

Einfluss von Klimaänderungen

auf die Wasserqualität von Talsperren und Strategien zur Minimierung der Auswirkungen

Die **Trinkwasserversorgung aus Talsperren** unterliegt in vielfacher Weise **Umwelteinflüssen**, die sich auf **Wassermenge und -qualität** auswirken. Im Rahmen eines Forschungsprojekts der **Arbeitsgemeinschaft Talsperren e. V. (ATT)** und der **TU Dresden** werden seit 2012 **Langzeitdaten** ausgewertet, um die Frage zu beantworten, wie sich **Qualitätsparameter** klimabedingt verändern, und daraus **Handlungsstrategien für eine stabile Versorgung** abzuleiten. Im folgenden Beitrag werden neben wesentlichen **Ergebnissen** beispielhaft **Möglichkeiten** dargestellt, wie bereits jetzt auf **Veränderungen** reagiert wird.

von: Hartmut Willmitzer (Thüringer Fernwasserversorgung), Kathrin Jäschke, Prof. Dr. Thomas U. Berendonk & Dr. Lothar Paul (TU Dresden)

Abb. 1: Anstieg der Wassertemperatur in 3 Meter Tiefe der Jahre 1993 bis 2011 von 13 Talsperren (Median mit 10-, 25-, 75- und 90-Perzentil sowie Min. und Max., Messstellen in 3 Meter Tiefe, Nordrhein-Westfalen: Bever, Wahnbach, Thüringen: Ohra, Weida, Zeulenroda, Sachsen: Dröda, Muldenberg, Carlsfeld, Neunzehnhain II, Saldenbach, Klingenberg, Gottleuba und Altenberg)

Zum Verständnis der nachfolgend dargestellten Veränderungen werden vorab einige grundlegende limnologische Prozesse erläutert:

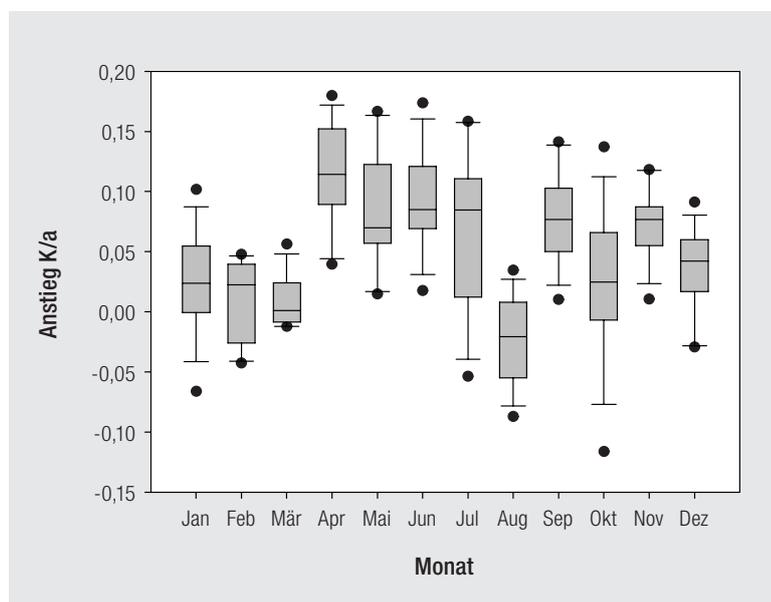
Tiefe Gewässer – so auch Talsperren – unterliegen im Jahresverlauf typischen thermischen Schichtungsverhältnissen. In unseren Breiten sind eine Winterstagnation (Eisbedeckung), gefolgt von einer Frühjahrszirkulation, der Sommerstagnation (warmes Wasser in oberen und kaltes in unteren Horizonten) und schließlich die Herbstzirkulation charakteristisch. Das Rohwasser für die Trinkwassergewinnung wird in der Regel aus den unteren tieferen Horizonten entnommen. Das den Talsperren zufließende Wasser schichtet sich

