Gegensatz zum durchschnittlichen Pro-Kopf-Verbrauch sind für die auslegungsrelevanten Parameter Spitzenverbrauch und Spitzenfaktoren bisher keine umfassenden Langzeitbetrachtungen durchgeführt worden, die allgemeingültige Aussagen ermöglichen. Aus diesem Grund werden derzeit im DVGW-Forschungsvorhaben „Untersuchungen zur Entwicklung von Spitzenverbrauch und Spitzenfaktoren“ (Förderkennzeichen W 201712) entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Ziel des Vorhabens ist es, wissenschaftliche Grundlagen für entsprechende Anpassungen im DVGW-Regelwerk zu erarbeiten. Im vorliegenden Beitrag werden zu dem Forschungsprojekt relevante Informationen aus der Literatur, die Datengrundlage sowie der entwickelte mathematische Ansatz zur Prognose des Spitzenwasserbedarfs erläutert. Die dabei gemachten Ergebnisse werden nach Abschluss des Projektes

im Laufe des Jahres 2021 über den DVGW sowie in einem weiteren Beitrag veröffentlicht.

### Die Literaturlauswertung

Der maßgebliche Einfluss des Wetters und klimatischer Entwicklungen auf den Wasserbedarf ist für die Wasserversorgung bereits gut bekannt [4]. Für die Vorhersage des Wasserbedarfs unter Einbeziehung von Wetterereignissen bzw. -beobachtungen müssen Daten entsprechend der gewählten zeitlichen Auflösung vorliegen. In wissenschaftlichen Aufsätzen wird darauf hingewiesen, dass Wetterdaten einen wichtigen Beitrag für die Prognosegüte von Modellen leisten [5–9]. Dabei werden gängige Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Verdunstung und Luftfeuchte verwendet [6, 9, 10]. Im Allgemeinen richtet sich die Einbeziehung dieser Kriterien nach der Verfügbarkeit. Zeitlich wiederkehrende Ereignisse wie die Abfolge von Werktagen und Wochenenden sowie jahreszeitliche Schwankungen sollten ebenfalls bei der Vorhersage des Wasserbedarfs berücksichtigt werden [6, 11]. Darüber hinaus sind auch Ereignisse wie Ferien und Feiertage oder andere gebietspezifische Aspekte zu beachten. Für eine umfassende Beschreibung der Einflussfaktoren auf den Trinkwasserbedarf wird an dieser Stelle auf den Abschlussbericht des DVGW-For-

schungsvorhabens W 201510 „Verbrauchsganglinien“ verwiesen [3].

### Die Datengrundlage

Ein wesentlicher Aspekt des Forschungsvorhabens ist es, die Daten zum Spitzenverbrauch der spezifischen Verbrauchsdaten der insgesamt 19 am Forschungsprojekt beteiligten Wasserversorgungsunternehmen aufzuarbeiten. Auf Grundlage der in den einschlägigen Regelwerken verwendeten Kennzahlen [4] und der Erfahrungen der Unternehmen wurden jährliche Kennzahlen zur gesamten, mittleren und maximalen Netzeinspeisung ermittelt. Diese Daten umfassen den Zeitraum zwischen den Jahren 2000 und 2019 (20 Jahre). Von einigen Wasserversorgungsunternehmen wurden zudem Zeitreihen zum Tages- und Stundenverbrauch zur Verfügung gestellt. Die Verteilung der Netzlänge der untersuchten Versorgungsbereiche ist in **Abbildung 1** dargestellt. Aus der Grafik geht hervor, dass ein repräsentativer Datensatz von kleinen bis großen Unternehmen zur Verfügung steht.

Als Beispiel zeigt **Abbildung 2** die Verteilung der Tagesspitzenfaktoren der einzelnen Jahre für alle zur Verfügung gestellten Daten. Ein wesentlicher Anteil der Werte lag in einem Bereich von 1,3 bis 1,5, wobei auch Faktoren von  $> 2,5$  auftraten.

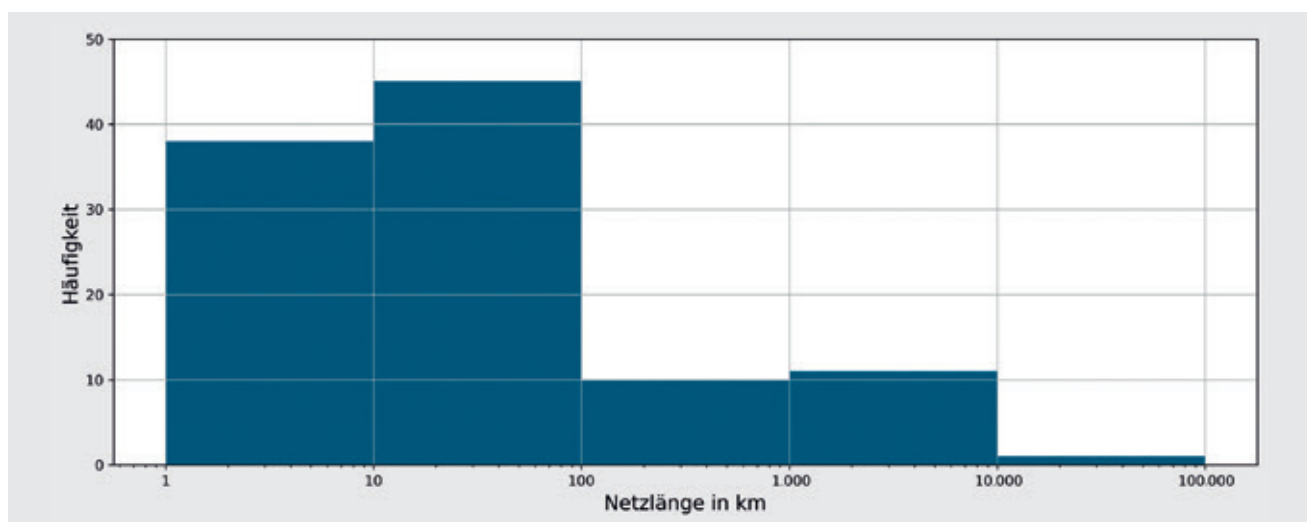
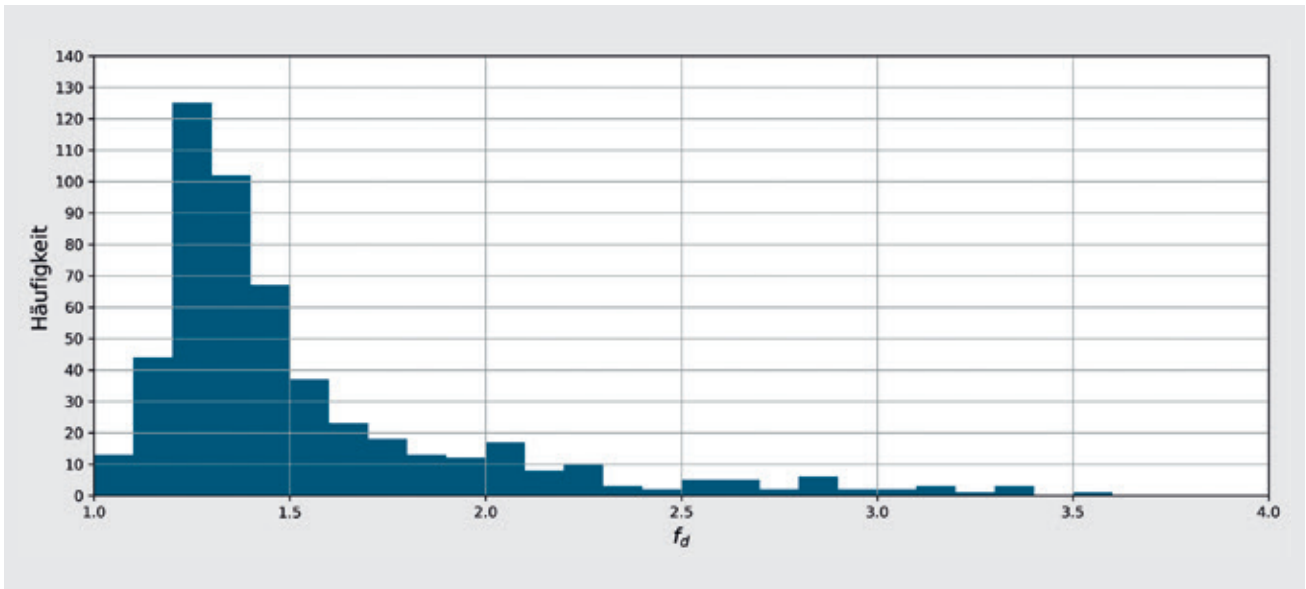


Abb. 1: Verteilung der Netzlängen der untersuchten Versorgungsbereiche



Quelle: TZW

Abb. 2: Verteilung der Tagesspitzenfaktoren  $f_d$  der verfügbaren Datenbasis

Um zu untersuchen, wie sich die Spitzenfaktoren entwickeln, sind neben den Daten der beteiligten Wasserversorgungsunternehmen auch meteorologische sowie sozioökonomische Daten notwendig. Für die Beschaffung vertrauenswürdiger, mehrjähriger Zeitreihen zu Wetterbeobachtungen wurde auf das Open Climate Center (CCC) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) zurückgegriffen [12]. Von den entsprechenden Wetterstationen wurden Stundenwerte der letzten 20 Jahre (2000 bis 2019) zu Temperatur (in °C), Niederschlagshöhe (in mm), Sonnenscheindauer (in Minuten pro Stunde), Bewölkung (in Bedeckungsgrad), Windgeschwindigkeit (in m/s) und relative Feuchte (in Prozent) abgerufen.

Bei der Analyse langjähriger Messdaten zum Wasserverbrauch kommen langfristige Trendentwicklungen zum Tragen. Wie bereits in [3] erläutert, sind Daten zu sozioökonomischen Faktoren wie Haushaltseinkommen, Bevölkerungszusammensetzung und Entwicklung der Industrie relevante Indikatoren für die Entwicklung des Wasserbedarfs. Für die untersuchten Versorgungsbereiche wurden deshalb Daten der in den jeweiligen Bundesländern zuständigen Statistikämter abgerufen. Dabei wurde schnell deutlich, dass sich die Qualität und Verfügbarkeit der Da-

ten je nach Bundesland und Größe des Versorgungsgebietes ändert. Als erste Anlaufstelle diente das Bundesstatistikportal [13], da hier die Daten der einzelnen Ämter zusammengeführt werden. Detaildaten sind bei den Datenbanken der Bundesländer zu erfragen; Handhabung und Detailgrad sind im Einzelfall zu prüfen. Um eine vergleichbare Datenbasis für die Auswertung bereitzustellen, wurden u. a. statistische Daten zu Bevölkerungsstand, Flächenentwicklung und Übernachtungen abgerufen bzw. ermittelt.

