

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Kaltofen, Michael; Walther, Jörg

Anwendung des Modells WBalMo für Risikoanalysen bei der Talsperrenbewirtschaftung

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103900>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Kaltofen, Michael; Walther, Jörg (2004): Anwendung des Modells WBalMo für Risikoanalysen bei der Talsperrenbewirtschaftung. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Risiken bei der Bemessung und Bewirtschaftung von Fließgewässern und Stauanlagen. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 27. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 103-112.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Anwendung des Modells WBalMo[®] für Risikoanalysen bei der Talsperrenbewirtschaftung

Michael Kaltofen, Jörg Walther

Talsperren sind häufig Mehrzweckspeicher. Das Nutzungsziel Hochwasserschutz konkurriert dabei z. B. mit der Trinkwasserversorgung. Die Abwägung der Risiken für das Versagen der verschiedenen Nutzungen kann z. B. eine bestimmte Aufteilung des Stauraumes ergeben. Daher ist nicht nur die Berücksichtigung des stochastischen Charakters des Wasserdargebotes (z. B. des Talsperrenzuflusses), sondern auch der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Wasserbedarfs sowie der Bewirtschaftungsregeln z. B. von Speichern und Überleitungen erforderlich. Das Simulationssystem WBalMo kann diese Prozesse und ihre komplexe Verflechtung abbilden. Es beruht auf der Methodik der stochastischen Langfristbewirtschaftungsmodelle.

Keywords: Hochwasservorsorge, Talsperrenbewirtschaftung, langfristige wasserwirtschaftliche Planung, stochastisches Langfristbewirtschaftungsmodell

1 Problemstellung

Die Reduzierung des Hochwasserrisikos bis zum festgelegten Schutzziel ist ein Ziel der Bewirtschaftung von Stauanlagen. Darüber hinaus haben ständig eingestaute Talsperren häufig Wasser für die Trinkwasserversorgung, die Niedrigwasseraufhöhung usw. bereitzustellen, um diesbezügliche Versagensrisiken zu verringern.

Beispielsweise hat die Talsperre Klingenberg einerseits die Aufgabe, Hochwasser der Wilden Weißeritz zurückzuhalten, andererseits aber – gemeinsam mit der oberhalb gelegenen Talsperre Lehmühle - das Wasserwerk Coschütz mit Rohwasser zu versorgen und damit zur Trinkwasserversorgung Dresdens beizutragen. Während der Hochwasserkatastrophe im August 2002 wurden enorme Belastungsproben für beide Aufgaben bewältigt: Bei einer Bemessungskapazität von $86 \text{ m}^3/\text{s}$ flossen über die Hochwasserentlastungsanlage $150 \text{ m}^3/\text{s}$ im Moment

[®] vormals ArcGRM, WBalMo und ArcGRM sind eingetragene Warenzeichen der WASY GmbH

des höchsten Wasserstandes ab, bei dem noch 6 cm Freibord verblieben (*Sieber 2002*). Das darauffolgende Hochwasser an der Elbe führte zum Ausfall der Wasserwerke Hosterwitz und Tolkewitz. Damit musste die Trinkwasserversorgung Dresdens fast ausschließlich aus den Talsperren Klingenberg und Lehmühle gesichert werden (*ebenda*). In Auswertung der Hochwasser soll nun einerseits der Hochwasserschutzraum vergrößert werden. Für die Stabilisierung der Trinkwasserversorgung Dresdens erhält damit andererseits die z. T. neu errichtete Rohwasserüberleitung aus der Talsperre Rauschenbach eine hohe Bedeutung, um auch z. B. in Trockenperioden ausreichend Wasser bereitstellen zu können.

Die Festlegung der Bewirtschaftung solcher Talsperren erfordert demzufolge die Abwägung zwischen dem Hochwasserrisiko z. B. in den Überflutungsgebieten einerseits und dem Versagensrisiko z. B. für die Trinkwasserbereitstellung oder die Niedrigwasseraufhöhung andererseits. Dabei kann – ausgehend von bestimmten Schutzzielen und unter Beachtung lokaler und überregionaler Maßnahmen der Hochwasserschutzkonzepte - ein bestimmter Hochwasserschutzraum erforderlich sein. Für den verbleibenden Stauraum werden die Versagensrisiken der anderen Nutzungen der Talsperre ermittelt. Ergeben sich zu hohe Risiken, können durch zielgerichtete Variantenrechnungen bei Modifikation der Wasserbewirtschaftung (z. B. geänderte Prioritäten der Wasserbereitstellung, zusätzliche Wasserüberleitungen) oder der Wasserbedarfsgrößen ausreichende Versorgungssicherheiten erreicht werden. Wenn dafür kein Planungsspielraum besteht, könnte umgekehrt zunächst ein Nutzraum ermittelt werden, für den ausreichende Versorgungssicherheiten bestehen. Für den verbleibenden Hochwasserschutzraum sind dann solche lokalen und überregionalen Maßnahmen zu konzipieren, für die die vereinbarten Schutzziele erreicht werden.