je nach Wassertemperatur in unterschiedlichen Tiefen ein. Die größten Zuflussmengen und somit auch Nährstofffrachten gelangen meist im Winterhalbjahr in die Talsperren. Mit der Zirkulation und Zunahme der Strahlungsintensität im Frühjahr startet die Entwicklung des Phytoplanktons im oberflächennahen, durchlichteten Bereich. Im Verlauf der Sommerstagnation sinkt dieses Plankton nach unten ab. Im Tiefenwasser wird es unter Zehrung von Sauerstoff abgebaut. Dabei können Laststoffe wie Eisen-, Mangan- und Phosphorverbindungen (Nährstoffe) zurückgelöst werden. Sowohl das Plankton als auch die rückgelösten Stoffe verursachen Qualitätsprobleme, die einen erhöhten Aufbereitungsaufwand für das Rohwasser zur Folge haben können. Die Intensität dieses Planktonwachstum wird von der Menge der eingetragenen und zurückgelösten Nährstoffe bestimmt.

Ergebnisse der Datenauswertung

Wesentliche Ergebnisse der Auswertung der Langzeitdaten sind folgende: An allen betrachteten Talsperren sind Einflüsse des Klimawandels erkennbar. In jeweils allen Monaten, außer August, konnte zum Beispiel einheitlich für die Jahre ab 1993 ein Anstieg der Wassertemperatur in den oberen Wasserschichten ermittelt werden (Abb. 1).

Im Frühjahr ist für alle Talsperren einheitlich der stärkste Temperaturanstieg zu verzeichnen. Dies hat Einfluss auf den Beginn der Sommer-



Quelle: TU Dresden

stagnation, welcher sich dadurch vorverlagert. Warme Herbstwetterlagen führen dazu, dass diese Schichtung im Herbst länger andauert, wodurch sich der gesamte Zeitraum der Sommerstagnation verlängert. Eine längere Schichtungsdauer bedeutet, dass der Vorrat an kaltem Tiefenwasser geringer wird. Außerdem verlängert sich der Zeitraum, in dem das Tiefenwasser keinen Kontakt zur Oberfläche hat und der Sauerstoffvorrat abnimmt. Durch die längere Sommerstagnation gewinnen die Rücklösungen von Laststoffen an Bedeutung.

Höhere Temperaturen im Sommer führen außerdem zu einer höheren Stabilität der Schichtung. Cyanobakterien („Blualgen“) profitieren davon, da sie in der Wassersäule schweben können. Einige Cyanobakterienarten bilden Toxine.

Weiterhin zeigt sich, dass der Eisauflauf, vor allem bei niedrig gelegenen Talsperren, sehr stark vorverlagert ist und es nun auch in den östlichen Regionen Jahre gibt, in denen eine Eisbedeckung gänzlich ausbleibt [1]. Fand der Eisauflauf zum Beispiel in der Talsperre Gottleuba bis zum Ende der 1980er-Jahre Ende März statt, so ist dieser seit den 1990er-Jahren im Mittel bereits Mitte Februar (Abb. 2). Das hat eine Verlagerung der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons zur Folge. Für die Talsperre Saldenbach wurde festgestellt, dass es durch eine längere Dauer der Vollzirkulation im Frühjahr trotz rückläufiger Phosphorkonzentrationen zu höheren Algenbiomassen kommt [2].

Möglicherweise weitere Effekte, die ihre Ursache in klimatischen Veränderungen haben, sind sommerliche Starkregenereignisse. Die Wasserbeschaffenheit wird dann durch die trübungs- und nährstoffreichen und teilweise huminstoffreichen Zuflüsse beeinträchtigt.