### Der Modellansatz

Ziel des Forschungsprojektes ist es, ein mathematisches Modell zur Berechnung bzw. Vorhersage des Spitzenwasserbedarfs zu entwickeln. Dabei soll das Modell folgende Prämissen berücksichtigen:

- Das Modell soll die Berechnung eines Spitzenfaktors unter Beachtung zukünftiger Veränderungen in den zugrundeliegenden Einflussfaktoren ermöglichen.
- Die Prognose muss eine ausreichend hohe Genauigkeit aufweisen.
- Zur möglichen Überführung in das DVGW-Regelwerk soll das Modell einfach zu interpretieren und die Mechanismen des Modells nachvollziehbar sein.

- Die Gewichtung der zugrundeliegenden Einflussfaktoren soll nachvollziehbar sein.

Unter Beachtung dieser Rahmenbedingungen haben die Projektbeteiligten eine mehrstufige Herangehensweise entwickelt, die wie folgt aufgebaut ist: Im ersten Schritt werden alle vorhandenen Datenquellen im sogenannten „Preprocessing“ aufbereitet. Das Preprocessing der Eingangsdaten ist ein wesentlicher Schritt hin zur Entwicklung einer einheitlichen und nachvollziehbaren Datenbasis. Sie bildet die Grundlage für alle weiteren Arbeitsschritte und umfasst vorrangig das Auffinden und Eliminieren von fehlerhaften und nicht plausiblen Daten. Im nächsten Arbeitsschritt wird dann mithilfe von Wasserverbrauchsdaten, Wetterdaten und sozioökonomischen Daten für jedes verfügbare Untersuchungsgebiet ein eigenes Modell für die Berechnung des Spitzenwasserbedarfs erstellt. Dadurch zeigt sich, ob der gewählte Modellansatz prinzipiell in der Lage ist, für einen spezifischen Anwendungsfall die gestellte Aufgabe zu lösen. Aus den Ergebnissen der Einzelmodelle wird nachfolgend ein zusammenhängender, generalisierter Modellansatz entwickelt, mit dessen Hilfe wichtige Eingangsgrößen ermittelt und priorisiert werden können. Im nächsten Schritt wird geprüft, welchen

Effekt eine Reduktion der Anzahl an Einflussfaktoren auf die Genauigkeit des Modells hat. Im Ergebnis soll ein vereinfachtes, generalisiertes Berechnungsmodell für den Spitzenwasserbedarf zur Verfügung stehen.

Die gewählten Modelle umfassen die lineare Regression (LR) sowie das neuronale Netz, ein Verfahren aus dem Bereich des maschinellen Lernens. Die lineare Regression ist die einfachste und am weitesten verbreitete Möglichkeit zur Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen einer Zielgröße und dem Einfluss anderer Größen auf diese. Die Grundlage künstlicher neuronaler Netze basiert auf der Idee, die Art und Weise, wie das (menschliche) Gehirn Daten und Informationen verarbeitet, nachzuahmen. Zunehmende Anwendung finden diese Algorithmen seit den 1980er-Jahren, u. a. bei der Modellierung menschlichen Verhaltens und der Lösung konkreter Anwendungsprobleme aus Statistik, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften [14].

## Ausblick

Bereits das DVGW-Forschungsvorhaben „Kurzzeitprognose“ (Förder-Nr.: W 201715) hat unter Beweis gestellt, dass Modelle aus dem Bereich des maschinellen Lernens wie neuronale Netze in der Lage sind, den Wasserbedarf für die nächsten Tage und Stunden auf Grundlage äußerer Einflüsse sehr gut vorherzusagen [15]. Die Ergebnisse der spezifischen, für einzelne Versorgungszonen trainierten Modelle zeigen überwiegend eine geringe Abweichung und sind für die Vorhersage des Spitzentageswasserbedarfs bzw. des Tagesspitzenfaktors gut geeignet. Diese spezifischen Modelle sind jedoch nur für das jeweilige Versor-

gungsgebiet gültig und können nicht für die Prognose des Spitzenwasserbedarfs in anderen Gebieten benutzt werden. Im letzten Schritt des Forschungsvorhabens gilt es daher, ein generalisierbares Modell abzuleiten, das auf unterschiedliche Versorgungsgebiete angewendet werden kann und verallgemeinerbare Aussagen ermöglicht. Durch die Auswahl sinnvoller und für die Mehrheit der Wasserversorger gut ermittelbarer Eingangsdaten wird ein vereinfachter Berechnungsansatz entstehen. Aufgrund der multikriteriellen Natur des Modells wird eine Berechnung verschiedener Szenarien möglich. Dies stellt eine Erweiterung zu den bereits existierenden Berechnungsformeln des DVGW-Arbeitsblattes W 410 sowie ein wichtiges Werkzeug zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen bei Wasserversorgungsunternehmen dar. ■

### Literatur

- [1] Anonym: Wird in Deutschland das Trinkwasser knapp? Online unter [www.faz.net/aktuell/wirtschaft/mehr-wirtschaft/umweltbundesamt-warnt-wird-in-deutschland-das-trinkwasser-knapp-16269722.html](http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/mehr-wirtschaft/umweltbundesamt-warnt-wird-in-deutschland-das-trinkwasser-knapp-16269722.html), abgerufen am 23. Februar 2021.
- [2] BDEW: Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauchs. Online unter [www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-des-personenbezogenen-wassergebrauchs/](http://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-des-personenbezogenen-wassergebrauchs/), abgerufen am 23. Februar 2021.
- [3] Martin, T., Korth A., Schubert, K.: Aktualisierung der Verbrauchsganglinien für Haushalte, Kleingewerbe und öffentliche Gebäude sowie Entwicklung eines mathematischen Modells zur Simulation des Wasserbedarfs.
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W 410: Wasserbedarf – Kennwerte und Einflussgrößen.
- [5] Donkor, E. A., Mazzuchi, T. A., Soyer, R., Alan Roberson, J.: Urban Water Demand Forecasting: Review of Methods and Models, in: J. Water Resour. Plann. Manage., Jg. 140, Nr. 2, S. 146–159, 2014.
- [6] dos Santos, C. C., Pereira Filho, A. J.: Water Demand Forecasting Model for the Metropolitan Area of São Paulo, Brazil, in: Water Resour Manage, Jg. 28, Nr. 13, S. 4401–4414, 2014.
- [7] Jentgen, L., Kidder, H., Hill, R., Conrad, S.: Energy management strategies use short-term water consumption forecasting to minimize cost of pumping operations, in: Journal – American Water Works Association, Jg. 99, Nr. 6, S. 86–94, 2007.
- [8] Bakker, M., van Duist, H., van Schagen, K., Vreeburg, J., Rietveld, L.: Improving the Performance of Water Demand Forecasting Models by Using Weather Input, in: Procedia Engineering, Jg. 70, S. 93–102, 2014.

- [9] Adamowski, J., Fung Chan, H., Prasher, S. O., Ozga-Zielinski, B., Sliusarieva, A.: Comparison of multiple linear and nonlinear regression, autoregressive integrated moving average, artificial neural network, and wavelet artificial neural network methods for urban water demand forecasting in Montreal, Canada, in: Water Resour. Res., Jg. 48, Nr. 1, S. 247, 2012.
- [10] Zhou, S. L., McMahon, T. A., Walton, A., Lewis, J.: Forecasting daily urban water demand: A case study of Melbourne, in: Journal of Hydrology, Jg. 236, 3-4, S. 153–164, 2000.
- [11] A. Candelieri, D. Soldi und F. Archetti, „Short-term forecasting of hourly water consumption by using automatic metering readers data“, Procedia Engineering, Jg. 119, Nr. 3, S. 844–853, 2015.
- [12] Deutscher Wetterdienst: Climate Data Center.
- [13] Statistisches Bundesamt (DESTATIS): Bundesstatistikportal. Online unter [www.destatis.de/DE/Home/\\_inhalt.html](http://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html), abgerufen am 23. Februar 2021.
- [14] Rey, G. D., Wender, K. F.: Neuronale Netze: Eine Einführung in die Grundlagen, Anwendungen und Datenauswertung. 2. Aufl., Bern 2011.
- [15] Martin, T., Korth, A.: Stand und Perspektiven zum Einsatz von Algorithmen und Modellen zur Kurzzeitprognose für den Wasserbedarf. DVGW-Regelwerk Plus, April 2017.

## Die Autoren

**Tobias Martin** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser.

**Dr. Martin Wagner** ist Sachgebietsleiter Digitalisierung am TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser.

**Dr. Andreas Korth** ist Abteilungsleiter und Sachgebietsleiter Management Verteilungssysteme am TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser.

### Kontakt:

Tobias Martin  
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Standort Dresden  
Wasserwerkstr. 2  
01326 Dresden  
Tel.: 0351 852-1112  
E-Mail: [tobias.martin@tzw.de](mailto:tobias.martin@tzw.de)  
Internet: [www.tzw.de](http://www.tzw.de)



AUSKLEIDUNGSSYSTEME

FÜR TRINKWASSERSPEICHER

- ✓ NEUBAU ALS PE-RÖHRENBEHÄLTER
- ✓ AUSKLEIDUNG MIT PE

EINE GUTE QUELLE.

**SCHWARZKOPF**  
WASSERTECHNIK

Gewerbepark Leutzing 4 . 94508 Schöllnach  
☎ (099 03) 93 19-0 . [www.schwarzkopf-gmbh.com](http://www.schwarzkopf-gmbh.com)





Quelle: Landestalsperrenverwaltung Sachsen/Foto-CO Peter Schubert

Luftaufnahme der Talsperre Klingenberg

# Risikomanagement

## für ein komplexes Trinkwassertalsperrensystem

Für das komplexe Einzugsgebiet der im Freistaat Sachsen gelegenen **Trinkwassertalsperre Klingenberg** wurde ein Geoinformationssystem(GIS)-gestütztes Risikomanagementsystem aufgebaut, das auch die Überleitung aus der Talsperre Rauschenbach mithilfe der für die Wasserversorgung der Erzgruben des ehemaligen Bergbaureviere Freiberg errichteten Revierwasserlaufanstalt berücksichtigt. Dabei wurden flächenhaft differenziert die Schutzwirkung des Einzugsgebietes, der eingebundenen Stauhaltungen und letztendlich die Steuermöglichkeiten durch den Betreiber einbezogen. Zudem wurde exemplarisch ein **Modul für das betrieblich-technische Risikomanagementsystem** entwickelt, über das auch Auswirkungen von Extremwetterereignissen, deren Häufigkeit durch den Klimawandel zukünftig voraussichtlich zunehmen wird, abgebildet werden können. Abschließend wurden die Schnittstellen zum Krisen- sowie zum Risikomanagement der angeschlossenen Wasserversorger betrachtet.

von: Friederike Brauer, Sebastian Sturm (beide: TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser), Dr. Tilo Hegewald & Karin Freier (beide: Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen)

Die öffentliche Trinkwasserversorgung im Freistaat Sachsen wird zu großen Teilen aus Trinkwassertalsperren realisiert. Ihr nachhaltiger Schutz ist aufgrund eines nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehenden nutzbaren Grundwasserdargebots im Festgesteinsbereich der Mittelgebirgslagen und der diskontinuierlichen Gesamtdargebotssituation existenziell. Die Verfügbarkeit von Trinkwasser

in ausreichender Menge und Qualität ist damit eng an den nachhaltigen Schutz oberirdischer (Roh-)Wasserressourcen gebunden.