Die Untersuchung des Hochwasserrisikos bei einem bestimmten Hochwasserschutzraum kann mit entsprechenden hydrologischen und hydraulischen Methoden und Modellen erfolgen. Die Analyse des Versagensrisikos für andere wasserwirtschaftliche Aufgaben in Flussgebieten erfordert:

- die Betrachtung kontinuierlicher Durchflussreihen, um das gesamte Spektrum von Wasserdargebotssituationen und ihre Aufeinanderfolge zu erfassen,
- die Einbeziehung der Unsicherheit bei der Prognose des zukünftigen Wasserdargebotes unter dem Aspekt des Planungscharakters dieser Analysen,
- die lage- und zeitgerechte Berücksichtigung der Wechselwirkungen des Wasserdargebotes mit den variablen Wasserbedarfsgrößen unterschiedlicher Priorität und der Bewirtschaftung der Speicher, Überleitungen usw..

Diese Forderungen bilden den Ausgangspunkt für die Methodik der Langfristbewirtschaftung auf stochastischer Grundlage, die im Simulationssystem WBalMo umgesetzt wurde.

2 Methodische Grundlagen von Langfristbewirtschaftungsmodellen

Die methodischen Grundlagen gehen auf Arbeiten zur detaillierten Oberflächenwasser-Bilanzierung in den siebziger Jahren, insbesondere im damaligen Institut für Wasserwirtschaft Berlin zurück (Überblick dazu in *Schramm 1995*). Wesentliche Aspekte sind die stochastische Simulation des Wasserdargebotes unter Berücksichtigung seiner räumlichen und zeitlichen Variabilität und seine lage- und zeitgerechte Gegenüberstellung mit den Wasserbedarfsanforderungen unter Nutzung der gegebenen oder geplanten Bewirtschaftungsmöglichkeiten. Entsprechende Berechnungen zur detaillierten Bilanzierung und Speicherbewirtschaftung unter Nutzung von Monte-Carlo-Simulationen sowie die Optimierung durch gezielte Variantenrechnungen bilden ein Kernstück der entwickelten Methodik, deren wichtigstes Ergebnis Aussagen über Wasserversorgungssicherheiten oder Versagenswahrscheinlichkeiten sind.

Die Methodik stochastischer Langfristbewirtschaftungsmodelle umfasst im Einzelnen (zur Illustration siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**):

- stochastische Simulation der Systeminputs (Niederschlag, Abflüsse u. a.) in Form langer Reihen oder einer Vielzahl ihrer Realisierungen über den Planungszeitraum,
- deterministische Nachbildung der Wassernutzungen im Flussgebiet unter Beachtung von Rangfolgeregeln entsprechend den Prioritäten der Wasserversorgung,
- Registrierung interessierender Systemzustände (Speicherfüllungen, Abflüsse an bestimmten Gewässerquerschnitten, Defizite bei der Wasserbereitstellung u. a.),
- statistische Analyse der registrierten Systemzustände zur Bewertung der jeweils untersuchten Variante (beispielsweise geänderter Bewirtschaftungsregeln).

