

# Verwendung hydro-meteorologischer Indizes zur Dürre-Früherkennung

Felix Froehlich, Hubert Lohr (Darmstadt), Sandra Richter (Kassel) und Christof Homann (Düren)

## Zusammenfassung

Innerhalb des BMU-geförderten Forschungsvorhabens „Talsperren Anpassungsstrategie an den Klimawandel (TASK)“ werden Anpassungs- und Managementstrategien für Talsperren entwickelt, die klimabedingte Veränderungen des Niederschlagsregimes berücksichtigen und deren Auswirkungen auf den Talsperrenbetrieb in den Fokus nehmen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem frühzeitigen Erkennen von Trockenperioden, unter Verwendung hydro-meteorologischer Indizes und saisonaler Wetterprognosen. Ergebnisse aus diesem Vorhaben sollen hier vorgestellt werden.

**Schlagwörter:** Talsperren, Klimaanpassung, Talsperrensteuerung, Trockenperioden, Wetterprognose

DOI: 10.3243/kwe2021.09.003

## Abstract

### Using hydrometeorological indices for early drought detection

Talsperren Anpassungsstrategie an den Klimawandel (TASK), a research project on adapting dams to climate change funded by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, is developing adaptation and management strategies for dams that take account of climate-related changes in rainfall levels and focus on their impacts on dam operation. The project concentrates on the early detection of periods of drought using hydrometeorological indices and seasonal weather forecasting. This article presents the findings of the TASK project.

**Key Words:** dams, climate change adaptation, dam control, periods of drought, weather forecasting

## 1 Einleitung

In Deutschland werden seit mehreren Jahren klimabedingte Veränderungen des Niederschlagsregimes (Verschiebungen innerhalb des Jahres, Hochwässer, Starkregenereignisse, Trockenperioden) festgestellt. Dies hat Auswirkungen u. a. auf die Nutzung von Trinkwasserressourcen; die Erfüllung bestehender und häufig miteinander konkurrierender Anforderungen (Versorgungssicherheit, Talsperrensicherheit, Hochwasserschutz, Mindestwasserabgaben etc.) gelingt häufig nur eingeschränkt. Inhalt des Forschungsvorhabens ist es daher, Lösungen für die Auswirkungen sich verändernder Niederschlagsregimes in Form von Strategien zur Anpassung von Nutzungs- und Betriebsplänen zu entwickeln und in einer Handlungsanleitung [1] festzuhalten. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem frühzeitigen Erkennen von Trockenperioden. Eine zentrale Rolle bei der Erstellung dynamischer Betriebsregelkonzepte spielen Indizes. Bislang gehen meist Zustände wie Wasserstände, Zuflüsse und Niederschlag in die Betriebsregeln für Stauanlagen ein. Demgegenüber stehen Indizes, die erst durch eine räumlich-zeitliche Auswertung von hydro-meteorologischen Kenngrößen gewonnen werden.

## 2 Die TASK-Methode zur Früherkennung von Trockenperioden

Hydro-meteorologische Indizes sind seit langem Bestandteil der Hydrologie für die Zustandsbeschreibung des Klimas und/oder eines Einzugsgebietes. Obwohl Indizes den Zustand sowohl für Nassperioden als auch für Trockenperioden anzeigen,

ist der Fokus auf Trockenheit ausgerichtet. Es existieren weit über 50 verschiedene Indizes [2]. Am bekanntesten sind die sogenannten Drought-Indizes wie Standardized Precipitation Index (SPI), welcher von der World Meteorological Organization (WMO) für das Dürremonitoring empfohlen wird [3], sowie der Palmer Drought Index (PDI) oder der Surface Water Supply Index (SWSI).

Indizes vergleichen einen aktuellen Zustand mit dem Zustand eines festzulegenden Referenzzeitraums und ergeben meist einen einheitslosen, normierten Indexwert, der bei 0 liegt, wenn der betrachtete Zustand dem Referenzzustand gleich ist. Indexwerte größer Null bedeuten eine im Vergleich zum Referenzzeitraum überdurchschnittliche Situation (nasser), während Werte kleiner Null eine unter-durchschnittliche Situation (trockener) bedeuten.