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der Datenauswertung ist, dass die Intensität der Veränderungen in Abhängigkeit von der Höhenlage der Talsperren variiert. Offenbar sind die hochgelegenen Talsperren weniger vom Klimawandel „betroffen“. Dort ist der Termin des Eisauflaufs nicht so stark vorverlagert wie bei niedrig gelegenen Talsperren (Abb. 3). Des Weiteren erreichen die Sommertemperaturen in Regionen ab einer Höhe von 500 m NHN noch nicht die Werte, ab denen Blualgen im Wachstum begünstigt werden.

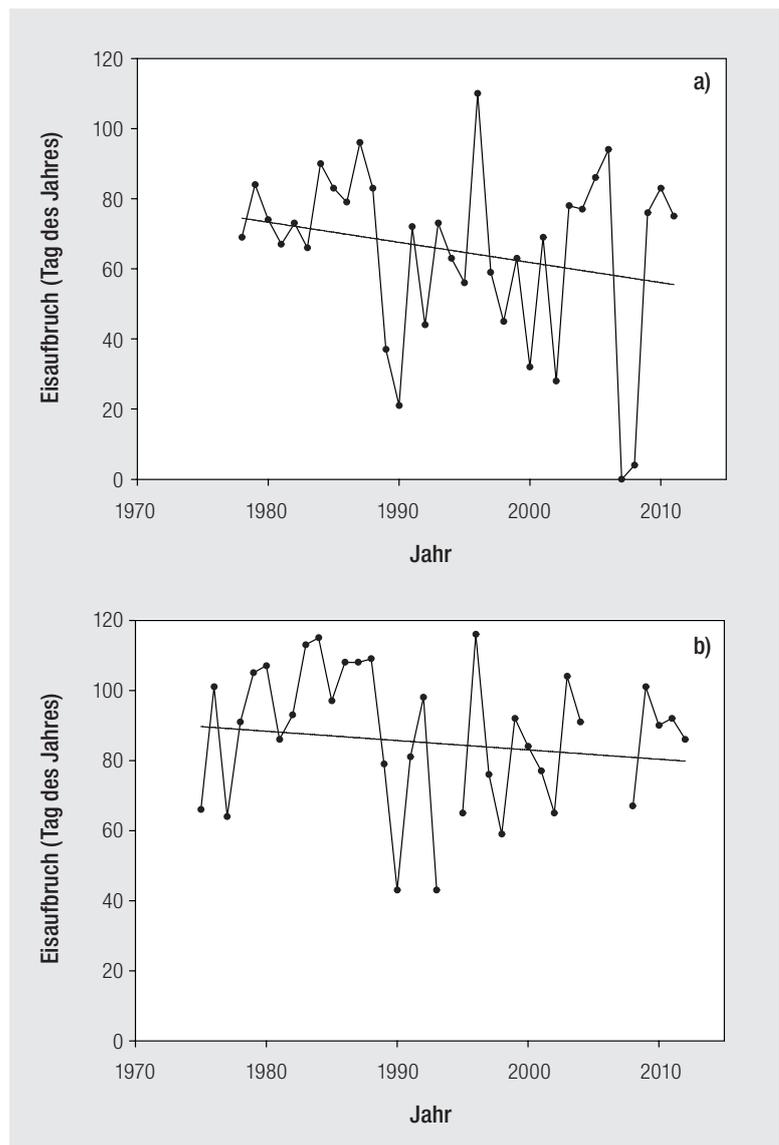


Abb. 2 a und b: Tag des Eisauflaufs in den Talsperren Gottleuba (a), Sachsen, Stauziel 420,75 m ü. NHN, $p = 0,24$, $b = -0,39$ und Muldenberg (b), Sachsen, Stauziel 712,40 m ü. NHN, $p = 0,5$, $b = -0,27$ p -Werte für die Trendlinien, b -Werte für den Trend der Vorverlagerung in Tage/a