Aufgrund ihrer Lage im kulturlandschaftlich-urbanisierten Umfeld unterliegen Gewässersysteme zwangsläufig anthropogenen Einflüssen und damit einhergehenden stofflichen und mikrobiologischen Belastungen aus Sied-

lungen, Verkehr, Industrie, Gewerbe sowie Land- und Forstwirtschaft. Diesen Einträgen gilt es durch umweltbehördliches Handeln konzentriert entgegenzuwirken. Ziel ist es dabei, alle Gefährdungen und Gefährdungsereignisse zu identifizieren, die Risiken für die Rohwasserqualität darstellen. Darauf aufbauend sollen geeignete kurz- und mittelfristige sowie nachhaltig wirksame Maßnahmen zu deren Beseitigung bzw. Minimierung eingeleitet werden.

Mit der Novellierung der EU-Trinkwasserrichtlinie, die am 12. Januar 2021 in Kraft getreten ist [1], hat die Europäische Union den Anwendungsbereich der bisherigen Richtlinie zu Anforderungen an die Trinkwasserqualität und deren Überwachung erheblich erweitert und legt damit die Ansprüche an betriebliche, wirtschaftliche und organisatorische Aspekte der Wasserversorgung fest. Dazu zählt u. a. auch die Einführung eines risikobasierten Ansatzes für die Sicherheit der Wasserversorgung, wobei nunmehr alle Akteure in der gesamten Versorgungskette zu involvieren sind. Demnach sind Risikobewertungen vorzunehmen und Maßnahmen zur Risikobeherrschung zu initiieren. Potenzielle Risiken sollen dabei proaktiv erkannt, unter Berücksichtigung der Verwundbarkeit des Versorgungssystems bewertet und – wenn erforderlich – dauerhaft beseitigt bzw. minimiert werden.

## Projektgebiet

Über das Talsperren-System Klingenberg-Lehnmühle einschließlich des aus der Talsperre Rauschenbach geführten Überleitungssystems der Oberen Revierwasserlaufanstalt (ORWA) erfolgt die Rohwasserbereitstellung für zwei Wasserwerke, die u. a. Teile der sächsischen Landeshauptstadt Dresden versorgen (Abb. 1).

Zum Schutz der Trinkwasserressourcen und zur nachhaltigen Sicherung der Trinkwasserversorgung haben die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen (LTV) und das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) ein Risikomanagementsystem für das Einzugs- und Talsperrensystem entwickelt und umgesetzt. Besondere Herausforderungen ergaben sich bei diesem Vorhaben aus den spezifischen Eigenschaften des Einzugsgebietes und der Oberflächengewässer in diesem System: So sind neben Einträgen in die Oberflächengewässer auch unterirdische Einträge in die Stollen der Revierwasserlaufanstalt ein-

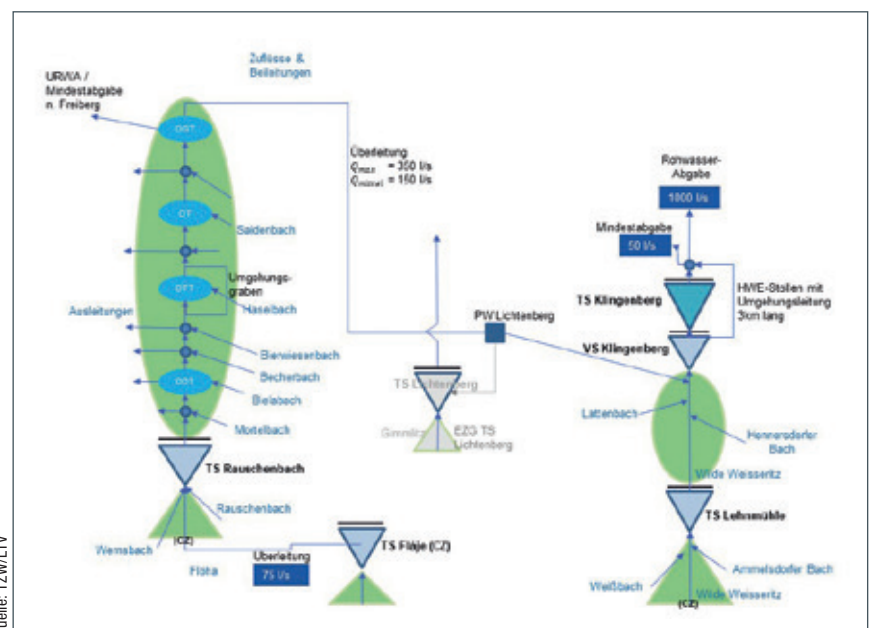
zubeziehen. Die Bewertung berücksichtigt zudem die Schutzwirkung der hintereinander geschalteten Stauhaltungen sowie die Tatsache, dass nicht alle Teileinzugsgebiete ständiger Bestandteil der Wasserversorgung sind. Da sich das gesamte Untersuchungsgebiet über mehrere Verwaltungseinheiten erstreckt, mussten die Projektverantwortlichen eine Vielzahl von Akteuren (Behörden, Abwasserentsorger, Wasserversorger) in den Prozess einbinden.

## Methodik/Prozess

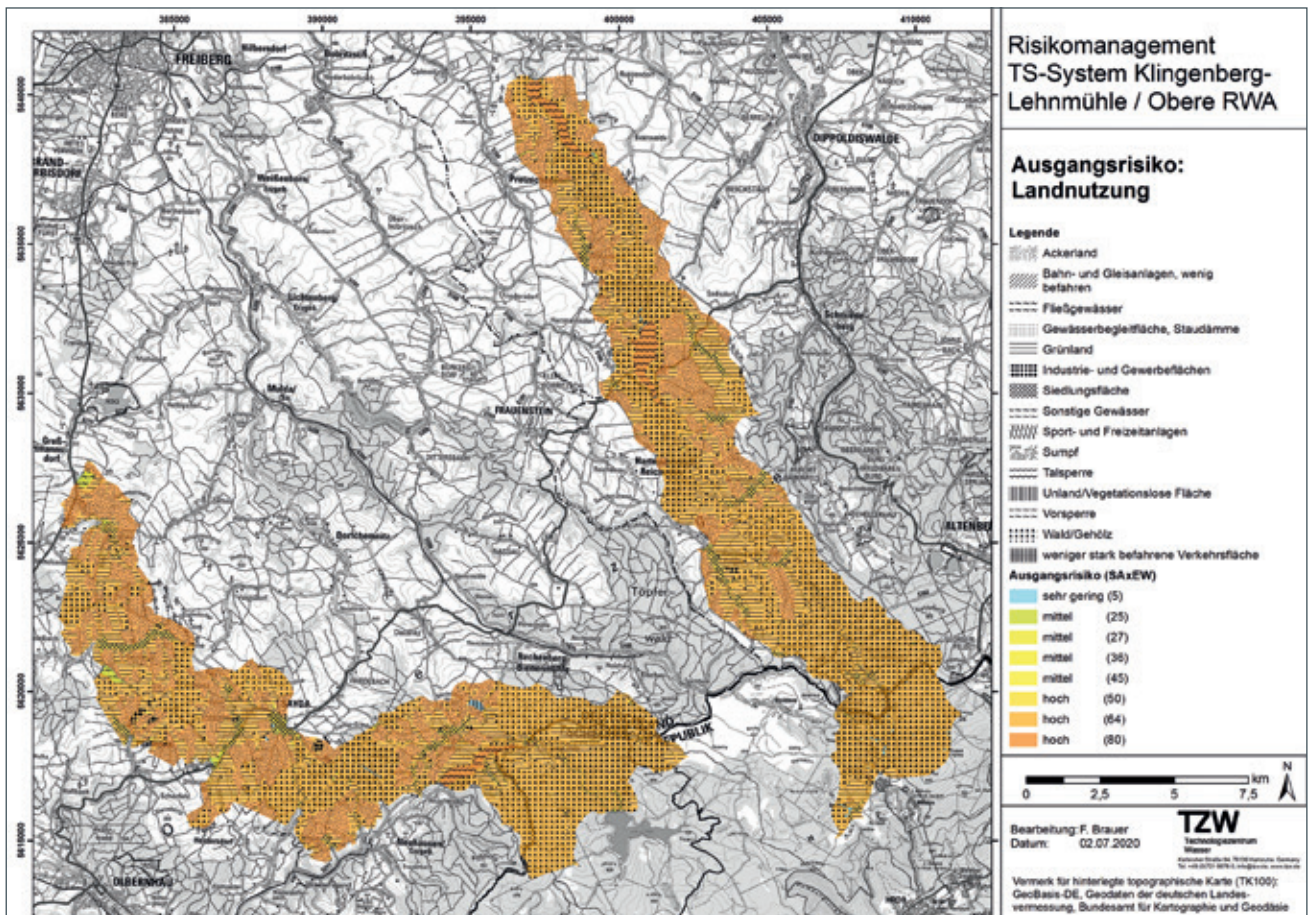
Ausgangspunkt für die neue Methode zum Risikomanagement für Talsperreneinzugsgebiete war eine am TZW im Rahmen von Vorgängerprojekten mit der LTV an den Talsperren Dröda und Lichtenberg entwickelte GIS-basierte Methodik [2, 3]. Der Schwerpunkt lag dabei auf wasserqualitätsbezogenen Risiken für die Wasserversorgung unter Berücksichtigung des Ressourcenschutzes und der Wasserentnahme (Wassergüte-Risikomanagement). Die Vorgehensweise orientierte sich an der DINEN 15975-2 [4] bzw. dem DVGW-Hinweis bzw. -Merkblatt W 1001 [5, 6].