Indizes werden über verschiedene Aggregationszeiträume berechnet. Gebräuchlich ist die Betrachtung von Zeiträumen zwischen drei bis 48 Monaten auf Basis von Monatszeitschritten. Somit stellt ein Index zwar eine Momentaufnahme dar, beinhaltet aber auch ein Gedächtnis der vorangegangenen Zeit. Je länger der Aggregationszeitraum ist, umso größer ist auch das verarbeitete Gedächtnis. Indizes verändern sich bei kurzen Aggregationszeiträumen dadurch schneller als bei langen. Üblicherweise werden Indizes auf der Basis von Messwerten berechnet. Durch die Trägheit mancher hydrologischen Prozesse liefert bereits ein auf Messwerten berechneter Index eine Möglichkeit einer kurzfristigen Tendenz für die Zukunft. Wird die Indexberechnung mit (saisonalen) Vorhersagen erweitert, also

Messdaten mit Vorhersagen kombiniert, verschiebt sich auch die Aussage weiter in die Zukunft und die Tendenz deckt einen größeren Zeitraum nach vorne ab (Abbildung 1).

Die Länge des Aggregationszeitraums und die Lage auf der Zeitachse spielen dabei eine große Rolle, da entscheidend ist, wie viele jeweilige Anteile „an gesichertem Wissen“ (Messwerte) mit „unsicherem Wissen“ (Vorhersage) kombiniert werden. Je größer der Anteil an gesichertem Wissen ist, umso sicherer wird die Aussage, jedoch ist dann der Vorhersagezeitraum entsprechend kürzer.

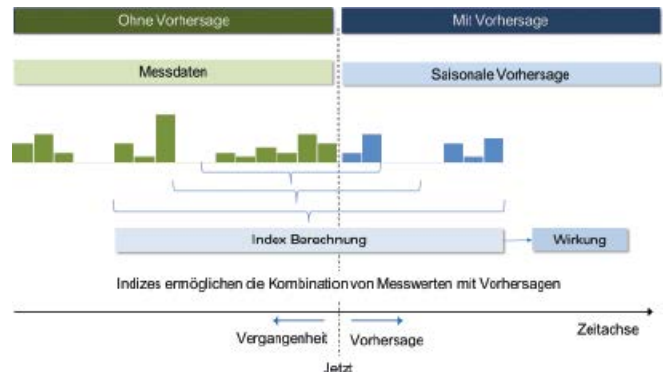


Abb. 1: Berechnung von Indizes auf der Basis von Messwerten und Vorhersagen

### 3 Bestimmung relevanter Indizes

#### 3.1 Messdaten Klima, Hydrologie

Im Vorhaben verwendet werden der Standardized Precipitation Index (SPI) [4] und dessen Erweiterung, der Standardized Precipitation Evaporation Index (SPEI) [5]. Der SPI ermöglicht eine Einschätzung der aktuellen hydrologischen Verhältnisse auf Basis eines Vergleichs des gefallenen Niederschlags in einem bestimmten Zeitfenster mit den Normalwerten. Der SPEI erweitert diese Betrachtung um die Berücksichtigung von Verdunstung. Die Datengrundlage zur Berechnung dieser Indizes sind die gemessenen Niederschläge und die Temperaturen der Bodenstationen des DWD, der entsprechenden Landesämter und der projektbeteiligten Talsperrenbetreiber.

#### 3.2 Bestimmung der Referenzperiode

Bei der Ableitung von Indizes werden Werte mit einem Referenzzeitraum verglichen und der Unterschied zwischen dem aktuellen Wert und dem vergleichbaren Referenzwert bewertet. Somit kommt dem Referenzwert und damit dem Referenz-

zeitraum eine zentrale Bedeutung zu. Die WMO formuliert als Empfehlung bezüglich der Zeitreihenanalyse eine Mindestlänge der Zeitreihen von 30 Jahren [3]. Der gewählte Referenzzeitraum sollte einen Zustand repräsentieren, der als „Normalzustand“ für das betrachtete Gebiet gilt. Eine regenreiche Referenzperiode wird schneller Trockenheit im Index anzeigen als eine trockene Referenzperiode. Üblicherweise werden in der Meteorologie die Jahre 1961 bis 1990 bzw. 1971 bis 2000 verwendet, in der Klimafolgenforschung gemäß Empfehlung der WMO zusätzlich die Jahre 1981 bis 2010. Im Klimaatlas des DWD ist zu erkennen, dass es ab den 90er Jahren eine Tendenz zur Erwärmung gibt [6]. Dies muss bei der Wahl des Referenzzeitraums für das betrachtete Gebiet berücksichtigt werden.

#### 3.3 Verifikation des Index

Für die praktische Anwendung eines Index als Entscheidungsgrundlage für wasserwirtschaftliche Fragestellungen muss in-

dwa.de/mediadaten



## Lösungen parat? Inserieren Sie in unseren **Schwerpunktausgaben** Wasserwirtschaftliche Extremereignisse – Hochwasser/Starkregen/Dürre

Wasserstress, Dürre, Hochwasser und Starkregen stellen neue Herausforderungen an Mensch und Natur, wasserwirtschaftliche Infrastrukturen, Städte- und Raumplanung.