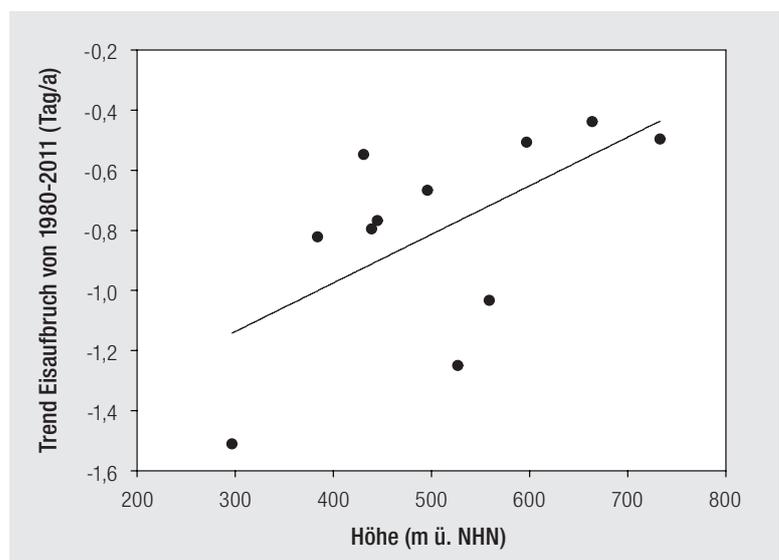


Abb. 3: Trend des Eisauflaufs von 1980 bis 2011 in Tag/Jahr in Abhängigkeit der Höhenlage, $p = 0,025$, p -Wert für Trendlinie

Grundsätzlich kann aus den Auswertungen resümiert werden, dass die Wasserqualität in vergleichsweise flachen Talsperren durch Klimaveränderungen stärker beeinflusst wird und dass die Folgen klimatischer Veränderungen in nährstoffreichen (eutrophen) Talsperren gravierender sind (u. a. [3], eigene Beobachtungen).

Bewirtschaftungsmöglichkeiten und Anpassungsstrategien

Im Ergebnis der Datenauswertung zeigt sich, dass auf limnologische Veränderungen reagiert werden muss, die sich in Folge der offensichtlichen Temperaturerhöhung ergeben. Grundsätzlich handelt es sich bei diesen Folgen nicht um unbekannte oder neue Prozesse, sondern um eine Veränderung deren Intensität sowie räumlicher und zeitlicher Muster. Im Fokus stehen die

Reaktion auf externe Stoffeinträge im Fall von Niederschlagsereignissen, Phytoplanktonentwicklungen während der Zirkulation und die Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigem Tiefenwasser (sog. hypolimnisches Wasser) im Sommer.