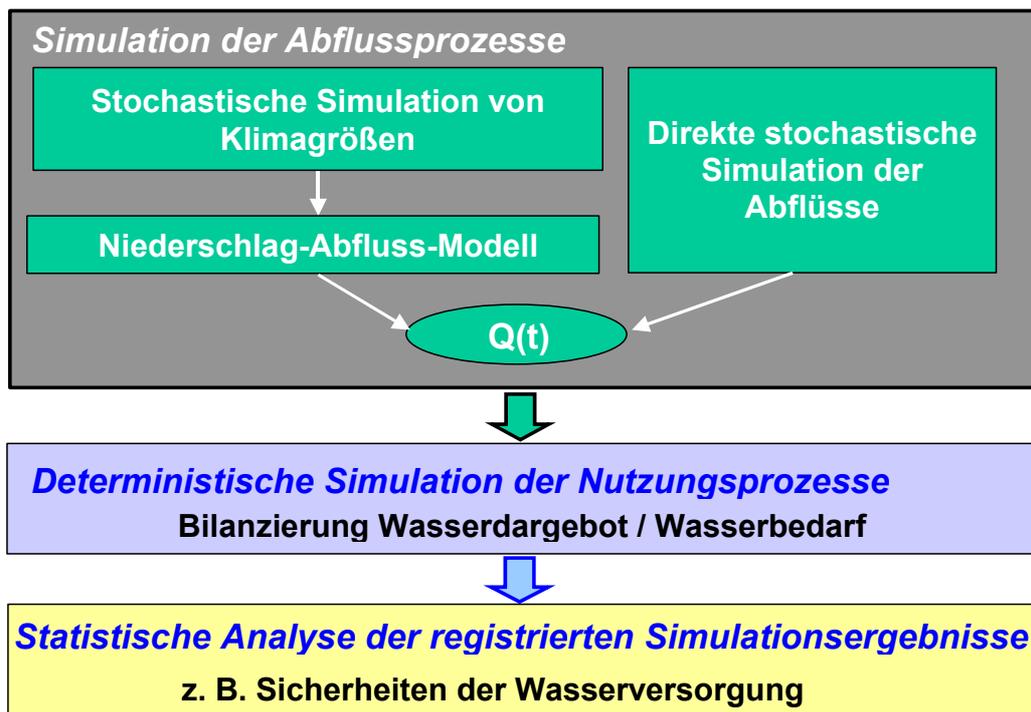


Abbildung 1: Methodik stochastischer Langfristbewirtschaftungsmodelle

Um die lagegerechte Einbeziehung aller Modellelemente bei der Anwendung der Methodik zu sichern, weist die Systemstruktur eines Bewirtschaftungsmodells u. a. folgende Merkmale auf:

- schematische Darstellung des Gewässernetzes in einem Flussgebiet durch Bilanzprofile mit Angabe der Fließrichtung,
- Zuordnung der Wassernutzungen (z. B. Entnahmen, Einleitungen) zu den Bilanzprofilen,
- Einbeziehung von Speichern durch Angaben zu ihrer Lage, zu ihrer Betriebsraumgröße und zu ihrer Regulierung.

Ein wichtiger Bestandteil der Methodik ist das Rangzahlenkonzept. Es ermöglicht die gewichtete Berücksichtigung von Nutzungen unabhängig vom Flusslängsschnitt. Dadurch kann die Wasserbedarfsforderung eines Unterliegers vor dem Oberlieger realisiert werden, wenn es die Priorität seiner Versorgung erfordert.

Die räumliche und zeitliche Dynamik aller Wasserdargebots- und Wasserbedarfsgrößen sowie der Wasserbewirtschaftung wird durch eine dreistufige Zeitstruktur reflektiert:

- die erste Zeiteinheit ist der Monat als typischer Bilanzierungszeitraum der langfristigen wasserwirtschaftlichen Planung,
- die zweite Zeiteinheit ist in der Regel die Periode, die mehrere Jahre umfasst (oft Fünfjahrperioden). Von Periode zu Periode dürfen der Wasserbedarf der Wassernutzer, Speicherbetriebsräume oder die Speicherabgabefunktionen variieren,
- die dritte Zeiteinheit ist der Prognosezeitraum (z. B. 50 Jahre).

Durch die Registrierung der Simulationsergebnisse im Prognosezeitraum für alle Realisierungen bzw. eine lange Reihe können statistische Aussagen zu interessierenden Größen (Wasserentnahme, Wasserdefizit, Durchfluss, Speicherinhalt usw.) berechnet werden:

- Interessiert die Sicherheit der Einhaltung der festgelegten Zielgröße (z. B. Versorgungssicherheit für einen Wasserbedarf), dann kann ihre jeweilige Überschreitungswahrscheinlichkeit ermittelt werden.
- Umgekehrt kann die Frage beantwortet werden, welchen Wert eine Größe für eine festgelegte Sicherheit aufweist (z. B. die realisierbare Wasserentnahme für eine bestimmte Versorgungssicherheit). Dann ist das jeweilige Quantil ermittelbar, das mit der Zielgröße verglichen werden kann.