Sie haben Lösungen parat? Inserieren Sie in unseren Schwerpunktheften und profitieren Sie von der besonderen Aufmerksamkeit in der Fachöffentlichkeit.

- Schwerpunkt **Wasserwirtschaftliche Extremereignisse** im Oktober in KA Korrespondenz Abwasser, Abfall (Anzeigenschluss verlängert bis 10.09.)
- Schwerpunkt **Niedrigwasser** im Oktober in KW Korrespondenz Wasserwirtschaft (AS 14.09.)
- Schwerpunkt **Hochwasser/Starkregen** im November in KW Korrespondenz Wasserwirtschaft (AS 12.10.)

Mediadaten mit allen Terminen, Formaten und Preisen unter [dwa.de/mediadaten](http://dwa.de/mediadaten)

Fordern Sie gern ein unverbindliches Angebot an:  
Monika Kramer · +49 2242 872-130 · [anzeigen@dwa.de](mailto:anzeigen@dwa.de)

© Irslinger, DWA © Grunke, DWA

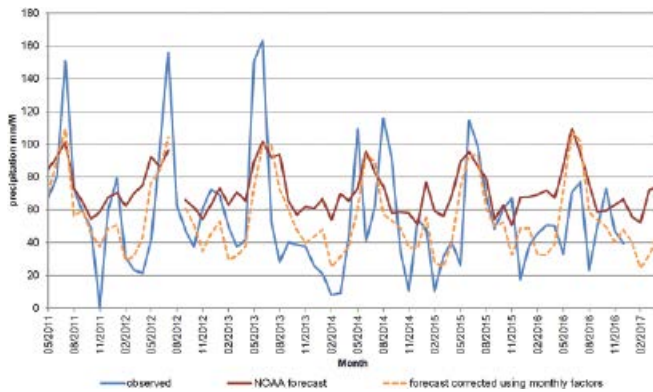


Abb. 2: Beispiel für eine Vorhersagezeitreihe vor (rot) und nach (orange gestrichelt) der Biaskorrektur mittels Linear Scaling anhand einer Messzeitreihe (blau). Dargestellt ist ein Vorhersagezeitraum von 1 Monat.

dividuell geprüft werden, ob der Index lokal relevante wasserwirtschaftlich kritische Situationen anzeigt. Dafür wird zunächst eine kritische Situation definiert, z. B. über den Talsperrenzufluss oder den Speicherinhalt. Anschließend sind verschiedene Indizes und Aggregationszeiträume zu prüfen, ob diese die jeweilige kritische Situation anzeigen.

#### 4. Integration von Vorhersagen

##### 4.1 Indexberechnung mit Vorhersagedaten

Die Aussage der Indizes wird durch die Verwendung von Vorhersagen in die Zukunft verlängert. Im Vorhaben werden globale saisonale Vorhersagen von der US-Behörde National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [7] und dem Europäischen Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersagen (EZMW) [8] verwendet. NOAA Vorhersagen enthalten an die 100 verschiedene Parameter, wovon, je nach betrachtetem Index, insbesondere Niederschlag und Temperatur interessant sind. Pro Rasterzelle stehen Vorhersagen für neun Monate mit einer Größe von ca.  $0,9^\circ \times 0,9^\circ$  zur Verfügung. Für Deutschland bedeutet dies etwa eine Fläche von ca.  $66 \text{ km} \times 104 \text{ km}$  pro Zelle. Um Vorhersagen in die Indexberechnung zu integrieren, werden die Messzeitreihen durch das Anhängen der Vorhersagen verlängert und der Index für diese neu erstellten Zeitreihen berechnet. Aufgrund der täglichen Aktualisierung der Vorhersagen ergibt sich für einen zukünftigen Zeitpunkt nicht nur ein Ergebnis, sondern mehrere, die als Ensemblemitglieder behandelt werden können.

