

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Walther, Jörg; Büttner, Uwe; Fischer, Björn

Hochwasservorhersagemodell für die Lausitzer Neiße

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/20.500.11970/103488>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Walther, Jörg; Büttner, Uwe; Fischer, Björn (2013): Hochwasservorhersagemodell für die Lausitzer Neiße. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Technischer und organisatorischer Hochwasserschutz - Bauwerke, Anforderungen, Modelle. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 48. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 75-83.

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.



Hochwasservorhersagemodell für die Lausitzer Neiße

Jörg Walther
Uwe Büttner
Björn Fischer

Für den operationellen Einsatz im Landeshochwasserzentrum (LHWZ) des Freistaates Sachsen wurde von der DHI-WASY GmbH ein Hochwasservorhersagemodell für die Lausitzer Neiße entwickelt und in Zusammenarbeit mit der BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH im LHWZ implementiert. Das Modell gestattet die Vorhersage von Wasserständen und Abflüssen für insgesamt 11 Pegel an der Lausitzer Neiße und ihren wichtigsten Nebenflüssen.

A flood forecasting model for the Lausitzer Neiße was developed by the DHI-WASY GmbH for operational application in the Saxon Flood Centre (SFC). The model was implemented in the SFC in cooperation with the BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH. It enables the forecast of water level and discharge for 11 gauges at the Lausitzer Neiße and its main tributaries.

1 Veranlassung und Zielstellung

Zu den Aufgaben des Landeshochwasserzentrums (LHWZ) am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie gehört gemäß Hochwassermeldeordnung (*SMUL*, 2012) auch die Hochwasservorhersage für ausgewählte Gewässer 1. Ordnung. Veranlassung für die Erstellung eines Hochwasservorhersagemodells für die Lausitzer Neiße war das extreme Hochwasser vom August 2010, bei dem an vielen Pegeln an der Lausitzer Neiße und ihren Nebenflüssen die bis dahin beobachteten höchsten Wasserstände übertroffen wurden. Frühere Versuche einer modellgestützten operationellen Hochwasservorhersage für die Lausitzer Neiße lieferten wegen des damaligen Fehlens notwendiger Informationen aus den tschechischen und polnischen Gebietsteilen nur unzureichende Ergebnisse. Infolge einer inzwischen verbesserten Datenverfügbarkeit erhöhten sich auch die Aussichten für eine erfolgreiche Modellentwicklung. Deshalb beauftragte das LHWZ im Herbst 2011 die BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH (IT-Leistungsteil) und die DHI-WASY GmbH (IT- und fachlicher Leistungsteil) mit der Erstellung eines Modells, das die operationelle Vorhersage von Wasserständen und Abflüssen für Pegel an der Lausitzer Neiße und ihren

wichtigsten Nebenflüssen gestattet. Um die Vorhersagesicherheit sowie einen effektiven Ablauf bei der Erstellung von Hochwasserwarnungen im LHWZ zu gewährleisten, war das zu erstellende Modell auf die in den Vorhersagemodellen für die benachbarten Flussgebiete Spree und Schwarze Elster bewährten Konzepte zu gründen (Walther u. a., 1998). Das entwickelte Modell wurde Ende 2012 im LHWZ implementiert.

2 Betrachtungsgebiet und Modellstruktur

Das entwickelte Hochwasservorhersagemodell gestattet die operationelle Vorhersage von Wasserständen und Abflüssen an insgesamt 10 Pegeln in Sachsen und einem Pegel in Brandenburg für einen Vorhersagezeitraum von bis zu 48 Stunden. Die Systemskizze des Modells in Abbildung 1 veranschaulicht die Lage der Pegel und gibt Auskunft darüber, welche Teilmodelle für die Vorhersage zur Anwendung kommen. Das Modell besteht aus folgenden Teilmodellen:

- 6 Niederschlag-Abfluss-Modelle (N-A-Modelle) für die Pegel Hartau und Zittau 1 an der Lausitzer Neiße, für die Pegel Großschönau 2 und Zittau 6 (Nachfolgepegel von Zittau 5) an der Mandau und die Pegel Rennersdorf 3 und Tauchritz an der Pließnitz,
- 5 Flusslaufmodelle für die Neißepegel Rosenthal 1 (Nachfolgepegel von Rosenthal), Hagenwerder (geplanter neuer Pegel), Görlitz, Podrosche 3 (Nachfolgepegel von Podrosche 2) und Klein Bademeusel.

Die **N-A-Modelle** zur Abflussvorhersage aus Niederschlägen bestehen jeweils aus einem empirischen Baustein zur Beschreibung der Abflussbildung und aus Impulsantworten zur Beschreibung der Abflusskonzentration auf der Landoberfläche. Zur Ableitung der Impulsantworten wurde auf das Konzept der linearen Speicherkaskade zurückgegriffen.