Die Arbeiten begannen mit einer umfassenden Bestandsaufnahme von Gefährdungen und Gefährdungsereignissen aus der Land- und Forstwirtschaft über den Verkehr bis hin zur Abwasserentsorgung. Die Datenerfassung umfasste Informationen, die von verschiedenen Interessengruppen in den Einzugsgebieten zur Verfügung gestellt wurden, sowie die Durchsicht vorhandener Dokumente und

Abb. 1: Schematische Darstellung des Talsperrenverbundes Klingenberg-Lehnmühle-Rauschenbach/ORWA







**Abb. 2:** Karte des lage-unabhängigen, nutzungs-spezifischen Ausgangsrisikos (Osten: Einzugsgebiet der Talsperren Klingenberg und Lehnmühle, Westen: Einzugsgebiet Rauschenbach und ORWA)

Daten, Erfahrungen des Betreibers und Ortsbegehungen. Die Risikobewertung wurde in zwei Schritten durchgeführt: Zunächst wurde anhand von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß das lageunabhängige Ausgangsrisiko am Ort des Ereignisses ermittelt (**Abb. 2**). Anschließend wurde der Einfluss der Standortbedingungen auf den Rückhalt von Gefährdungen bewertet. Dabei wurden Faktoren wie die Nähe zu Oberflächengewässern, die Hangneigung, Informationen zum Boden sowie zur Nutzung einbezogen, die aus vorhandenen Datensätzen abgeleitet werden konnten. Zusätzlich wurde die Verweilzeit in den Stauhaltungen berücksichtigt, wegen der Schutzwirkungen im direkten Einzugsgebiet der Talsperre Klingenberg tendenziell geringer sind als im Einzugsgebiet der Talsperre Rauschenbach (**Abb. 3**). Im Vergleich zu den Vorgängerprojekten von LTV und TZW wurde dazu der Ansatz zur Risikobewertung um ein neu konzipiertes Modul erweitert, das die Schutzfunktion mehrerer hintereinander geschalteter Talsperren berücksichtigt, die in diesem Fall über offene Kanäle und historische unterirdische Stollen miteinander verbunden sind. Eine Erweiterung der Methodik wurde zudem erforderlich, da neben dem oberirdischen Eintragspfad auch der Zutritt von Gefährdungen über

den Sickerwasserpfad zu den Stollen der Reivierwasserlaufanstalt zu berücksichtigen war. Die Verknüpfung von Ausgangsrisiko und Schutzwirkung sowie eine Gewichtung aufgrund der unterschiedlichen quantitativen Bedeutung der beiden Gebiete führte schließlich zum Risiko für das Rohwasser (**Abb. 4**). Hohe Risiken für das Rohwasser ergaben sich so ausschließlich in den Teileinzugsgebieten der Talsperren Klingenberg und Lehnmühle, z. B. für Auslöser in den Talsperren selbst, aber auch für einige Anlagen der Abwasserentsorgung und für Wald- und Ackerflächen in steilen Lagen in Gewässernähe.

Neben Aspekten, die unmittelbar die Wassergüte betreffen, ist die Berücksichtigung technischer Aspekte und Gegebenheiten von wesentlicher Bedeutung. Diese wurden im Rahmen des betrieblich-technischen Risikomanagements betrachtet. Die Methodik wurde im Rahmen des Projektes neu entwickelt und ist an die vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) [7] und dem Bundesinnenministerium (BMI) [8] beschriebene Vorgehensweise angelehnt. Die Betrachtung fokussiert auf Prozesse und Komponenten des Wasserversorgungssystems und damit die eigentliche Rohwasserbereitstellungsfähigkeit, die in besonderem Maße von Folgen des Klimawan-

Quelle: TZW/LTV



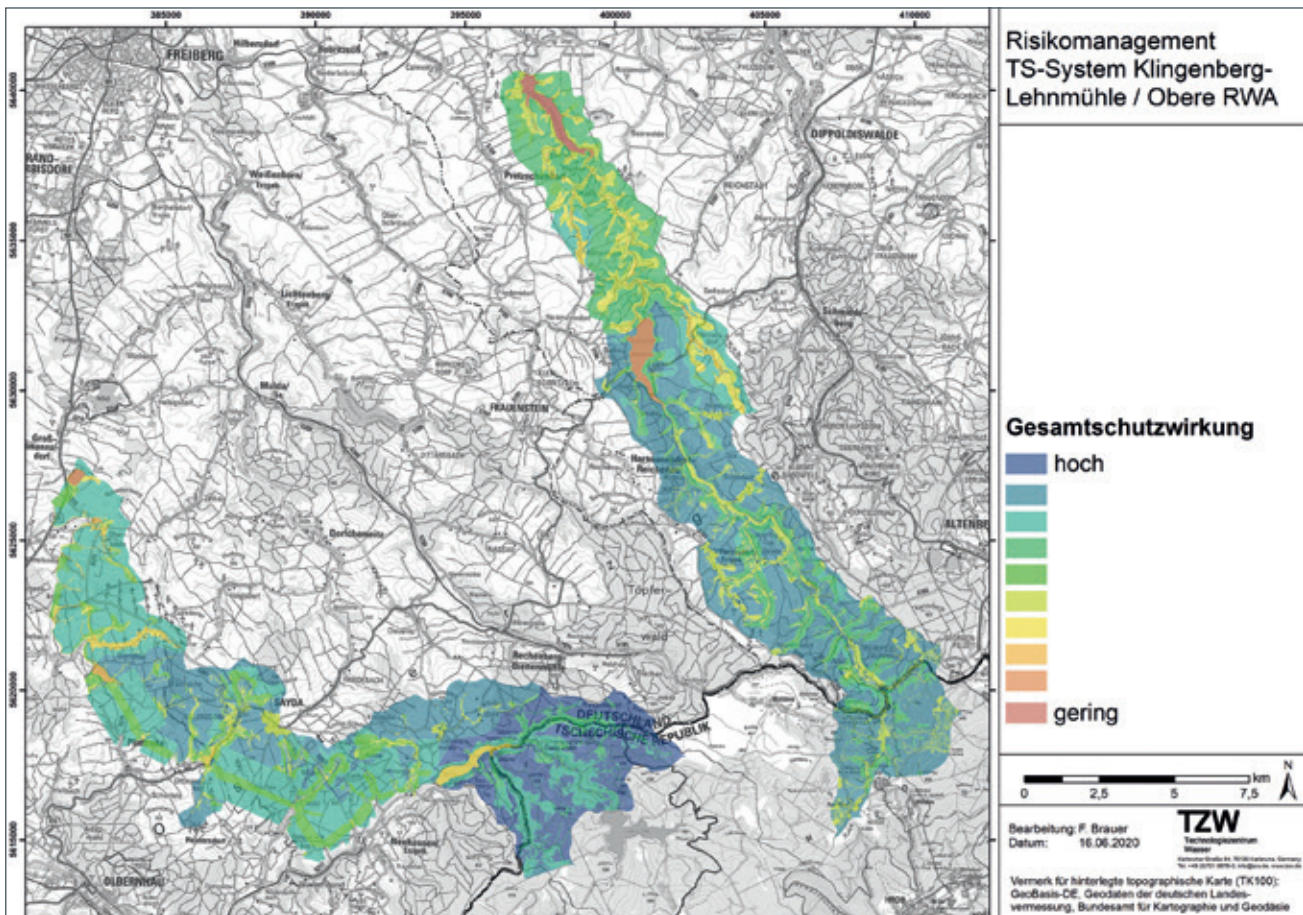


Abb. 3: Karte der Schutzwirkung der Einzugsgebiete, die sich aus verschiedenen Standortfaktoren ermitteln lässt und u. a. die Verweilzeiten in den Stauhaltungen einbezieht.

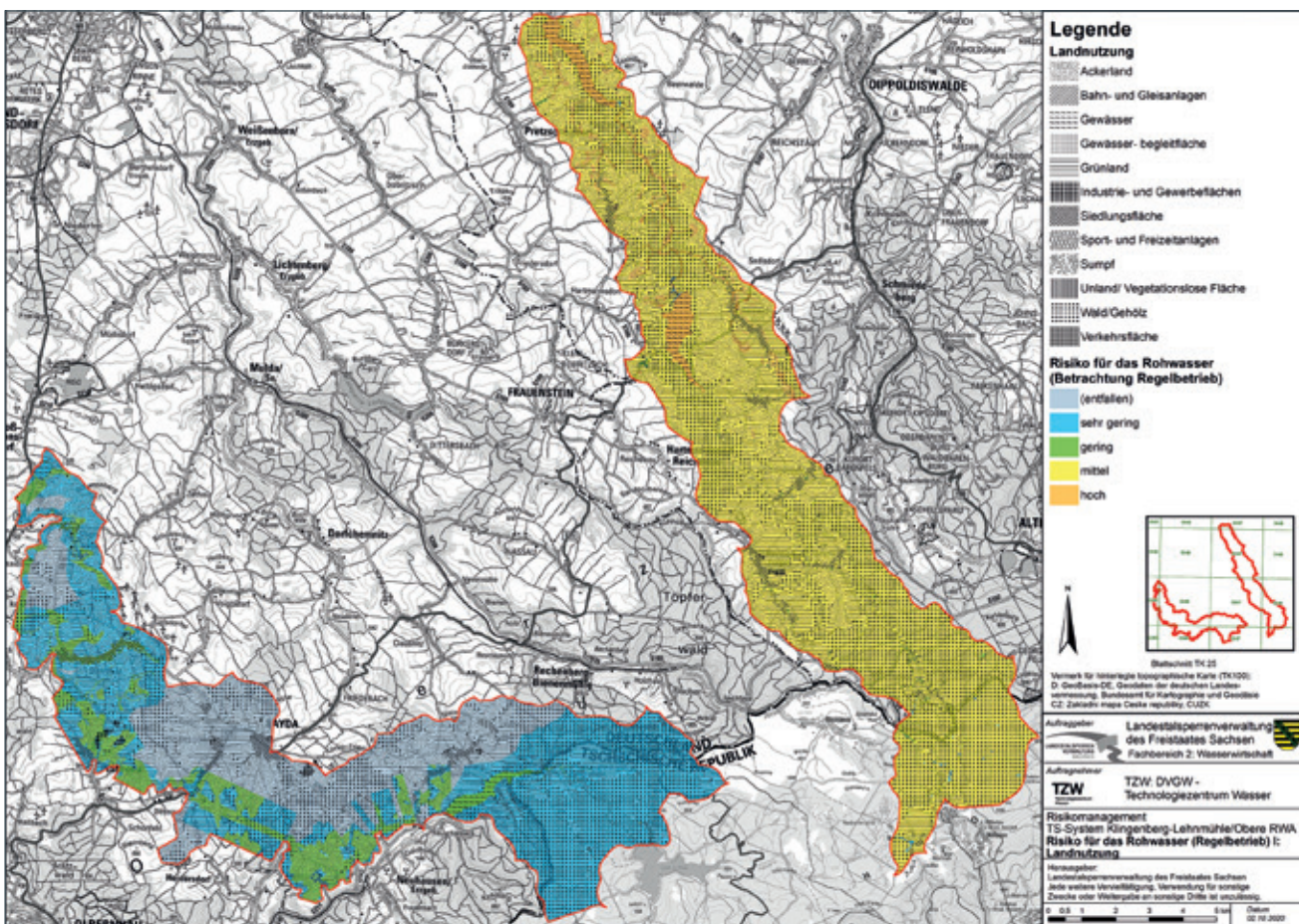


Abb. 4: Karte des Risikos für das Rohwasser als Kombination von Ausgangsrisiko, der Schutzfunktion des Einzugsgebietes und der unterschiedlichen Gewichtung der Teileinzugsgebiete



dels beeinflusst wird. Hierzu gehören auch Faktoren, die im Hinblick auf das Wiederanlaufen der Betriebsprozesse nach einem ereignisbedingten Ausfall der betroffenen Infrastruktur und die Wiederherstellung des Normalbetriebs von Bedeutung sind. In Hinblick auf die technische Infrastruktur wurden dabei Aspekte des Risikomanagementprozesses wie die Ermittlung und Beherrschung von Risiken hinsichtlich der technisch-organisatorischen Prozesssicherheit sowie bei außergewöhnlichen Gefährdungslagen berücksichtigt. Die szenariobasierte Bewertung der Anlagenkategorien ergab sich durch eine Kombination aus Versorgungsrelevanz, Detektionswahrscheinlichkeit, Ersetzbarkeit, Exposition und Funktionsanfälligkeit.