##### 4.2 Biaskorrektur von Vorhersagen

Saisonale Vorhersagen aus den globalen Modellen müssen aufgrund ihrer groben räumlichen Auflösung durch sogenanntes Downscaling an die jeweilige Örtlichkeit angepasst werden. Im Rahmen dieses Downscalings erfolgt auch die Biaskorrektur. Die Bestimmung der Biaskorrekturparameter geschieht durch eine rückblickende Analyse der Daten für den Zeitraum, der von den Vorhersagen sowie den Messdaten abgedeckt wird. Bei Verwendung der NOAA-Vorhersagen ist im besten Fall (ohne Datenlücken) somit ein Abgleich für den Zeitraum von April 2011 (Beginn der NOAA-Vorhersagen) bis zum aktuellen Zeitpunkt möglich. Ziel der Biaskorrektur ist die bestmögliche Anpassung der Vorhersagen an die Messwerte eines spezifischen

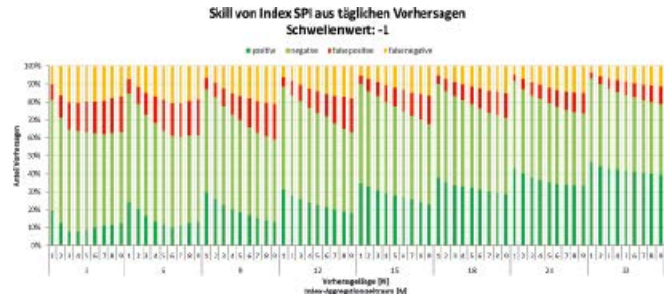


Abb. 3: Auswertung der Vorhersagequalität für einen Indexschwellenwert von  $-1,0$

Orts. Die auf Grundlage dieser Analyse bestimmten Biaskorrekturparameter werden verwendet, um zukünftige Vorhersagen zu korrigieren. Im TASK-Projekt hat sich das „Linear Scaling“ als geeignetste Korrekturmethode herausgestellt. Beim Linear Scaling wird für jeden Kalendermonat ein Korrekturfaktor ermittelt, der bei Multiplikation mit dem Vorhersagewert die bestmögliche Anpassung an die Messdaten erzielt. Die aktuellen Vorhersagen werden mithilfe der für jeden betrachteten Ort oder jede Messstelle individuell berechneten Biaskorrekturparameter korrigiert (Beispiel siehe Abbildung 2).

Die Ableitung neuer Biaskorrekturparameter kann bei jeder neuen Vorhersage erneut durchgeführt werden, dies ergibt sozusagen eine sich fortlaufend verändernde Kalibrierung. Damit kann der wachsende Datenbestand zur Biaskorrektur ausgenutzt werden. Ein Nachteil ist jedoch, dass die Nachvollziehbarkeit der zurückliegenden Berechnungen durch die fortlaufend veränderte Kalibrierung schwierig wird.

##### 4.3 Qualität der Vorhersage

Um eine Aussage über die Vorhersagequalität treffen zu können, wird die Übereinstimmung zwischen Index aus Vorhersagen und aus Messungen für 50 in der Nähe der Verbandsgebiete der Projektpartner liegende Stationen analysiert. Von besonderer Bedeutung ist, wie gut der aus der Kombination von Messung und Vorhersage berechnete Index festgelegte Schwellenwerte trifft. Durch eine rückblickende Analyse der Vorhersagedaten („hindcast“) können alle vergangenen Vorhersagen, für die mittlerweile ein entsprechender Messwert zur Verfügung steht, überprüft werden. Die Auswertung beinhaltet alle täglichen NOAA-Vorhersagen zwischen 01. April 2011 und 29. Februar 2020, also werden insgesamt 3256 Vorhersagen ausgewertet. Es wird kontrolliert, wie oft die Vorhersagen die Unterschreitung eines bestimmten Schwellenwerts des Index korrekterweise („positive“<sup>1)</sup>) oder fälschlicherweise („false positive“) prognostiziert haben. Umgekehrt wird auch analysiert, wie oft die Vorhersagen die Nicht-Unterschreitung eines Schwellenwerts korrekterweise („negative“) oder fälschlicherweise („false negative“) prognostiziert haben. Das Gesamtergebnis einer solchen Auswertung für einen Indexschwellenwert von  $\text{SPI} = -1,0$ , gemittelt über alle 50 untersuchten Stationen, ist in Ab-

1) Der Fokus der hier dargestellten Verwendung von Indizes und Vorhersagedaten liegt auf Trockenzeiten, d. h. auf der Unterschreitung von Schwellenwerten, die eine trockene Phase anzeigen. Aus diesem Grund wurde eine Vorhersage, welche die Unterschreitung eines Schwellenwertes korrekt vorhersagt, als „positive“ bezeichnet, eine Vorhersage, die korrekt anzeigt, dass keine Unterschreitung des Schwellenwertes stattfindet, als „negative“.