Legende:

- Eingabepegel
- ◐ Vorhersagepegel (Flusslaufmodell)
- ◑ Vorhersagepegel (N-A-Modell)
- - - Flusslaufmodell
- ① Überleitung Berzdorfer See
- ② Ablauf Berzdorfer See

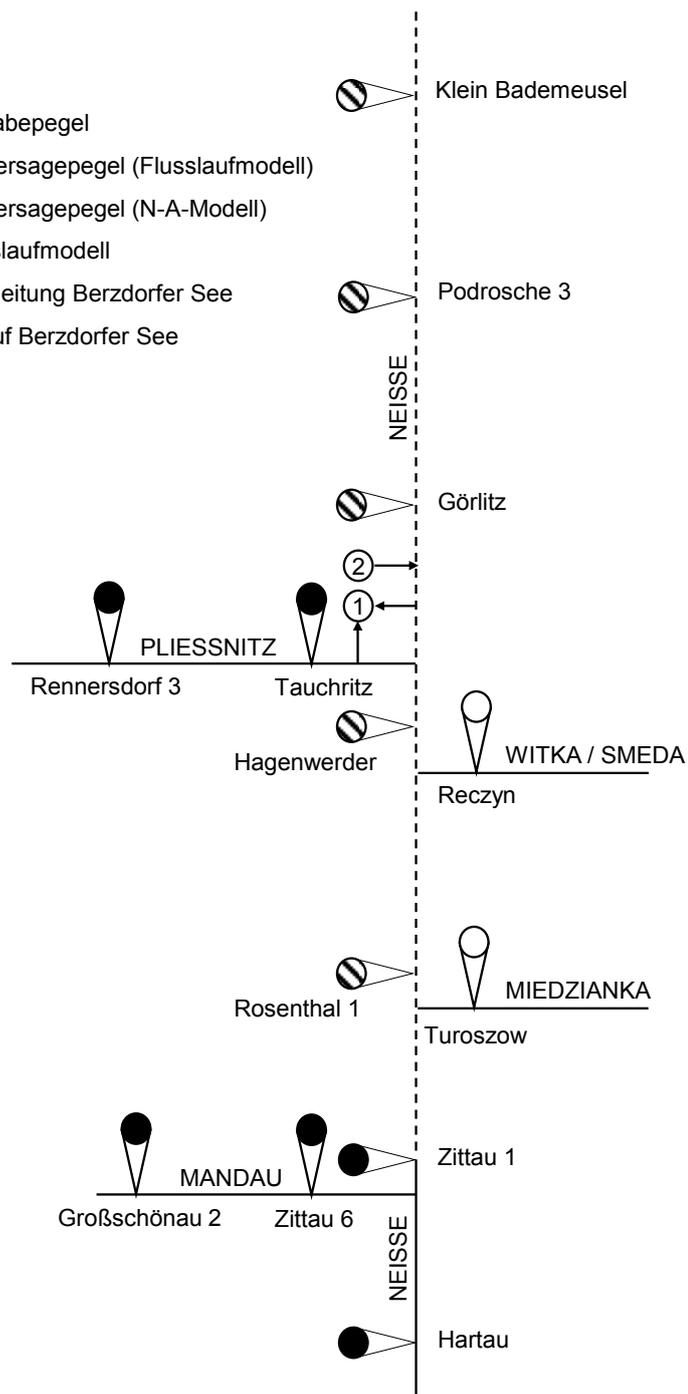


Abbildung 1: Systemskizze des Hochwasservorhersagemodells für die Lausitzer Neiße

Als **Flusslaufmodelle** kommen hydrologische Wellenablaufmodelle zur Anwendung, die auf dem Konzept des linearen Stufenmodells basieren (Becker und Kundzewicz, 1986). Dabei werden bis zu drei Durchflussbereiche unterschieden, der Flussbettbereich und zwei Vorlandbereiche. Als lineares Teilmodell des nichtlinearen Stufenmodells wird das Translations-Diffusions-Modell genutzt.

Die Flusslaufmodelle für Neißepegel berücksichtigen neben den linksseitigen Zuflüssen Mandau und Pließnitz auch die wichtigsten rechtsseitigen Zuflüsse, z. B. die aus Polen kommende Witka. Ebenfalls lagegerecht berücksichtigt werden die Überleitung von Wasser aus der Pließnitz und der Neiße in den Berzdorfer See zur Flutung oder Nachsorge sowie die Ausleitung aus dem Berzdorfer See in die Neiße.