Das komplexe System aus mehreren Stauhaltungen und Überleitungen mit zahlreichen Steuer- und Regel-Möglichkeiten umfasst eine Vielzahl technischer Anlagen. Zur Bewertung wurden die vorhandenen Anlagen erfasst und zu insgesamt 13 Kategorien zusammengefasst, die einheitlich bewertet werden konnten. Im Rahmen der Gefährdungsanalyse wurden 14 realistische Szenarien entwickelt und in Steckbriefen beschrieben, die als Grundlage für die weiteren Schritte der Vulnerabilitätsanalyse dienen. Dabei wurden auch klimatische Extremereignisse wie Hitzeperioden, anhaltende Trockenheit und Starkregen betrachtet, deren Häufigkeit im Zuge des Klimawandels voraussichtlich zunehmen wird [9]. Für Anlagen,

die ein signifikantes Risiko darstellen, wurden die bei

der LTV bereits etablierten Maßnahmen erfasst, die eine Beherrschung der signifikanten Risiken ermöglichen.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Gefährdungsanalyse und der wassergütwirtschaftlichen Risikobewertung wurden in mehreren, über IDs miteinander verknüpfte Formaten nachvollziehbar dokumentiert, und zwar in Form einer tabellarischen Übersicht über Ausgangsrisiko, Risiko-Steckbriefe, Karten und GIS-Datensätze sowie Tabellen zu Risikobeherrschungsmaßnahmen. Analog erfolgte die Dokumentation des betrieblich-technischen Risikomanagements über Steckbriefe für Anlagenkategorien und Szenarien (Abb. 5). Diese „lebenden Dokumente“ sind die Bausteine des Risikomanagementsystems und können im Rahmen der Umsetzung und Überarbeitung kontinuierlich angepasst werden.

Ergänzend wurden die Schnittstellen der Systeme und Konzepte zum Umgang mit Risiken von LTV und den beiden beteiligten Wasserversorgern analysiert. Die bestehenden Regelungen gewährleisten die Anschlussfähigkeit des Risikomanagements der LTV an die Praxis der Wasserversorger. Weiterhin wurde im Rahmen des Projektes die Schnittstelle zwischen Risiko- und Krisenmanagement betrachtet.

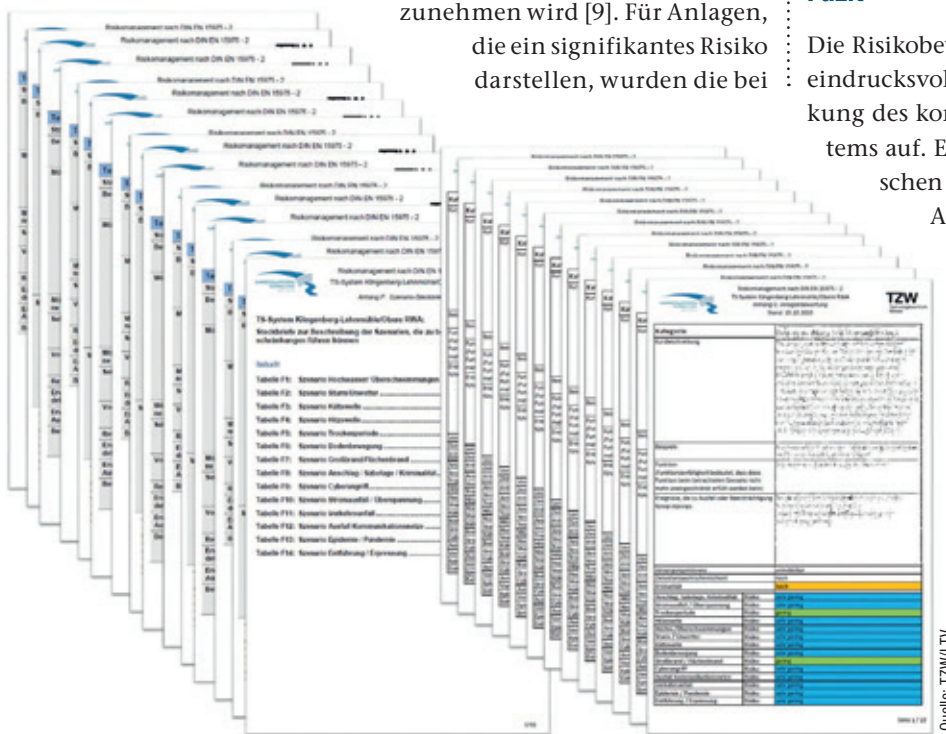
### Fazit

Die Risikobewertung im Einzugsgebiet zeigte eindrucksvoll die Multi-Barrieren-Schutzwirkung des komplexen Wasserversorgungssystems auf. Eine Risikobewertung der technischen Einrichtungen und betrieblichen

Abläufe mithilfe einer neu entwickelten Methodik, die auch Extremwetterereignisse berücksichtigt, ergänzte das Risikomanagement der Wasserqualität (betrieblich-technisches Risikomanagement). Hinweise zur Schnittstelle zwischen Risiko- und Krisenmanagement und zu den Managementsystemen der angeschlossenen Wasserversorgungsunternehmen rundeten das Projekt ab.

Die Fallstudie zeigt, dass der Risikomanagement-Ansatz er-

**Abb. 5:** Dokumentation des betrieblich-technischen Risikomanagements in Steckbriefen (Szenarien und Bewertung der Anlagenkategorien)



Quelle: TZW/LTV

folgreich auch an komplexe Oberflächenwassersysteme und ihre jeweiligen Einzugsgebiete angepasst werden kann. Die intensive Kommunikation während des Projekts über methodische Entwicklungen und Kriterien der Risikobewertung mit dem Talsperrenbetreiber LTV und anderen beteiligten Interessengruppen (z. B. Wasserversorger, Überwachungsbehörden) fördert die Akzeptanz der Ergebnisse der Risikobewertung und in der Folge hoffentlich auch die Bereitschaft der Beteiligten, die notwendigen Maßnahmen zur Risikokontrolle zu unterstützen und umzusetzen. Das Risikomanagement nach DIN EN 15975-2 wird damit zu einem wertvollen Instrument im Management komplexer Oberflächenwassersysteme und zum nachhaltigen Schutz der Wasserressourcen entsprechend der neuen EU-Trinkwasserrichtlinie. ■

#### Literatur

- [1] EU-Kommission (2020): Richtlinie (EU) 2020/2184 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2020 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung).
- [2] Sturm, S., Villinger, F., Kiefer, J. (2016): Neuer Ansatz zum Risikomanagement für Talsperren-Einzugsgebiete, Teil 1, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 5/2016, S. 66–73.
- [3] Sturm, S., Villinger, F., Kiefer, J. (2016): Neuer Ansatz zum Risikomanagement für Talsperren-Einzugsgebiete, Teil 2, in: DVGW energie | wasser-praxis, Ausgabe 6+7/2016, S. 80–86.
- [4] DIN EN 15975-2 (2013): Sicherheit der Trinkwasserversorgung – Leitlinien für das Risiko- und Krisenmanagement – Teil 2: Risikomanagement; Deutsche Fassung EN 15975-2.
- [5] DVGW-Hinweis W 1001 (2008): Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risikomanagement im Normalbetrieb. Technische Mitteilung.
- [6] DVGW-Merkblatt W 1001 (2020): Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement.
- [7] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (2016): Sicherheit der Trinkwasserversorgung. Teil 1: Risikoanalyse. Grundlagen und Handlungsempfehlungen für Aufgabenträger der

Wasserversorgung in den Kommunen in Bezug auf außergewöhnliche Gefahrenlagen.

- [8] Bundesinnenministerium (2011): Schutz Kritischer Infrastrukturen – Risiko- und Krisenmanagement. Leitfaden für Unternehmen und Behörden.
- [9] DVGW-Information WASSER Nr. 96: Betriebliche Aspekte im Zusammenhang mit Extremwetterereignissen bei Wassergewinnungsanlagen.

#### Die Autoren

**Friederike Brauer** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Wasserversorgung, Sachgebiet Risikomanagement des TZW in Karlsruhe.

**Sebastian Sturm** ist Leiter der Abteilung Wasserversorgung und des Sachgebietes Risikomanagement des TZW in Karlsruhe.

**Dr. Tilo Hegewald** ist Referent für Wassergütwirtschaftliche Grundlagen im Referat Wassergüte der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen in Pirna.

**Karin Freier** ist Referatsleiterin des Referats Wassergüte der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen in Pirna.

#### Kontakt:

Friederike Brauer  
TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
Karlsruher Str. 84  
76139 Karlsruhe  
Tel.: 0721 9678-286  
E-Mail: [friederike.brauer@tzw.de](mailto:friederike.brauer@tzw.de)  
Internet: [www.tzw.de](http://www.tzw.de)

[berufswelten-energie-wasser.de/jobs](http://berufswelten-energie-wasser.de/jobs)

**morgen**

Heute schon an die **Zukunft** denken!

Ob Lehrstellen oder duale Studienplätze: Wir veröffentlichen Ihre freien Ausbildungsplätze für 2021 und 2022 kostenlos in unserer Stellenbörse!

**Berufswelten**  
Energie & Wasser



# Das TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser Dem Zukunftsthema Wasser auf den Grund gehen



Quelle: TZW

*Das TZW ist seit 1995 an seinem Hauptstandort Karlsruhe ansässig. Im Jahr 2017 wurde der neue Erweiterungsbau bezogen.*

**Am TZW:** DVGW-Technologiezentrum Wasser steht der nachhaltige Schutz der Wasserressourcen, innovative Lösungen für die Trinkwasserversorgung und die Abwasserentsorgung im Mittelpunkt aller Aktivitäten. Im Verbund mit international führenden Instituten der Wasserforschung versteht sich das TZW als treibende Kraft bei der Entwicklung tragfähiger Konzepte für die Zukunft der Wasserversorgung. Kernaufgaben sind praxisnahe Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, deren Ergebnisse direkt durch technisch-wissenschaftliche Expertisen zur Anwendung kommen oder mit denen zukünftige Themenfelder und das DVGW-Regelwerk vorbereitet und umgesetzt werden. Darüber hinaus ist das TZW auch Ansprechpartner für Behörden, Ministerien und Verbände in allen Fragen der Gewässergüte, Trinkwasserqualität und Wassertechnologie. Es fungiert als Bindeglied zwischen DVGW, Universitäten (Grundlagenforschung) und Wasserversorgungsunternehmen sowie In-

dustrieunternehmen. Seine Kompetenz stützt sich auf die Ergebnisse von rund 50 Forschungsprojekten, die pro Jahr von nationalen oder internationalen Fördermittelgebern finanziert werden.