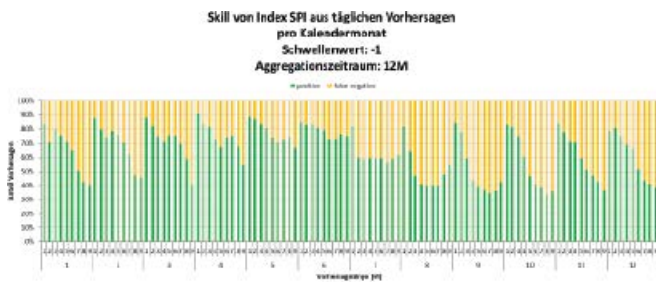


Abb. 4: Auswertung der Vorhersagequalität für einen Indexschwwellenwert von  $-1.0$ , Aggregationszeitraum 12M, pro Kalendermonat, nur Zeiträume mit tatsächlicher Unterschreitung

bildung 3 dargestellt. Für alle Konstellationen von Vorhersagelänge und Index-Aggregationszeitraum werden mehr korrekte als inkorrekte Vorhersagen getroffen. Je länger der Aggregationszeitraum und je kürzer die Vorhersagelänge, desto mehr Messdaten sind im Aggregationszeitraum enthalten, wodurch die Unsicherheit des mit Vorhersagen berechneten Index naturgemäß geringer wird.

Die Qualität der Vorhersagen ist nicht in allen Jahreszeiten gleich gut oder schlecht. Abbildung 4 zeigt die Vorhersagequalität für einen Aggregationszeitraum von zwölf Monaten in Bezug auf die Kalendermonate Januar bis Dezember. Hier werden nur Zeiträume ausgewertet, in denen der Schwellenwert von  $-1.0$  auch tatsächlich (laut Messung) unterschritten wird. Das Ergebnis zeigt, dass die Vorhersagen für die Monate November bis Juli im Mittel besser sind als für die Monate August, September, Oktober. Der für die Talsperrenbewirtschaftung besonders relevante Zeitraum von Januar bis Juni zeigt eine gute Vorhersagequalität.

Die Vorhersagequalität kann an verschiedenen Stationen bei gleicher Länge des Vorhersage- und Aggregationszeitraums unterschiedlich ausfallen. In Abbildung 5 ist die mittlere Vorhersagequalität über die Zeit für den Schwellenwert von  $-1.0$ , einen Aggregationszeitraum von zwölf Monaten und eine Vorhersagelänge von sechs Monaten für alle betrachteten Stationen getrennt gegenübergestellt. Wie man an der Gesamthöhe der Balken in der Grafik ablesen kann, ist die Häufigkeit, mit welcher der SPI den Schwellenwert von  $-1$  unterschreitet, von Station zu Station stark unterschiedlich.

Die gezeigten Auswertungen zeigen, dass die Qualität der Vorhersagen für den jeweiligen Anwendungsfall in Bezug auf die zu verwendenden Stationen, den Aggregationszeitraum und die Vorhersagelänge zu analysieren ist.

## 5 Einsatz des TASK-Ansatzes

### 5.1 Talsperrenbetrieb

Die Grundidee von TASK ist es, Indizes im Talsperrenbetrieb zu nutzen. Prinzipiell werden hier drei unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten der Indizes mit jeweils unterschiedlichen Bewertungen und auch Verbindlichkeiten gesehen:

- A. Verwendung als Zusatzinformation im Betrieb und in der Öffentlichkeitsarbeit.
- B. Verwendung zum Erkennen von Sondersituationen mit anschließender Handlung.
- C. Der Index geht in die Betriebsregeln ein.



Abb. 5: Auswertung der Vorhersagequalität für einen Indexschwwellenwert von  $-1.0$ , Aggregationszeitraum 12M, Vorhersagelänge 6M, pro Station, nur Zeiträume mit tatsächlicher Unterschreitung

Die einfachste Einsatzmöglichkeit A sieht vor, Indizes als Zusatzinformation und für die fachliche Kommunikation und die Öffentlichkeitsarbeit zu verwenden. Als Zusatzinformation können diese, zu den ohnehin im Monitoringsystem laufenden hydrologischen Messungen, Eingang in die Beurteilung der aktuellen Situation im Einzugsgebiet oder für den Talsperrenbetrieb finden. Die Öffentlichkeitsarbeit kann insofern gut unterstützt werden, weil Indizes sehr leicht in Kartenform dargestellt werden können und farblich animiert auch einer/m Laien/Laien eine Wassermangelsituation oder Wasserüberschussituation verständlich dargelegt werden können.