Umgekehrt können ebenso Versagenswahrscheinlichkeiten ermittelt werden.

Von der Bewertung von Varianten beispielsweise der Stauraumaufteilung wird in der Regel erwartet, dass sie gerade für Wassermangelverhältnisse belastbare Planungsgrundlagen zur Verfügung stellt. Daher stehen bei stochastischen Langfristbewirtschaftungsmodellen in der Regel hohe Sicherheiten der Wasserbedarfsdeckung im Mittelpunkt der Bewertung.

3 Simulationssystem WBalMo

Das Simulationssystem WBalMo setzt die beschriebene Methodik konsequent um. Seine Hauptmerkmale bestehen in der Trennung von Dargebots- und Bewirtschaftungsmodell sowie der Spezifizierung der Nutzungs- und Bewirtschaftungsprozesse mit Hilfe von typisierten Standardelementen und frei definierbaren Algorithmen. Darin eingeschlossen ist die Möglichkeit der einfachen Veränderung von Prioritäten bei der Verteilung der verfügbaren Wasserressourcen entsprechend der Bedeutung der berücksichtigten Wassernutzer. In gleicher

Weise wird die statistische Auswertung der Ergebnisse durch vorgefertigte Registrierungstypen unterstützt, mit deren Hilfe frei definierbare Abfragen auf der Basis der Systemgrößen formuliert werden können. Damit sind wichtige Voraussetzungen gegeben, flexibel die Anforderungen verschiedener Einzugsgebiete zu integrieren und auf effektive Weise die Erarbeitung langfristig optimaler Wasserbewirtschaftungsstrategien zu unterstützen.

Darüber hinaus basiert WBalMo auf modernen Softwaregrundlagen: Der Modellkern wurde in eine ArcView-Applikation integriert. Damit kann interaktiv auf einfache, anschauliche Weise insbesondere die Bearbeitung aller an das Gewässernetz gebundenen Modellobjekte vorgenommen werden. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Programmoberfläche des Simulationssystems.