Sowohl den N-A-Modellen als auch den Flusslaufmodellen nachgeschaltet ist ein Modellbaustein zur Echtzeit-Vorhersagekorrektur (Nachführung). Die **Nachführung** basiert auf einem Vergleich zwischen den bis zum aktuellen Zeitpunkt (Vorhersagezeitpunkt) berechneten und den beobachteten Abflussganglinien. Ziel der Nachführung ist es, Vorhersagefehler, die infolge fehlerhafter Modelleingabegrößen (z. B. Niederschläge), vom mittleren Systemverhalten abweichender Prozessabläufe (Modellparameter) oder fehlerhafter Übertragungsbeziehungen (z. B. W-Q-Beziehung) entstehen, zu minimieren. Zur Nachführung der berechneten Vorhersagen wird die visuelle Anpassung über Vergleichsrechnungen, die vom Anwender durchgeführt wird, mit einer modellinternen Fehlerkorrektur gekoppelt.

Intern arbeitet das Hochwasservorhersagemodell mit einem Berechnungszeitintervall von 3 Stunden. Für die Wasserstands- und Abflussvorhersage sind folgende Eingabedaten in entsprechender zeitlicher Auflösung bereitzustellen: beobachtete und vorhergesagte Niederschläge, beobachtete Wasserstände und beobachtete und vorhergesagte Abflüsse (nur seitliche Zuflüsse und Überleitungen). Die an den Pegeln beobachteten Wasserstände werden mit Hilfe der Wasserstands-Durchfluss-Beziehungen in beobachtete Abflüsse umgerechnet. Umgekehrt werden für die Pegel aus den berechneten (vorhergesagten) Abflüssen berechnete (vorhergesagte) Wasserstände abgeleitet.

3 Kalibrierung der Teilmodelle

Die Datengrundlage für die Kalibrierung der Teilmodelle bildeten Aufzeichnungen über 14 abgelaufene Hochwasserereignisse von 1981 bis 2011. In Abhängigkeit von der Datenlage konnten allerdings nicht für jedes Teilmodell alle Hochwasserereignisse berücksichtigt werden. Beispielsweise war es nicht möglich, das historische Hochwasserereignis vom Juli 1981 auch bei der Kalibrierung der N-A-Modelle zu berücksichtigen. Hier begann die Datenerfassung erst mit dem Hochwasserereignis vom Juli 1997. Zur Kalibrierung der N-A-Modelle konnten maximal 8 Hochwasserereignisse herangezogen werden.

Die Modellkalibrierung soll am Beispiel des Flusslaufmodells für den Pegel Görlitz erläutert werden. Auch hier gab es einige aus der Datenlage resultierende Einschränkungen und Besonderheiten zu beachten. Da der Pegel Hagenwerder noch nicht existiert, musste die Kalibrierung für den Flussabschnitt Rosenthal – Görlitz erfolgen, wobei für jedes Ereignis neben dem seitlichen Zufluss aus der Pließnitz und einer ggf. erfolgten Überleitung von Neißewasser in den Berzdorfer See auch der seitliche Zufluss aus der Witka am Pegel Reczyn zu berücksichtigen war (Abbildung 1). Als Zuflussganglinie am oberen Modellrand wurde je nach Datenverfügbarkeit am Pegel Rosenthal (zukünftig Rosenthal 1) entweder die am Pegel beobachtete Ganglinie verwendet oder die mit dem zuvor kalibrierten Flusslaufmodell Zittau 1 – Rosenthal berechnete. Problematisch war auch die z. T. recht grobe zeitliche Auflösung der Ganglinien am Pegel Reczyn, die eine Interpolation von zusätzlichen Stützstellen notwendig machte, sowie der Ausfall dieses Pegels während des Extremereignisses vom August 2010. Zur Schließung der dadurch entstandenen Datenlücke wurden zusätzliche Informationen recherchiert, z. B. in *IMGW (2011)*. Letztlich gelang es, alle 14 Hochwasserereignisse für die Kalibrierung verfügbar zu machen.

Eine vor der eigentlichen Modellkalibrierung durchgeführte Scheitellaufzeitanalyse deutete bereits darauf hin, dass es auf dem Flussabschnitt Rosenthal – Görlitz nicht möglich ist, den Wellenablauf mit einem Parametersatz für den gesamten Durchflussbereich zu beschreiben. Dazu ist die Bandbreite der Scheitellaufzeiten zwischen 10 und 26 Stunden zu groß. Diese Vermutung hat sich bei der Modellkalibrierung bestätigt, bei der sich zeigte, dass eine Unterteilung in drei Durchflussbereiche notwendig ist, um den Wellenablauf auch bei den extremen Hochwasserereignissen 1981-07, 2010-08 und 2010-09 mit Scheitelabflüssen in Görlitz $> 400 \text{ m}^3/\text{s}$ gut nachzubilden.