Die über 1.000 Kunden sind Wasserversorger, Industrieunternehmen, Fachbehörden und Hochschulen. Für sie entwickelt das TZW in einem engen Zusammenspiel von Wissenschaft und Praxis neue und zukunftsfähige Konzepte. Dazu nutzt man die Expertise von interdisziplinären Teams. Die wesentlichen Arbeitsgebiete am TZW sind:

- Wasserversorgung (Risikomanagement/Technologie- und Strukturkonzepte)
- Wassermikrobiologie (Trinkwassermikrobiologie/Umweltbiotechnologie und Altlasten)
- Wasserchemie (chemische Analytik/wasserchemische Forschung)
- Wasserverteilung (Management Verteilungssysteme/Digitalisierung)

- Prüfstelle Wasser (mechanische Verfahren/Materialhygiene, Werkstoffe und Korrosion/UV-Geräte und Verfahren).

Rund 180 hochqualifizierte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Fachgebieten Chemie, Biologie, Physik, Umweltwissenschaften, Verfahrenstechnik und Materialwissenschaft arbeiten in der anwendungsnahen Forschung und in der wissenschaftlichen Beratung. Dabei konzentriert sich das TZW auf thematische Zukunftsfelder wie den Klimawandel in Verbindung mit Nutzungskonflikten und der Wasserwiederverwendung, die Bewertung von Stoffen und Mikroorganismen, die Entwicklung und Optimierung von Verfahren und Technologien sowie Produktprüfungen. Aktuell und zukünftig sehr relevant sind die Themen Assetmanagement mit dem Schwerpunkt Zustandsbewertung und Digitalisierung, hier insbesondere ein IT-gestütztes Datenmanagement.

Das TZW ist eine organisatorisch und haushaltstechnisch eigenständige, gemeinnützige Einrichtung des DVGW mit Standorten in Karlsruhe und Dresden. Das jährliche Budget von rund 18 Mio. Euro setzt sich vor allem aus technisch-wissenschaftlichen Studien, praxisnahen Forschungsaufträgen und geförderten Forschungsprojekten zusammen. ■

**Kontakt:**  
 TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser  
 Dagmar Uhl  
 Karlsruher Str. 84  
 76139 Karlsruhe  
 Tel.: 0721 9678-233  
 E-Mail: dagmar.uhl@tzw.de  
 Internet: www.tzw.de

# Sichere Wasserversorgung trotz Klimawandel

– die Forschungsaktivitäten des IWW Zentrums Wasser

Die letzten Jahre und insbesondere die letzten drei Sommer haben gezeigt, dass der Klimawandel spürbar in Deutschland angekommen ist. Mehr Starkregen, längere Hitze- und Trockenperioden, Hochwasser und veränderte Grundwasserneubildung stellen die Menschen vor neue Herausforderungen. Wie lässt sich unter diesen Gesichtspunkten eine nachhaltige und sichere Wasserversorgung gewährleisten? Dazu forscht das IWW Zentrum Wasser u. a. zu Auswirkungen des Klimawandels, um rechtzeitig Strategien und nützliche Werkzeuge zur Anpassung zu entwickeln.

Das Institut betreibt seit 1986 interdisziplinäre Forschung und Beratung im Wasserfach. Die Arbeitsbereiche des IWW decken dabei die gesamte Wasserversorgung ab und reichen vom Wasserressourcen-Management über Wassertechnologie, Wasserqualität, Wernetze, angewandte Mikrobiologie bis hin zur Wasserökonomie und Managementberatung. Wissenschaftliche Arbeit, Wasseranalytik und Beratungskompetenz des An-Instituts der Universität Duisburg-Essen sind deutschlandweit und international anerkannt. Fast 150 Naturwissenschaftler, Ingenieure, Ökonomen und Techniker arbeiten an den Standorten Mülheim an der Ruhr in Nordrhein-Westfalen, Biebesheim in Hessen und Diepholz in Niedersachsen für das IWW. Kunden des Instituts sind Wasserversorger, Industrie, Schwimmbadbetreiber und Ministerien und Behörden. Grundlage für die kompetente Beratung sind die nationalen und internationalen Forschungsaktivitäten des IWW, die strategisch auf die aktuellen und zu erwartenden Herausforderungen des Wassersektors ausgerichtet sind.

Um den Herausforderungen des Klimawandels zu begegnen, entwickelt das

IWW momentan beispielsweise ein Tool zur automatisierten Erstellung von Wasserbedarfsprognosen und forscht an einem Frühwarnsystem für Wasserversorger, das anhand der Beobachtung von verschiedenen Klima- und Wettersituationen eine Prognose der Grundwassermengen liefert. So können frühzeitig geeignete Maßnahmen ergriffen werden. Im Rahmen eines BMBF-geförderten Vorhabens entwickelt das IWW unter der Leitung der TU München hochflexible und bedarfsgerechte Managementstrategien für die Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung.

Dies sind nur einige wenige Projekte des IWW, die sich mit der Anpassung an den Klimawandel beschäftigen. Das

Thema wird die Wasserversorgung und -forschung in den nächsten Jahrzehnten weiterhin stark beeinflussen, verändern und vor neue Herausforderungen stellen. Dem kann aber durch vorausschauende Planung und langfristig angelegte Strategien begegnet werden. Das IWW Zentrum Wasser leistet hierzu einen wertvollen Beitrag. ■

Kontakt:

IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gGmbH

Lothar Schüller (Geschäftsführer)

Dr. David Schwesig (technischer Leiter)

Moritzstr. 26

45476 Mülheim an der Ruhr

Tel.: 0208 40303-0

E-Mail: [info@iww-online.de](mailto:info@iww-online.de)

Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)

<b>BMBF-Wasser:N</b>	<b>Nutzwasser als alternative Ressource</b> Entwicklung hochflexibler und bedarfsgerechter Managementstrategien für eine Wasserwiederverwendung zur urbanen und landwirtschaftlichen Bewässerung
<b>E.ON SE</b>	<b>Hygienische Risiken im Netz</b> Vermeidung hygienischer Risiken durch Verringerung der Nährstoffe in der Aufbereitung und der Temperatur im Netz
<b>E.ON SE</b>	<b>Wasserbedarfsprognosen</b> Nutzung neuartiger Analysealgorithmen zur automatisierten Erstellung von Wasserbedarfsprognosen
<b>E.ON SE</b>	<b>Grundwasserdargebot</b> Kooperative Bewirtschaftungsansätze zur Kompensation klimabedingter Minderungen des Grundwasserdargebots
<b>EU H2020</b>	<b>B-WaterSmart</b> Entwicklung von nachhaltigen Strategien sowie technologischen und Smart-Data-Lösungen für eine effiziente und sichere Zuteilung und Nutzung von Ressourcen
<b>LAWA</b>	<b>Umgang mit Zielkonflikten bei der Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel</b> Untersuchung von Anpassungsoptionen für Landwirtschaft und Wasserwirtschaft auf Zielkonflikte und Synergien zwecks Ableitung von Lösungsstrategien und Handlungsempfehlungen
<b>UBA</b>	<b>Niedrigwasser</b> Erarbeitung von Planungsgrundlagen zu einem koordinierten Umgang mit Niedrigwasser, Dürre und tiefen Grundwasserständen in Deutschland

Auswahl aktueller Forschungsvorhaben zum Klimawandel am IWW Zentrum Wasser

Quelle: IWW



# Anpassungen an den Klimawandel im Flussgebietsmanagement

In dem von der EU geförderten Forschungsprojekt BINGO (Bringing INnovation to onGOing water management) haben die beteiligten Forschungseinrichtungen verschiedene Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel in der Wasserwirtschaft untersucht. In Rahmen einer Fallstudie im Wupperverbandsgebiet wurde dabei eine Methodenkombination entwickelt und erprobt, um die Kostenwirksamkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen im urbanen Raum der Stadt Wuppertal zu bewerten. In diese Bewertung sollte das Gefahrenpotenzial für Personen- und Sachschäden sowie für Gewässergütegefahren einfließen. Der Mirker Bach als Zulauf der Wupper stand im Fokus der Fallstudie. Der Beitrag erläutert das Vorgehen der Forscherinnen und Forscher und stellt zentrale Untersuchungsergebnisse vor.

von: Clemens Strehl, Andreas Hein (beide: IWW Zentrum Wasser), Marc Scheibel, Paula Lorza, Daniel Heinenberg (alle: Wupperverband) & Prof. Dr. Andreas Hoffjan (TU Dortmund)



Quelle: WSW Wuppertaler Stadtwerke GmbH

Der globale Klimawandel wirkt bis in kleine Fließgewässer und bedingt so auch Risiken für das Flussgebietsmanagement kleiner Einzugsgebiete. Insbesondere die steigende Intensität von lokalen Starkregen-Ereignissen erhöht dabei das Risiko von extremen Hochwässern [1]. Besonders in dicht besiedelten Siedlungsräumen akkumulieren sich dadurch Gefahrenpotenziale, die durch die Überflutungen aus urbanen Fließgewässern und über den direkten Oberflächenabfluss ausgelöst werden können. Solche Überflutungen bedeuten zum einen Sachschadensgefahren sowie Personenschadenspotenziale. Zum anderen bringen die dadurch ausgelösten Rückflüsse aus den urbanen Entwässerungssystemen Gefahren für die Gewässergüte durch Schadstoffe und Kontaminationen mit sich. Letzteres Risiko ist insbesondere bei Überflutungsereignissen in Industrie- und Gewerbegebieten hoch.

Wasserverbände haben in diesem Zusammenhang die komplexe Aufgabe, die Fließgewässer in ihrem Verantwortungsbereich so zu unterhalten, dass Schäden für Personen wie auch für Sachgüter durch Hochwässer minimiert werden und ebenso möglichst keine negativen Effekte auf die Gewässergüte durch Überflutungsereignisse drohen. Diese Aufgabe sollte – trotz der hohen Bedeutung – möglichst wirtschaft-

**Abb. 1:** Überflutung aus dem Mirker Bach an der Uellendahler Straße in Wuppertal



lich erfolgen, um unverhältnismäßigen Aufwand zu vermeiden und gleichzeitig dennoch die Ziele zu erreichen. Dazu gilt es für die Verantwortlichen, sowohl die Kosten der Maßnahmen als auch deren Wirksamkeit zu bewerten und ins Verhältnis zu setzen. Weiterhin ist eine derartige Bewertung auch deshalb sinnvoll, um mögliche Maßnahmen innerhalb des Verantwortungsbereiches zu priorisieren und finanzielle Mittel zunächst dort einzusetzen, wo die beste Kostenwirksamkeit zu erwarten ist.