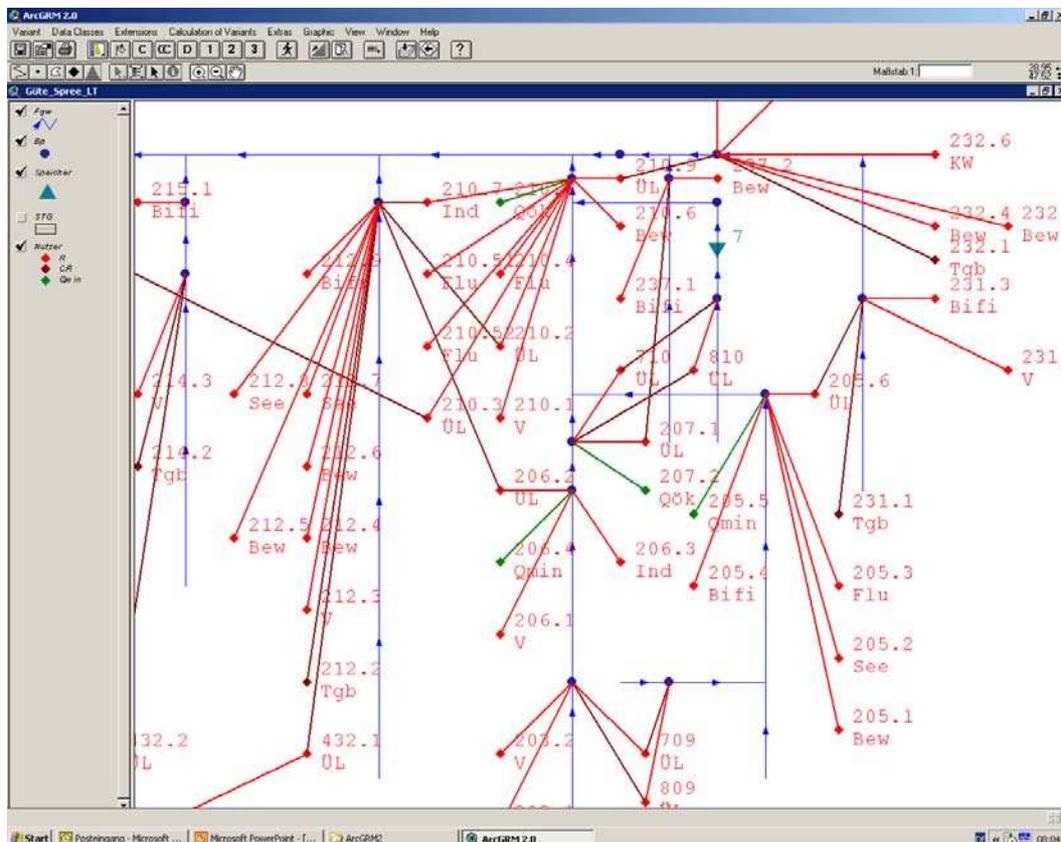


Abbildung 2: Darstellung von Gewässernetz und Wassernutzungen im Simulationssystem WBalMo

Weitere Einzelheiten zum Simulationssystem sind in *Kaden & Redetzky 1999* enthalten.

4 Beispielhafte Ergebnisse und Anwendungspotential

Die Anwendung stochastischer Langfristbewirtschaftungsmodelle vom Typ WBalMo hat insbesondere in den von Wasserverfügbarkeitsproblemen betroffenen Einzugsgebieten Ostdeutschlands eine lange Tradition (vgl. hierzu *Schramm 1995*). Die komplexeste Anwendung stellt das WBalMo Spree/Schwarze Elster dar, das durch die Wasserbehörden der betroffenen Bundesländer sowie im Rahmen der Sanierung der ehemaligen Bergbaugebiete für die wasserwirtschaftliche Planung genutzt und ständig aktualisiert wird. Auf dieser Basis entstand zwischen 2000 und 2003 ein Modell zur Analyse der Auswirkungen des globalen Wandels. Für ein sogenanntes „Referenzszenario“ sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beispielhaft die Versorgungssicherheiten Berlins im Monat Juli anhand der Einhaltung eines Mindestdurchflusses am Pegel Große Tränke/Spree gezeigt.

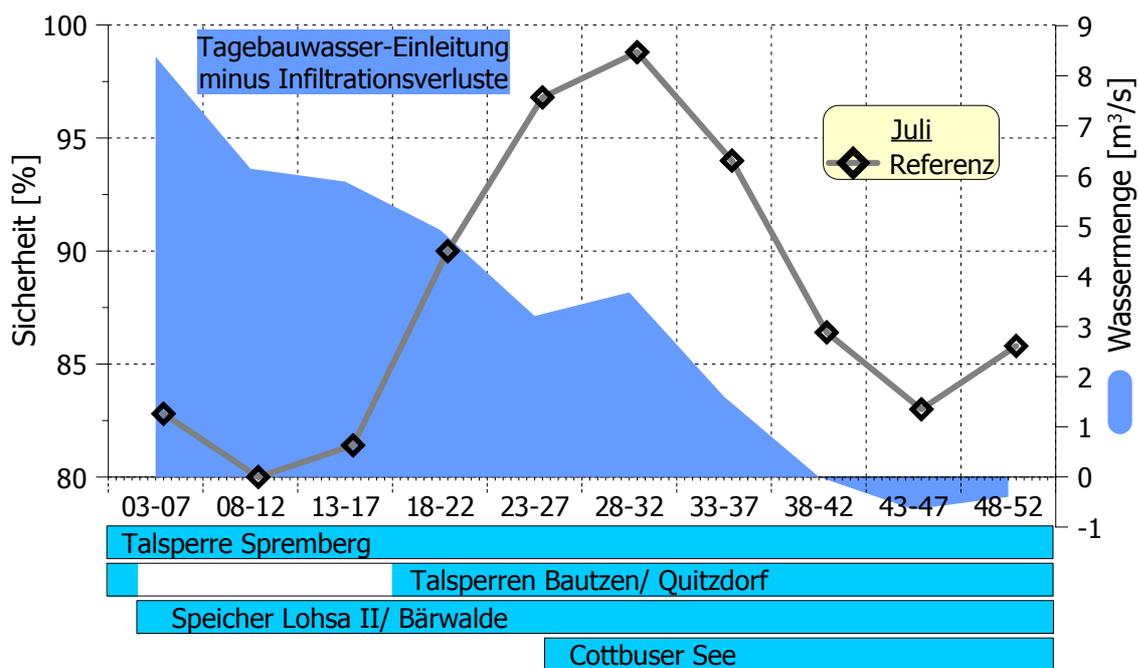


Abbildung 3: Ergebnisse des WBalMo: Auswertung des Zuflusses nach Berlin (Pegel Große Tränke/Spree)