In Einsatzmöglichkeit B werden Indizes für die Identifikation von Sondersituationen eingesetzt. Sondersituationen werden auf Basis der TASK-Methode in der Regel Wassermangelsituationen sein. Hierbei dienen die Indizes dazu, bei Unterschreiten eines vorab festgelegten Schwellenwertes einen Prozess zur weitergehenden Analyse des wasserwirtschaftlichen Systems auszulösen. Die daraus resultierenden Handlungen können unterschiedlicher Art sein und sind Einzelfallentscheidungen. Ein Beispiel ist die Anpassung von Zielinhalten, wenn ein SPI den Wert von beispielsweise  $-1.5$  unterschreitet.

Einsatzmöglichkeit C stellt die volle Integration von Indizes in die Betriebsregeln dar. Das bedeutet, dass ein Index – oder mehrere Indizes – Bestandteil von Betriebsregeln werden, so wie der Zufluss zur Talsperre oder der Speicherinhalt selbst. Der TASK-Ansatz eignet sich in erster Linie zur Früherkennung von Trockensituationen. Insofern geht es bei seiner Anwendung darum, rechtzeitig einem Wassermangel zu begegnen.

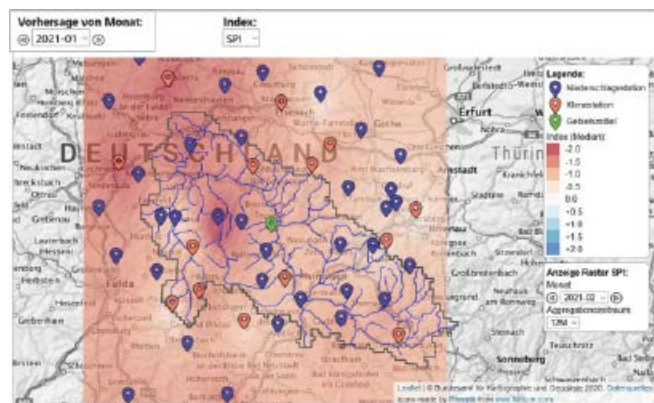


Abb. 6: Beispiel für die Darstellung von Indexwerten in Kartenform

Ein geeignetes Instrument, um diesen Wassermangelsituationen insbesondere zur Erfüllung konkurrierender Ansprüche bei Multifunktionsanlagen begegnen zu können, ist ein Kontingenzierungsplan. Dieser sollte bereits frühzeitig, d. h. in Situationen ohne Wasserstress, ausgearbeitet werden. Folgende Optionen stehen für eine Integration in Betriebsregeln im Vordergrund:

- Anpassung von Abgaben
- Anpassung von Zielinhalten
- Anpassung von Entnahmen

Wenn der gewählte Index einen Schwellenwert über- oder unterschreitet, treten die Betriebsregeln in Kraft, die für diese spezielle Situation entwickelt wurden. Es handelt sich somit nicht um eine Einzelfallentscheidung. Die Wirkungen solcher Betriebsregeln bedürfen einer umfassenden Analyse, ebenso die Wirkung auf andere Nutzungen. Voraussetzung ist, dass die Regeln mit den Aufsichtsbehörden zuvor abgestimmt und genehmigt worden sind. Somit unterscheidet sich die Einsatzmöglichkeit C von der Option B dadurch, dass Sondersituationen in den Betriebsregeln integriert sind und keine neue Analyse oder Einzelfallentscheidung erforderlich ist, da alle notwendigen Untersuchungen und Abstimmungen schon im Vorfeld getroffen wurden. Einsatzmöglichkeit C bietet die effizienteste Art, auf hydrologische Sondersituationen zu reagieren. Dies gilt sowohl für den Betreiber als auch für die Aufsichtsbehörde, da beide den Analyse- und Verifikationsprozess nur einmal durchlaufen müssen. Es ist somit eine Erweiterung bestehender Betriebspläne.

Anzeige

## Unser Expertentipp



Foto: Sabine Schindler - stock.adobe.com





WebSeminar	DWA-Themen T1/2017	DWA-Themen T2/2014
<p><b>Sicherer Betrieb von Talsperren unter sich ändernden Randbedingungen</b></p> <p>10. November 2021 Online 430,00 € / 360,00 €**</p>	<p><b>Stauanlagensicherheit und Folgen bei Überschreitung der Bemessungsannahmen nach DIN 19700</b></p> <p>Februar 2017 122 Seiten, A4 ISBN Print 978-3-88721-446-3 ISBN E-Book 978-3-88721-447-0 104,00 € / 83,20 €*</p>	<p><b>Anpassungsstrategien für Stauanlagen an den Klimawandel</b></p> <p>Juni 2014 84 Seiten, A4 ISBN 978-3-944328-40-9 88,50 € / 70,80 €*</p>