Vor diesem Hintergrund haben die beteiligten Akteure in dem internationalen Forschungsprojekt BINGO zwischen 2015 und 2019 unter Leitung des IWW Zentrums Wasser verschiedene Fallstudien zur Anpassung wasserwirtschaftlicher Systeme an den Klimawandel durchgeführt – u. a. im Flusseinzugsgebiet der Wupper. In enger Kooperation mit dem Wupperverband sollten dabei sich ändernde Risiken aus Starkregen im urbanen Raum untersucht werden. Als Untersuchungsbe- reich wurde der Fokus auf den Mirker Bach im unmittelbaren Stadtbereich von Wuppertal gelegt. Der Mirker Bach gilt als Risikogewässer nach der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie [2], wie Schadensereignisse der jüngeren Vergangenheit bestätigen (Abb. 1).

## Methodik und Daten

### Zielsetzung einer neuen Methodik

In der Fachliteratur werden Schäden aus Überflutungen in tangible und intangible Schäden unterschieden. Tangible Schäden sind gut quantifizierbar und damit monetär bewertbar, Beispiele hierfür sind z. B. Sachschäden an Gebäuden und Wertgegenständen. Intangible Schäden wiederum sind häufig weniger gut quantifizierbar und nicht eindeutig oder gar nicht monetär zu bewerten [3, 4]. Im Rahmen der Fallstudie am Mirker Bach wurden zwar beide Schadensarten untersucht, im besonderen Fokus standen allerdings die nicht-monetären Schäden. Obwohl diese häufig schwer abzuschätzen sind,

**Tabelle 1: Die Arbeitsschritte der Fallstudie**

allgemeine Prozessschritte des Risikomanagements	spezifische Arbeiten in der Fallstudie
Risikobeurteilung	Hotspot-Liste entlang des Mirker Bachs Analyse der Überschwemmungsgebiete für drei Jährlichkeiten Bewertung der nicht-monetären Schadenspotenziale
Risikobehandlung	Identifikation von passenden Risikoreduktionsmaßnahmen Analyse der Risikoreduktionspotenziale für identifizierte Maßnahmen zusammenfassende Bewertung der Risikoreduktionswirkung von Maßnahmen anhand von zwei Kriterien Bewertung der Kosten je Maßnahme zusammenfassender Kostenwirksamkeitsquotient Priorisierung der Überflutungsschutzmaßnahmen

Quelle: IWW Zentrum Wasser

sind sie für die Entscheidungsfindung zu einem angemessenen Überflutungsschutz nicht weniger wichtig als monetäre Schäden. Daher sollte eine Methodik entwickelt werden, welche sowohl die nicht-monetären Schäden als auch die Risikoreduktionswirkung der einzelnen Überflutungsschutzmaßnahmen quantitativ bewertbar macht. Die Kosten der Schutzmaßnahmen sollten ins Verhältnis zur Risikoreduktionswirkung gesetzt werden, um in der Folge auch die Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können.

### Fallstudienprozess

Der Forschungsansatz war explorativ angelegt und erlaubte damit einen Methoden- und Datenmix. Gleichwohl orientierte sich die neue Gesamtmethodik an einschlägigen Quellen zum Risikomanagement [5], an der wissenschaftlich fundierten Bewertung von Maßnahmen [6] und an etablierten wasserwirtschaftlichen Rahmenwerken [7], um den Standards angewandter Forschung zu genügen.

Gemäß der DIN-ISO-31000 [5] sind die Risikobeurteilung und die Risikobehandlung zwei wesentliche Bestandteile des Risikomanagements. Die Risikobehandlung ist für die Anpassung im Flussgebietsmanagement an die steigenden Überflutungsrisiken in Zeiten des Klimawandels entscheidend. Dazu zählt insbesondere die Entscheidungs-

unterstützung zur Bewertung, Auswahl und Priorisierung von Überflutungsschutzmaßnahmen. **Tabelle 1** fasst die Arbeitsschritte in der Fallstudie am Mirker Bach anhand der Prozesslogik der DIN-ISO-31000 zusammen.

### Hotspots, Risikoanalyse und quantitative Bewertung nicht-monetärer Schäden

Um die Methodenkombination an einem handhabbaren Fallbeispiel testen zu können, wurde unter Abstimmung mit dem Wupperverband eine Auswahl verschiedener Hotspots mit bekanntem Hochwasserrisiko identifiziert. Im Rahmen dieser Fallstudie wurden insgesamt sieben von 13 Hotspots am Mirker Bach und seinen Zuläufen näher betrachtet (Kürzel: MI1, MI2-MI5, MI8 und MI12). Für diese Hotspots wurde anhand von geografischen Informationssystemdaten (GIS-Daten) das Schadenspotenzial für drei verschiedene Überflutungsereignisse ausgewertet. Untersucht wurden statistisch

- alle zehn Jahre zu erwartende Hochwässer,
- alle 100 Jahre zu erwartende Hochwässer und
- alle 500 Jahre zu erwartende Hochwässer.

Diese Spannweite entspricht der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie und muss berücksich-



Quelle: WW Zentrum Wasser mit Daten des Wupperverbands unter Nutzung der Software ArcGIS

**Abb. 2:** Exemplarischer GIS-Datenauszug für einzelne Hotspots, Überflutungsflächen eines 500-jährlichen Hochwassers und betroffener Gebäude

tigt werden, weil trotz vieler Unsicherheiten in der zukünftigen Klimaentwicklung schon heute von häufigeren Extremwetterlagen auszugehen ist [1]; dies haben auch die während der Projektlaufzeit stattgefundenen Überflutungen u. a. im Einzugsgebiet des Mirker Baches gezeigt. In Zukunft ist nach dem Stand der Forschung nicht mehr von einem stationären Klima auszugehen [8, 9]. Statistisch noch seltene, aber extreme Ereignisse sind daher als realistisch zu sehen und unbedingt zu analysieren, da sie sich in Zukunft häufiger ereignen könnten. Gleiches gilt für statistisch häufiger vorkommende Ereignisse, wenn sie bereits Schäden verursachen. Denn durch eine verkürzte Wiederkehrzeit können diese über die Jahre ein deutliches Schadensausmaß akkumulieren.

Um die relevanten nicht-monetären Auswirkungen als Indikatoren für die Analyse festzulegen, führten die Projektbeteiligten zunächst einen Workshop mit Stakeholdern durch. In einem zweiten Workshop wurde dann die relative Wichtigkeit der einzelnen Indikatoren zueinander abgefragt. Dazu führte man einen paarweisen Vergleich der Indikatoren in Anleh-

nung an die Methodik nach [10] durch. Dieses Vorgehen eignet sich besonders, wenn viele Indikatoren zur Diskussion stehen und mit einer Stakeholderrunde in einem fairen und transparenten Verfahren eine Rangfolge der Indikatoren nach ihrer Wichtigkeit erstellt werden soll. Es zeigte sich, dass von insgesamt neun Indikatoren zwei als besonders wichtig herausstachen: Die „Anzahl betroffener sensibler Objekte“ und die „Anzahl betroffener Anwohner“ erhielten beinahe eine identische relative Wichtigkeit. Die nachfolgenden Analyseschritte fokussierten sich daher auf diese beiden Indikatoren.

Die **Abbildung 2** visualisiert die Datenbank-gestützte Vorgehensweise zur Bewertung der nicht-monetären Auswirkungen. Anhand der von der Überflutungsfläche (blau-transparente Fläche) überlagerten Gebäude (graue Umrisse) konnte ausgewertet werden, ob besonders sensible Objekte im simulierten Überflutungsgebiet liegen. Mit Daten der Firma Hydrotec auf Basis der sogenannten Klassifikation der Wirtschaftszweige vom Statistischen Bundesamt [11, 12] konnte für alle betroffenen Gebäude überprüft werden, ob

sie zu sensiblen Objekten zählen. Im Rahmen der Fallstudie wurde festgelegt, dass Gebäude aus folgenden Wirtschaftszweigen dazu zählen:

- Kraftfahrzeughandel, Instandhaltung und Reparatur von Kfz, Tankstellen
- Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen
- Erziehung und Unterricht

Für diese drei Klassen sind Objekte im Umkreis der betrachteten Hotspots vorhanden. Aus den Objekten rund um den Kraftfahrzeugbereich geht dabei ein hohes Risiko durch Kontamination des durchströmenden Wassers aus. Diese Kontaminationen können beispielsweise zu Gewässergüteproblemen für Oberflächengewässer oder Grundwasserkörper führen. Auch von medizinischen oder veterinärtechnischen Einrichtungen geht ein Risiko für die Umwelt und die Gewässergüte aus. Weiterhin ist die Überflutung von Einrichtungen aus dem Sozial-, Gesundheits- sowie Bildungswesen kritisch, weil hier besonders vulnerable Bevölkerungsgruppen (Kinder, Kranke und ältere Menschen) gefährdet sind.

Die simulierten Überflutungsflächen wurden außerdem mit GIS-Daten zur Bevölkerungsdichte abgeglichen [13]. Somit konnten die Projektbeteiligten feststellen, welche Einwohneranzahl jeweils potenziell von einem Schadensereignis betroffen wäre. Zusammenfassend ließ sich so für die Indikatoren „Anzahl betroffener sensibler Objekte“ sowie „Anzahl betroffener Anwohner“ das nicht-monetäre Schadenspotenzial für jedes der drei Hochwasserereignisse (10-, 100- und 500-jährlich) quantifizieren.

**Maßnahmenidentifikation, Analyse der Risikoreduktionspotenziale und deren zusammenfassende Bewertung**

Für die Fallstudie identifizierten die beteiligten Stakeholder drei verschiedene Maßnahmentypen zur Risikoreduktion an den Hotspots. Für den Hotspot MI1 bietet sich dabei ein tech-

nischer Linienschutz an, welcher bis zur Schwelle des Bauwerks einen erhöhten Hochwasserschutz bietet. Für die Hotspots MI2 bis MI5 sowie MI12 ist bereits ein Hochwasser-Rückhaltebecken vorgesehen, für das ortsnah eine freie Fläche identifiziert werden konnte. Als Drittes bietet sich für die betroffenen Objekte am Hotspot MI8 ein individueller technischer Objektschutz an. Unter Einbeziehung der identifizierten Maßnahmen wurden die oben beschriebenen Schritte zur Quantifizierung der von Überflutungen je Wiederkehrzeit betroffenen sensiblen Objekte und Anwohner erneut durchgeführt. Die Differenz zum jeweiligen Wert ohne Maßnahme entspricht dem Risikoreduktionspotenzial einer Maßnahme.