Die Versorgungssicherheit (linke Ordinate) wird dabei für 5-Jahres-Perioden des Prognosezeitraumes von 2003 bis 2052 gezeigt. In der Periode 2008-2012 tritt dabei ein Minimum von 80 % auf, während das Maximum bei ca. 98 % in der Periode 2028-2032 liegt. Der Verlauf der Versorgungssicherheit resultiert überwiegend aus der Überlagerung der wassermengenbezogenen Einflüsse des Braunkohlebergbaus (rechte Ordinate), der zeitweise unterbrochenen Bevorteilung durch die Talsperren Bautzen und Quitzdorf sowie der Inbetriebnahme wei-

terer Speicher (unteres Balkendiagramm). Offensichtlich besteht ein Versagensrisiko für den Zufluss nach Berlin, der aus dem Versagen der zur Stützung dieses Durchflusses vorgesehenen Speicher resultieren kann.

Die Gründe für das Versagen beispielsweise des Speichers Lohsa II sind aus der Analyse von **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ableitbar.

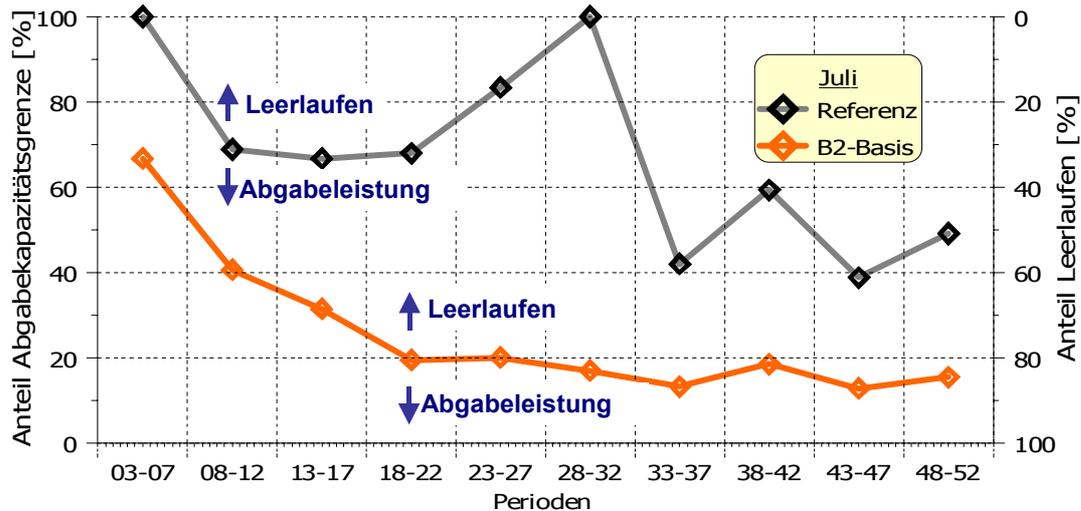


Abbildung 4: Ergebnisse des WBalMo: Auswertung des Versagens des Speichers Lohsa II

Durch eine entsprechend formulierte Registrierung konnte - wiederum für das Referenzszenario - ermittelt werden, dass der Anteil (Wahrscheinlichkeit) für das Versagen wegen Leerlaufens (rechte Ordinate, absteigende Skala) dann zunimmt, wenn auch die Versorgungssicherheiten für den Zufluss nach Berlin abnehmen. In Perioden mit hoher Versorgungssicherheit ist das Versagen mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund des Erreichens der maximalen Abgabeleistung (linke Ordinate, aufsteigende Skala) zurückzuführen.

In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ist die Auswertung des Versagens des Speichers Lohsa II für ein weiteres, sogenanntes „B2-Basis-Szenario“ gezeigt. Hier wird bei unveränderter Bewirtschaftungsstrategie ein bestimmter Klimawandel zu Grunde gelegt, der zu einer Verschärfung der Wasserverfügbarkeitskonflikte führt.