\*! für fördernde DWA-Mitglieder  
\*\*! für DWA-Mitglieder

## 6 TASK-Methode aus Sicht eines Talsperrenbetreibers

Die aus der Klimaentwicklung erwachsenden Ansprüche an die Talsperrenbetriebspläne erwecken einen Bedarf an zusätzlichen Bewirtschaftungskriterien, um die Ziele der Bewirtschaftung, für die die Stauvolumina der Talsperren eingerichtet wurden, auch in Zukunft erreichen zu können. Erste Untersuchungen zeigen, dass die Identifizierung von Trockenperioden auf Grundlage von hydrologischen Indizes sinnvoll und gewinnbringend in den Talsperrenbetrieb für Trockenperioden eingebracht werden kann [9].

Der Einsatz von Indizes in der Kommunikation von Trockenphasen wird sicher eine erste wertvolle Anwendung der Indizes sein. Die Bewirtschaftung von Talsperren ist äußerst komplex. Dies gilt, insbesondere in hydrologisch außergewöhnlichen Zeiten, naturgemäß auch für die Kommunikation und Diskussion der Thematik. Mithilfe der Indizes können diese auf ein abgeklärtes Niveau gebracht werden – wenn die Indizes allgemein bekannt und anerkannt sind. Dazu müssen für die verwendeten Indizes allgemein anerkannte Berechnungsmethoden und eine breite Verfügbarkeit gegeben sein, auch um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Einzugsgebieten und Talsperrensystemen zu erhalten. Auf diese Weise kann z. B. auch die je nach Einzugsgebiet unterschiedliche Betroffenheit verständlich dargestellt und kommuniziert werden.

Die Verwendung der Indizes zur Identifikation von Sondersituationen ermöglicht, nach einer vorherigen Abstimmung der Schwellenwerte, einen weitgehend reibungslosen Krisenbetrieb, führt auf der anderen Seite aber auch weiter zur Diskussion über darüber hinaus gehende Krisenpläne mit den entsprechend heiklen Fragen nach Priorisierung oder Kontingenzierung der Talsperrenfunktionen.

Da die Verfügbarkeit und Qualität von meteorologischen Daten und Prognosen weiterhin zunimmt, sollte dieses wachsende Potenzial für die Entwicklung neuer wasserwirtschaftlicher Werkzeugen genutzt werden, um mit der Entwicklung der Anforderungen an die Talsperrenbewirtschaftung Schritt zu halten und für die Zukunft hinreichend vorbereitet zu sein.

## 7 Fazit

Der beschriebene TASK-Ansatz basiert im Wesentlichen auf der Integration von hydro-meteorologischen Indizes in die Bewirtschaftung von Talsperren und auf der Kopplung von Messdaten mit Vorhersagedaten (saisonale Vorhersagen) für die Generierung von Indizes.

Ausschließlich auf Grundlage von Messdaten ermittelte Indizes haben den Nachteil, dass ihre Prognoseleistung, die aus der Trägheit des hydrologischen Systems entspringt, recht gering ist und gegenüber der sehr langfristigen Bewirtschaftung größerer und entsprechend träger Talsperrensysteme an der entscheidenden Stelle – der Vorschau auf die nächsten Monate – noch geringen Nutzen bringt. Die in TASK erarbeiteten hydro-meteorologischen Indizes bringen die Methodik entscheidende Schritte weiter, um in der Praxis gewinnbringend eingeführt zu werden.

Es zeigt sich, dass die betrachteten Vorhersagedaten geeignet sind, um Tendenzen des hydrologischen Systems abzubilden. Für die Indizes werden drei Einsatzmöglichkeiten beschrieben: A) die Verwendung zur Information der Öffentlich-

keit, B) zum Erkennen von Sondersituationen im Talsperrenbetrieb sowie C) für die dauerhafte Integration in bestehende Betriebspläne. Die dritte Einsatzmöglichkeit wird aus Sicht der Verfasser als effizienteste Art angesehen, auf Trockenheit zu reagieren, da sowohl der Talsperren-Betreiber als auch die Aufsichtsbehörde den Analyse- und Verifikationsprozess nur einmal durchlaufen müssen. Es entsteht somit eine dauerhafte Erweiterung bestehender Betriebspläne.