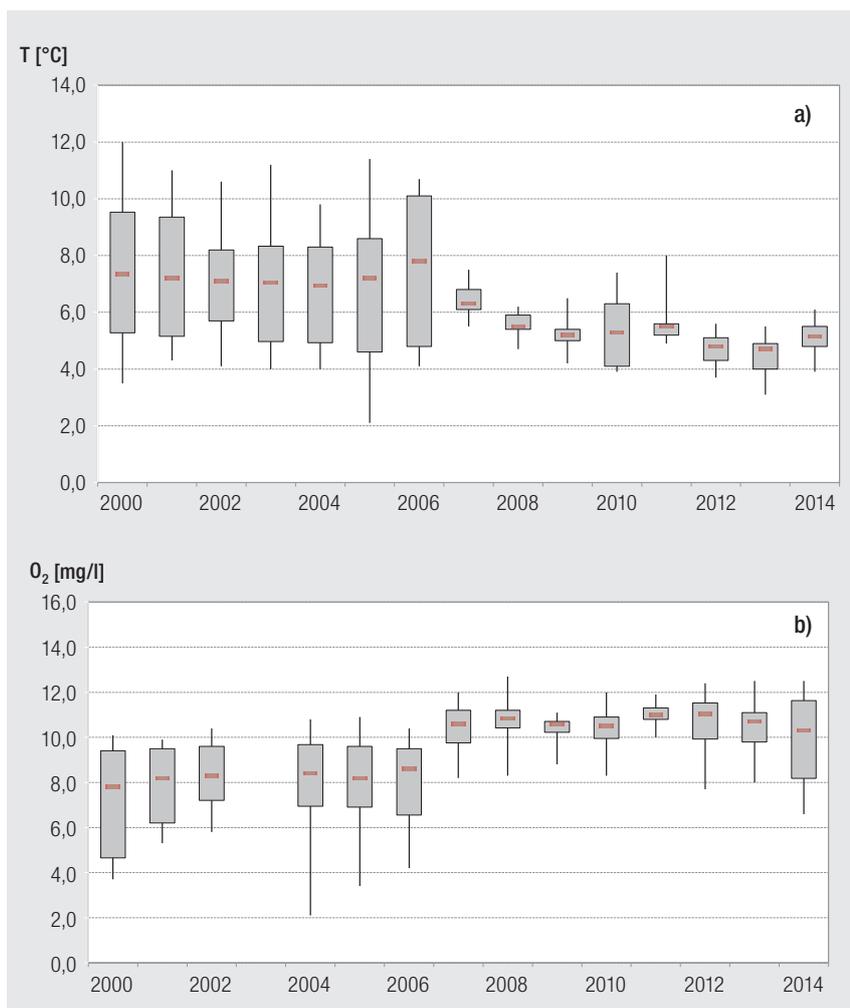
Auch vor dem Hintergrund klimatischer Veränderungen sind eine Minimierung von Phosphoreinträgen und der Erosionsschutz in den Einzugsgebieten von Trinkwassertalsperren eine unabdingbare Voraussetzung für eine sichere Versorgung.

Die Qualität des Talsperrenwassers wird neben den externen Einflüssen aus dem Einzugsgebiet in erheblichem Maß auch von Tiefe und Größe des Gewässers bestimmt. Mit der Größe und Tiefe eines Wasserkörpers nimmt der witterungsbedingte Ein-

fluss der Lufttemperatur auf das Tiefenwasser ab und der Sauerstoffvorrat zum Abbau von Algenbiomasse steigt. In **Abbildung 4** sind exemplarisch Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt eines aus dem Tiefenwasser entnommenen Rohwassers dargestellt. Bis 2006 wurde die Trinkwasseraufbereitungsanlage Zeigerheim aus der Vorsperre Deesbach (Volumen ca. 3,2 Mio. m³, Rohwasserentnahme in ca. 20 m Tiefe) und dann aus der Talsperre Leibis/Lichte (Volumen ca. 32 Mio. m³, Rohwasserentnahme in ca. 50 m Tiefe) versorgt [4]. Seit dieser Umstellung sind die Rohwassertemperaturen ausgeglichen niedrig und die Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser haben sich deutlich verbessert. Dadurch können Aufwendungen im Aufbereitungsprozess des Rohwassers verringert und der Betrieb des Fernwassernetzes stabilisiert werden.

Wie dargestellt, gibt es jedoch klimabedingte Veränderungen, die sich trotz guter struktureller Voraussetzungen negativ auf die Rohwasserqualität auswirken. Inzwischen stehen ausgereifte technologische Verfahren zur Verfügung, um die Qualität des Wassers in Seen und Talsperren zu verbessern [5]. Der Großteil dieser Maßnahmen ist jedoch mit erheblichen Investitions- und Betriebskosten verbunden (z. B. Tiefenwasserbelüftung oder Sauerstoffbegasung). Deshalb sollten vorrangig die vielfältigen Möglichkeiten einer angepassten Talsperrenbewirtschaftung genutzt werden. Dies ist im Vergleich zu natürlichen Seen an Talsperren deutlich besser möglich, denn sie haben einen höheren Wasserdurchsatz und es gibt technische Möglichkeiten zur Steuerung der abgegebenen und in Verbundsystemen auch der zufließenden Wassermenge.