Damit ist bereits auf einen Aspekt des Anwendungspotentials des Simulationssystems WBalMo hingewiesen. Eine Übersicht dazu wird im Folgenden gegeben:

- langfristige wasserwirtschaftliche Planung in Flussgebieten (vgl. *Schramm 1995*),
- Umsetzung von Langfriststrategien in Modelle zur kurzfristigen Steuerung (vgl. *Dydymski et al. 2002*),
- Untersuchung der Steuerung bei Hochwasser im Rahmen der Langfristsimulation (vgl. *Thiele & Schramm 1997*),
- Untersuchung von Auswirkungen des globalen Wandels, z. B. einer Klimaerwärmung, auf die Wasserverfügbarkeit (vgl. *Kaltofen et al. 2004*),
- Erweiterung um den Wassernutzer „Feuchtgebiete“ (vgl. *Schramm et al. 2001*),
- Verknüpfung der Wassermengenbewirtschaftung mit der Wasserbeschaffenheit in Gewässern (vgl. *Köngeter et al. 2003*).

5 Zusammenfassung

Talsperren weisen häufig eine Mehrzwecknutzung auf. Für die Analyse von Risiken ihrer Bewirtschaftung in Bezug auf den Hochwasserschutz und die Wechselwirkung eines breiten Spektrum von Wasserversorgungsaufgaben kann das Simulationssystem WBalMo eingesetzt werden. Es basiert auf der Methodik der stochastischen Langfristbewirtschaftungsmodelle. Seine Ergebnisse dienen im allgemeinen zur Ableitung optimaler Wasserbewirtschaftungsstrategien und können eine Grundlage für die wasserwirtschaftliche Planung bilden.

6 Literatur

- Dydymski, A.-K., D. Mischke, E. Scholz, M. Schramm und U. Dietzsch (2002): Flutungssteuerungs-Modell für die Lausitz. In: Wasserwirtschaft - Wassertechnik (3). Berlin 2002.
- Kaden, S. und M. Redetzky (2000): Simulation von Bewirtschaftungsprozessen. In: Oppermann, R. (Hrsg.): BfG-Mitteilungen, Wasserbewirtschaftung an

- Bundeswasserstraßen - Probleme, Methoden, Lösungen - Kolloquium am 14./15. September 1999. Koblenz, Berlin (Bundesanstalt für Gewässerkunde) 2000.
- Kaltofen, M., H. Koch, M. Schramm, U. Grünewald und S. Kaden (2004): Anwendung eines Langfristbewirtschaftungsmodells in multikriteriellen Bewertungsverfahren - Beispiel globaler Wandel und Wasserverfügbarkeit im bergbaubeeinflussten Spreengebiet. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung (2). Berlin 2004.
- Köngeter, J., G. Demny, S. Kaden und J. Walther (2003): Steuerung der bergbaubelasteten Gewässerbeschaffenheit der Spree in den Bergbaufolgelandschaften der Lausitz. In: Nachhaltige Entwicklung von Folgelandschaften des Braunkohlebergbaus. Tagungsband, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 2003.
- Schramm, M. (1995): Die Bewirtschaftungsmodelle LBM und GRM und ihre Anwendung auf das Spreengebiet. In: BfG-Mitteilungen (8). S. 7-19. Koblenz 1995.
- Schramm, M., S. Kaden, O. Dietrich und P. Stille (2001): Modellgestützte Planung eines Flussgebietes. In: Wasserwirtschaft - Wassertechnik (5). Verlag für Bauwesen. Berlin 2001.
- Sieber, H.-U. (2002): Auswirkungen des Extremhochwassers vom August 2002 auf die Sicherheit der Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und Wasserspeicher der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen - eine erste Einschätzung. In: http://www.germannatcom-icold.de/info/index.cgi/page/auswirkungen_extremhochwasser. Deutsches Talsperrenkomitee, Homepage 2002.
- Thiele, W. und M. Schramm (1997): HQGRM Bode - Integration der Simulation täglicher Abflüsse in die Langfristbewirtschaftung zur Hochwassersteuerung. Dresden (Langfristbewirtschaftungsmodelle für die wasserwirtschaftliche Rahmen- und Bewirtschaftungsplanung - Neue Ergebnisse und Entwicklungen. WASY-Fachtagung). Dresden 1997.

Autoren:

Dr.-Ing. Michael Kaltofen und Dr. rer. nat. Jörg Walther

WASY

Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH

Niederlassung Dresden

Goetheallee 21

D-01309 Dresden

Tel.: ++49 – 351 – 3 16 16 11

Fax: ++49 – 351 – 3 16 16 12

E-Mail: M.Kaltofen@wasy.de und J.Walther@wasy.de