Im Laufe des Vorhabens hat sich angedeutet, dass der gewählte Ansatz ein über die Anwendung von Indizes hinausgehendes Potenzial besitzt. Anhand der berechneten Indizes ist eine Aussage über das zu erwartende Abflussvolumen für kommende Monate möglich. Hier stellt insbesondere der Betrieb eines operativen Wasserbilanz- und Bodenwasserhaushaltsmodells einen vielversprechenden Ansatz dar. Die Anwendung eines N-A-Modells erlaubt die Ermittlung des Abflusses an beliebigen Punkten im Gewässer (z. B. Abfluss an einem Pegel, Talsperrenzufluss). Neben den Vorhersagedaten können anstelle von Stationsdaten Radardaten einfließen, was eine Biaskorrektur mit räumlicher Auflösung auf Basis von Rasterzellen ermöglicht. Darüber hinaus wird durch ein N-A Modell eine Projektion in die Fläche möglich, die auch Aussagen über z. B. die Bodenfeuchte oder Wasserspeicherung im Gebiet liefert, woraus weitere Indizes gebildet werden können. Dadurch entsteht ein räumliches Zustandsbild anstelle einer Punktinformation. Auch mittels Aggregation von Gebieten, die sensitiv hinsichtlich der Wasserspeicherung sind, lassen sich weitere, für verschiedene vom Klimawandel Betroffene (z. B. Landwirtschaft) hilfreiche Erkenntnisse ableiten.

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse, dem hohen Bedarf aus der Praxis und der komplexen Bewertung der Wasserallokation in Mangelzeiten, wird in einer Fortsetzung von TASK und einer Implementierung der Projektergebnisse bei der Weiterentwicklung von Talsperrenbetriebsplänen ein erheblicher Beitrag zur Anpassung des Speichermanagements an den Klimawandel gesehen.

**Literatur**

[1] H. Lohr, F. Froehlich, S. Richter, I. Slavik und C. Homann, *Handlungsanleitung: Verwendung von hydro-meteorologischen Indizes mit operationeller Vorhersage zur Dürre-Früherkennung für den Betrieb von Talsperren*, BMU-Forschungsvorhaben, 2020.  
 [2] M. Svoboda und B. Fuchs, *Handbook of Drought Indicators and Indices*, World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), Geneva, Switzerland, 2016.  
 [3] WMO, *Guidelines on the Calculation of Climate Normals*, World Meteorological Organisation, Geneva, Switzerland, 2017.

[4] WMO, *Standardized Precipitation Index User Guide*, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-63-11091-6, 2012.  
 [5] S. Vicente-Serrano, S. Beguería und J. I. López-Moreno, *A Multi-scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI*, *Journal of Climate*, Bd. 23, pp. 1696–1718, 2010.  
 [6] Deutscher Wetterdienst, *Deutscher Klimaatlas*, [Online]. Available: [https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas\\_node.html](https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html).  
 [7] NOAA, *CFSv2 Operational Forecasts\**, 2020. [Online]. Available: <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/climate-forecast-system-version2-cfsv2#CFSv2%20Operational%20Forecasts>. [Zugriff am 03 03 2020].  
 [8] F. Molteni, T. Stockdale, M. Balmaseda, G. Balsamo, R. Buizza, L. Ferranti, L. Magnusson, K. Mogensen, T. Palmer und F. Vitart, *The new ECMWF seasonal forecast system (System 4)*, ECMWF Technical Memorandum, 2011.  
 [9] H. Bressers, N. Bressers und C. de Boer, *Governance for Drought Resilience*. Land and Water Drought Management in Europe, 2015.  
 [10] DWD, *Dokumentation: Standardized Precipitation Index SPI*, 2015. [Online]. Available: [https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/spi\\_erlaeuterungen.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/spi_erlaeuterungen.pdf?__blob=publicationFile&v=2).

**Autor\*innen**

*Felix Froehlich*  
 Dr.-Ing. Hubert Lohr  
 Sydro Consult GmbH  
 Mathildenplatz 8  
 64283 Darmstadt

E-Mail: [f.froehlich@sydro.de](mailto:f.froehlich@sydro.de)  
[h.lohr@sydro.de](mailto:h.lohr@sydro.de)

Dr.-Ing. Sandra Richter  
 Sydro Consult GmbH  
 Ständeplatz 15  
 34117 Kassel

E-Mail: [s.richter@sydro.de](mailto:s.richter@sydro.de)

Dr.-Ing. Christof Homann  
 Wasserverband Eifel-Rur  
 Eisenbahnstraße 5  
 52353 Düren

E-Mail: [Christof.Homann@wver.de](mailto:Christof.Homann@wver.de)



[dwa.de/webdwa](http://dwa.de/webdwa)



**Weiterbildung vom Schreibtisch aus**

Informieren Sie sich über Kurse, Seminare und Tagungen stets aktuell im Internet