Neben der Wassermenge kann an nahezu allen Trinkwassertalsperren auch die Entnahmetiefe des Rohwassers reguliert werden. Durch diese Variationsmöglichkeit werden zum Beispiel Horizonte mit geringerer Al-



Quelle: Thüringer Fernwasserversorgung

Abb. 4 a und b: Temperatur- und Sauerstoffentwicklung im Rohwasser des Wassergewinnungssystems Schwarza (Talsperre Leibis/Lichte)

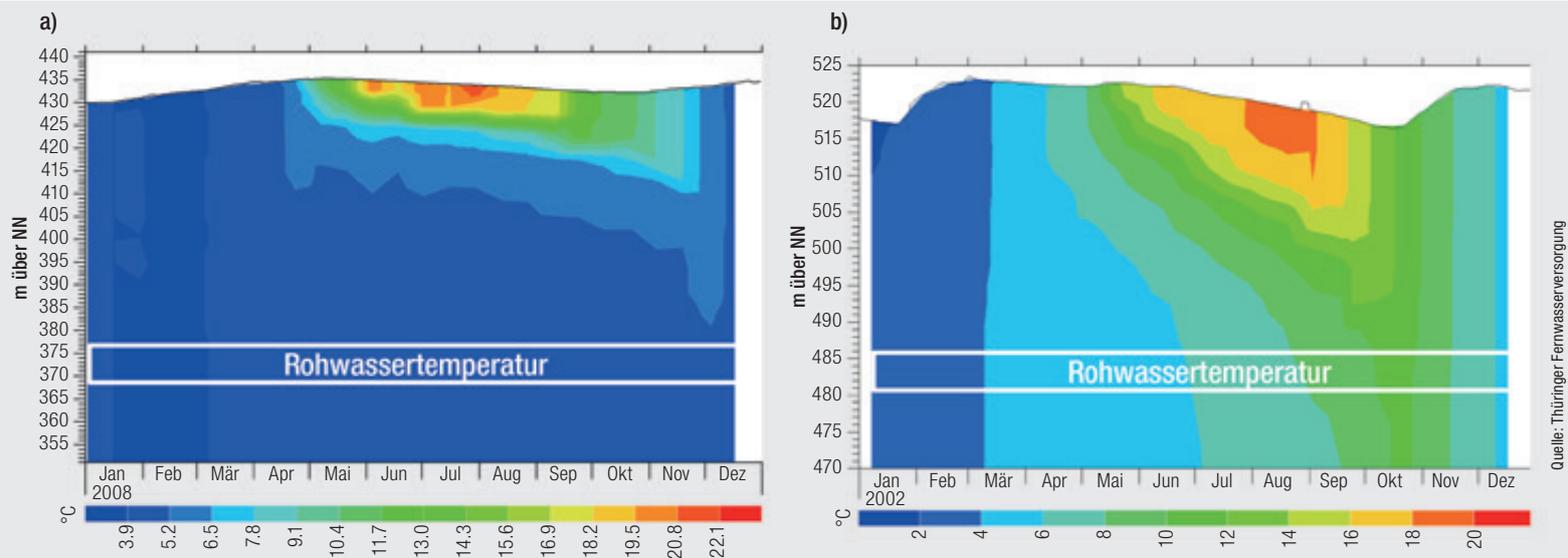


Abb. 5 a und b: Entwicklung des Tiefenwasseranteils (Hypolimnion) in zwei Talsperren in Abhängigkeit vom Beckenvolumen und Rohwasserentnahme mit schematischer Darstellung der Temperaturentwicklung im Rohwasser

genbiomasse, Trübung oder Mangankonzentration ausgewählt. Mit der Tiefe einer Talsperre wachsen die Variationsmöglichkeiten für den Rohwasserentnahmemehorizont.