Für einen fairen Maßnahmenvergleich anhand von zwei nicht-monetären Indikatoren wurde die jeweilige Risikoreduktionswirkung auf einen dimensionslosen Maßstab normiert (jeweils in Prozent der Reduktionswirkung, gemessen am besten Ergebnis). Die Risikoreduktionswirkung beider Indikatoren wurde anschließend für eine zusammenfassende Bewertung gemäß den Stakeholder-Präferenzen gleichgewichtet aggregiert.

**Maßnahmenkosten, Kostenwirksamkeitsquotient und Priorisierung**

Die Kosten der Maßnahmen wurden als Jahreskosten nach [7] geschätzt. Die Schätzung der laufenden Kosten und

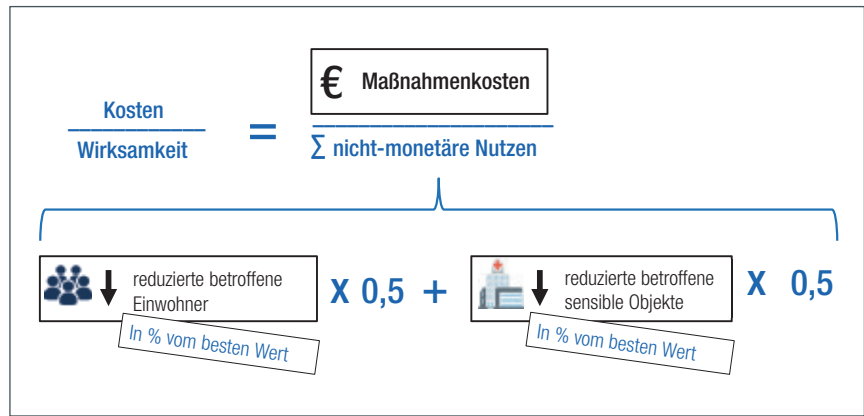


Abb. 3: Formelabbildung zur Kostenwirksamkeitsbewertung

notwendiger Investitionen für die Berechnung der Jahreskosten wurde dafür von der Firma Hydrotec bereitgestellt. Mit diesem Input konnte schließlich ein Kostenwirksamkeitsquotient nach [14] berechnet werden. Dieser setzt die Kosten der Maßnahme ins Verhältnis zum nicht-monetären Nutzensgewinn für jede Maßnahme. Wie aus **Abbildung 3** ersichtlich, zeigt er als Effizienzkriterium an, wie viel Euro für einen Prozentpunkt Risikoreduktion anfallen.

Mithilfe der Kostenwirksamkeitsquotienten je Maßnahme ließ sich somit eine eindeutige Rangfolge, gemessen an den Kosten im Verhältnis zur Effektivität der Risikoreduktion, ermitteln.

**Ergebniszusammenfassung**

Die Ergebnisse der Risikobeurteilung sowie der Risikobehandlung, bezogen

auf die beiden nicht-monetären Schadensindikatoren, sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Es zeigt sich, dass insbesondere das Hochwasserrückhaltebecken für die Hotspots MI2 bis MI5 und MI12 das Risiko der betroffenen sensiblen Objekte laut Simulation vollständig reduziert (keine Objekte mehr betroffen). Ebenso verringert es im Vergleich zu den anderen Maßnahmen das Risiko für die Anwohner am deutlichsten.

Die Ergebnisse der Kostenwirksamkeitsanalyse sind in **Tabelle 3** aufgeführt. Im Gegensatz zu den Zahlen der absoluten Risikoreduktion gemäß **Tabelle 2** zeigt sich hier, dass die dezentralen Maßnahmen eine ähnliche oder im Falle des Objektschutzes an MI8 sogar eine bessere Kostenwirksamkeit als das Hochwasser-Rückhaltebecken ausweisen. Im Sinne einer Priorisierung von Maßnahmen an-

Quelle: IWW Zentrum Wasser

Quelle: IWW Zentrum Wasser

Tabelle 2: Betroffene sensible Objekte und Anwohner ohne und mit Risikoreduktionsmaßnahme						
	Betroffenheit ohne Maßnahme			Betroffenheit mit Maßnahme		
	HQ <sub>500</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>10</sub>	HQ <sub>500</sub>	HQ <sub>100</sub>	HQ <sub>10</sub>
<b>sensible Objekte</b>						
MI1	1	1	1	1	0	0
MI2–MI5, MI12	10	10	10	0	0	0
MI8	1	1	1	1	1	0
<b>Anwohner</b>						
MI1	50	38	0	25	4	0
MI2–MI5, MI12	2.055	1.076	34	1.028	158	0
MI8	100	72	1	50	7	0



**Tabelle 3: Kostenwirksamkeit der Maßnahmen**

Maßnahme	Hotspots	Kostenwirksamkeit
Linienchutz	MI1	1,1 Tsd. Euro pro Prozent Risikoreduktion p. a.
Hochwasser-Rückhaltebecken	MI2–MI5, MI12	0,9 Tsd. Euro pro Prozent Risikoreduktion p. a.
Objektschutz	MI8	0,4 Tsd. Euro pro Prozent Risikoreduktion p. a.

Quelle: IWW Zentrum Wasser

hand der Kostenwirksamkeit stehen damit der Objektschutz an erster, das Hochwasser-Rückhaltebecken an zweiter und der Linienchutz an dritter Stelle.

### Fazit und Ausblick

Bezogen auf die Fallstudie am Mirker Bach hat sich im Rahmen des Projektes gezeigt, dass dezentrale Maßnahmen (wie z. B. der Objektschutz) im relativen Vergleich kostenwirksamer sein können als zentrale Lösungen (wie z. B. ein Hochwasser-Rückhaltebecken). Bei knappen finanziellen Ressourcen zur Umsetzung kann es also sinnvoll sein, diese vor zentralen Schutzmaßnahmen zu priorisieren. Gleichwohl ist es schwieriger, die vielen Beteiligten zu bewegen, die Maßnahmen umzusetzen. Zudem ist die Förderung der dezentralen Maßnahmen nach aktueller Förderstruktur nicht gegeben. So hängt die Maßnahmenwahl auch von der Umsetzbarkeit ab. Im Sinne eines effektiven Hochwasser- und Gewässergüterschutzes ist es vor dem Hintergrund einer nicht-stationären Klimaentwicklung umso wichtiger, in Abhängigkeit von der Mittelverfügbarkeit nach und nach möglichst für alle Hotspots die Risikovorsorge zu verbessern. Zentrale Maßnahmen können sich dazu durch eine höhere absolute Wirksamkeit auszeichnen.

Über den Rahmen dieser Fallstudie hinaus bietet die entwickelte Methodik und Systematik der Datenverknüpfung Transferpotenzial für ähnliche Fallstudien in der Klimawandelanpassung sowie andere wasserwirtschaftliche Fragestellungen. Die Methodik ist flexibel für eine größere Anzahl von In-

dikatoren einsetzbar, sofern passendes quantitatives Datenmaterial zur Verfügung steht.

### Dankagung

Dank gilt dem Fördermittelgeber (EU Grand Agreement Nr. 641739), allen Projektpartnern aus dem BINGO-Konsortium sowie insbesondere Robert Mittelstädt von der Firma Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH für die Daten und Informationen rund um die GIS-basierten Auswertungen dieser Fallstudie. ■

#### Literatur

[1] IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

[2] HWRM-RL (2007): Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union.

[3] Büchele B., Kreibich H., Kron A., Thieke A., Ihringer J., Oberle P., Merz B., Nestmann F. (2006): Flood-risk mapping: contributions toward an enhanced assessment of extreme events and associated risks, in: Natural Hazards and Earth System Sciences (6), 485–503.

[4] Smith K., Ward R. (1998): Floods – Physical processes and Human Impacts. Wiley, Chichester, ISBN/ISSN 978-0-471-95248-0, 394 S.

[5] DIN-ISO-31000 (2018): Risikomanagement – Leitlinien (ISO 31000:2018). Beuth Verlag GmbH Berlin, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, 24 S.

[6] DeGEval (2017): Standards für Evaluation. DeGEval – Gesellschaft für Evaluation e. V., Mainz, 66 S.

[7] DWA (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR Leitlinien). DWA/DVGW, Hennef, 207 S.

[8] LAWA (2017): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder 2017. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Stuttgart, 313 S.

[9] Milly P. C., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R. M., Kundzewicz Z. W., Lettenmaier D. P., Stouffer R. J. (2008): Climate change. Stationarity is dead: whither water management?, in: Science, 319 (5863), 573–574.

[10] Saaty T. L. (2008): Decision making with the analytic hierarchy process, in: International Journal of Services Sciences, 1(1), 83–98.

[11] Statistisches-Bundesamt (2008): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008), online unter [www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html](http://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html), abgerufen am 22. April 2021.

[12] Statistisches-Bundesamt (1993): Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 1993 (WZ 93), online unter [www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-1993.html?sessionId=DF9AFAEBCBF8EFB79061A749EDBEF71.live?712?nn=205976](http://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-1993.html?sessionId=DF9AFAEBCBF8EFB79061A749EDBEF71.live?712?nn=205976), abgerufen am 22. April 2021.

[13] Zensus (2011): Zensusdatenbank 2011 der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder.

[14] Levin H. M., McEwan P. J. (2001): Cost-Effectiveness Analysis: Methods and Applications. Sage Publications, Inc., Thousand Oaks and London, ISBN/ISSN 978 0 7619 1933 9, 308 S.

### Die Autoren

**Clemens Strehl** arbeitet im Bereich für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser in (inter-)nationalen Projekten. Die Fallstudie in Wuppertal ist Teil seiner laufenden Dissertationsarbeit zum Thema „Klimawandelanpassung in der Wasserwirtschaft“.

**Andreas Hein** leitet den Bereich für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser.

**Marc Scheibel** ist Leiter Wassermengengericht und Hochwasserschutz beim Wupperverband.

**Paula Lorza** arbeitet beim Wupperverband im Sachbereich für Wassermengengericht & Hochwasserschutz.

**Daniel Heinenberg** arbeitet beim Wupperverband im Sachbereich für wasserwirtschaftliche Grundlagen.

**Prof. Dr. Andreas Hoffjan** ist Lehrstuhlinhaber an der TU-Dortmund für Unternehmensrechnung und Controlling und wissenschaftlicher Direktor des Bereichs für Wasserökonomie & Management am IWW Zentrum Wasser.

#### Kontakt:

Clemens Strehl  
IWW Zentrum Wasser  
Moritzstr. 26  
45476 Mülheim an der Ruhr  
Tel.: 0208 40303-441  
E-Mail: [c.strehl@iww-online.de](mailto:c.strehl@iww-online.de)  
Internet: [www.iww-online.de](http://www.iww-online.de)



[www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)

[www.energie-wasser-praxis.de](http://www.energie-wasser-praxis.de)