Kaltes und planktonarmes Tiefenwasser (Hypolimnion) ist für die Aufbereitung und Verteilung des Trinkwassers in den Sommermonaten vorrangig. Für Talsperren, die der Trinkwassergewinnung dienen, muss die Bewirtschaftung auch hinsichtlich klimatischer Änderungen dieser Prämisse unterliegen, d. h., andere Nutzungen wie Energiegewinnung oder Unterwasserabgabe müssen an Trinkwassertalsperren im Fall einer möglichen Verknappung des Hypolimnions zurückgestellt werden. Das in den Sommermonaten den Talsperren zufließende Wasser schichtet sich überwiegend oberhalb des Hypolimnions ein. Deshalb kann die Entwicklung des Tiefenwasseranteils von Beginn bis zum voraussichtlichen Ende der Sommerstagnation anhand der Wasserabgaben einfach vorausberechnet werden.

Wie **Abbildung 5** zeigt, kann bei Vorliegen struktureller und bewirtschaftungstechnischer Voraussetzungen in den Sommermonaten ein hochwertiges Rohwasser bereitgestellt werden, das mit geringem Aufwand aufbereitet wird. Dennoch muss eine Aufbereitungsanlage darauf vorbereitet sein, dass z. B. bei Starkregenereignissen oder stärkeren Algenentwicklungen während der Zirkulation temporär auf erhöhte Trübung, mikrobiologische Belastungen oder mehr Biomasse reagiert werden muss.

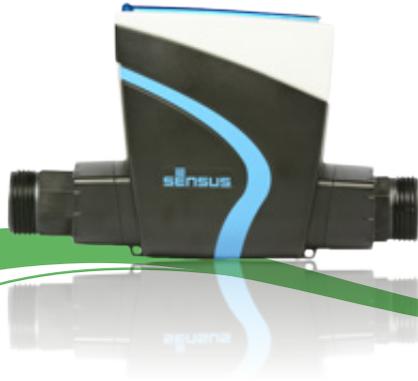
Auch für das Management von sommerlichen Starkregenereignissen kann durch die Schaffung von zusätzlichen Steuerungsmöglichkeiten der Wasserentnahme eine

deutliche Verbesserung der Rohwasserqualität erreicht werden: Im Interesse des Hochwasserschutzes ist ein unkontrolliertes Überlaufen der Talsperren zu verhindern. In der Regel schichten sich die stark belasteten Zuflüsse im Sommer oberflächennah ein. Um ▶



**Verlässliche und exakte
Echtzeitdaten als Schlüssel zum intelligenten
Netzwerk.**

Aktuelle Kommunikationsplattformen für mobile
oder stationäre Funkauslesung, zum Aufbau einer
zukunftsicheren, erweiterbaren Infrastruktur.



Sensus GmbH Ludwigshafen
info.de@sensus.com | www.sensus.com

ein Überlaufen zu verhindern, können oft nur aus dem Tiefenwasser (Grundablass) größere Mengen abgeleitet werden. Dabei geht dieses qualitativ hochwertige Wasser für die Wasseraufbereitung verloren. Auch aus den Erfahrungen beim Sommerhochwasser 2002 in Sachsen wurden deshalb an der Talsperre Klingenberg (mittlerer Zufluss 0,96 m³/s) bauliche Maßnahmen ergriffen, um große Wassermengen auch oberflächennah abzuleiten. Über Fischbauchklappen im Bereich der Hochwasserentlastungsanlage sowie einen Umgehungsstollen können jeweils bis zu 30 m³/s höher belastetes wärmeres Oberflächenwassers abgeleitet werden. Im konkreten Fall dienen diese Steuerungselemente auch dem ereignisbezogenen Herausleiten von stark huminstoffreichem Wasser zum Beispiel in Folge der Schneeschmelze.

Zusammenfassung

Im Ergebnis der Datenauswertung zeigt sich deutlich, dass die Veränderungen im Temperaturregime von Talsperren Auswirkungen auf die physikalische Struktur im Gewässer und damit auf die biologischen und chemischen Prozesse haben. Diese Folgeprozesse führen zu Qualitätseinschränkungen. Inzwischen kann die Frage beantwortet werden, welche Konstellationen im Einzugsgebiet und im Wasserkörper die klimainduzierten Qualitätsveränderungen maßgeblich bestimmen und wie darauf reagiert werden kann. Durch eine gezielte Bewirtschaftung der Ressourcen können bereits im Rohwasser Qualitätseinschränkungen verringert werden. Im Vergleich zu Grundwasserkörpern sind die Wasservorräte in Talsperren schnell regenerierbar. Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität wirken deshalb in vergleichsweise kurzer Zeit.

Dank

Die Autoren bedanken sich ganz herzlich bei allen Mitgliedsunternehmen der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V., die das Projekt mit Daten und Know-how unterstützt haben. Besonders möchten sie die Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, die Thüringer Fernwasserversorgung und den Wahnbachtalsperrenverband erwähnen. ■

Literatur

- [1] Jäschke, K., Sachse, R., Petzoldt, T., Wagner, A., Hegewald, T., Berendonk, T.U., Paul, L., 2013: Wie zeigt sich der Klimawandel in den deutschen Talsperren? In: WasserWirtschaft 5/2013, S. 32–35.
 [2] Horn, H., Paul, L., Horn, W., Uhlmann, D., Röske, I., 2015: Climate change impeded the re-oligotrophication of the Saldenbach Reservoir.

In: International Review of Hydrobiology, 100, 1–18, DOI 10.1002/iroh.201401743.

- [3] Weyhenmeyer, G., Westo, A., Wille, E., 2008: Increasingly ice-free winters and their effects on water quality in Sweden's largest lakes. In: Hydrobiologia 599:111–118, DOI 10.1007/s10750-007-9188-9.
 [4] Willmitzer, H., 2014: Die Fertigstellung der Talsperre Leibis/Lichte: Nutzung natürlicher Potenziale und Bewirtschaftung im Sinne einer hohen Trinkwasserqualität. In: Wasserwirtschaft 1/2, ISSN 00430978, S. 42–45.
 [5] DWA, 2006: Merkblatt DWA-M 606 Grundlagen und Maßnahmen der Seentherapie, 16 S.

Die Autoren

Dipl.-Biol. Hartmut Willmitzer ist Leiter des Fachausschusses der Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. und bei der Thüringer Fernwasserversorgung als Fachbiologe tätig

Dipl.-Biol. Kathrin Jäschke ist Doktorandin und Stipendiatin zum Thema „Auswirkungen des Klimawandels auf die Gewässergüte von Trinkwassertalsperren“ am Institut für Hydrobiologie, Technische Universität Dresden

Prof. Dr. Thomas U. Berendonk ist Direktor des Instituts für Hydrobiologie der Technischen Universität Dresden.

Dr. Lothar Paul ist Leiter der Ökologischen Station Neunzehnhain der TU Dresden und langjähriger Mitarbeiter im Langzeitprojekt Talsperre Saldenbach.

Kontakt:

Hartmut Willmitzer
 Thüringer Fernwasserversorgung
 Haarbergstr. 37, 99097 Erfurt
 Tel.: 0361 5509-181
 E-Mail: hartmut.willmitzer@thueringer-fernwasser.de
 Internet: www.thueringer-fernwasser.de

Kathrin Jäschke
 Prof. Dr. Thomas U. Berendonk
 TU Dresden
 Institut für Hydrobiologie
 Zellescher Weg 40, 01217 Dresden
 Tel.: 0351 463-38631, -42379
 E-Mail: kathrin.jaeschke@mailbox.tu-dresden.de,
 thomas.berendonk@tu-dresden.de
 Internet: www.tu-dresden.de/hydrobiologie

Dr. Lothar Paul
 TU Dresden
 Ökologische Station Neunzehnhain/Betriebseinheit der Fakultät Umweltwissenschaften
 Neunzehnhainer Str. 14, 09514 Lengfeld/Erzgebirge
 Tel.: 037367 2401
 E-Mail: lothar.paul@tu-dresden.de
 Internet: www.tu-dresden.de