Um das unterschiedliche Systemverhalten der drei Durchflussbereiche zu veranschaulichen, werden in Abbildung 2 die sich aus den im Zuge der Kalibrierung ermittelten Modellparametern ergebenden Momentanimpulsantworten des Translations-Diffusions-Modells dargestellt. Die Impulsantworten zwischen Flussbettbereich, Vorlandbereich I und Vorlandbereich II unterscheiden sich deutlich. Erwartungsgemäß verzögert sich der Wellenablauf, wenn die Ausuferung beginnt. Interessant ist die von beiden Durchflussbereichen deutlich abweichende Charakteristik des Vorlandbereiches II. Hier dominiert die Translation den Prozessablauf, während die Abflachung nur gering ist. Offenbar kommt es nach Füllung des Ausuferungsbereiches, der im vorliegenden Fall durch den Vorlandbereich I repräsentiert wird, und anschließender Inanspruchnahme des Vorlandbereiches II zu einer beschleunigten Hochwasserwellenbewegung.

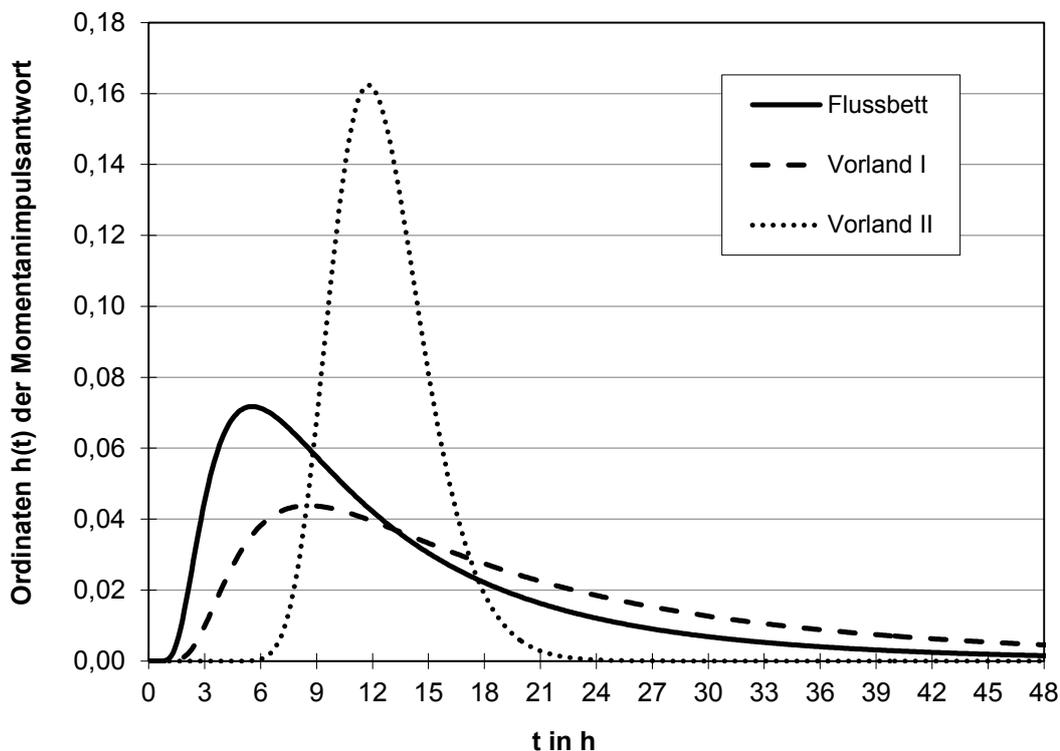


Abbildung 2: Momentanimpulsantwort für unterschiedliche Durchflussbereiche auf dem Flussabschnitt Rosenthal - Görlitz

Anhand der für den Flussabschnitt Rosenthal – Görlitz ermittelten Modellparameter wurden Berechnungsgleichungen für die Teilabschnitte Rosenthal - Hagenwerder und Hagenwerder – Görlitz abgeleitet, sodass mit dem Hochwasservorhersagemodell für die Lausitzer Neiße auch eine Vorhersage für den geplanten Pegel Hagenwerder möglich sein wird.

4 Modellvalidierung und Bewertung der Modellgüte

Abbildung 3 zeigt exemplarisch das Ergebnis der Validierung des Flusslaufmodells für den Pegel Görlitz anhand des Hochwassers vom Januar 2011. Die Abflüsse am Pegel Görlitz wurden dabei ausgehend vom Pegel Rosenthal und unter Beachtung der seitlichen Zuflüsse aus der Witka (Pegel Reczyn) und aus der Pließnitz (Pegel Tauchritz abzgl. Flutung Berzdorf) berechnet. Neißewasser wurde bei diesem Ereignis nicht zum Restsee Berzdorf übergeleitet.

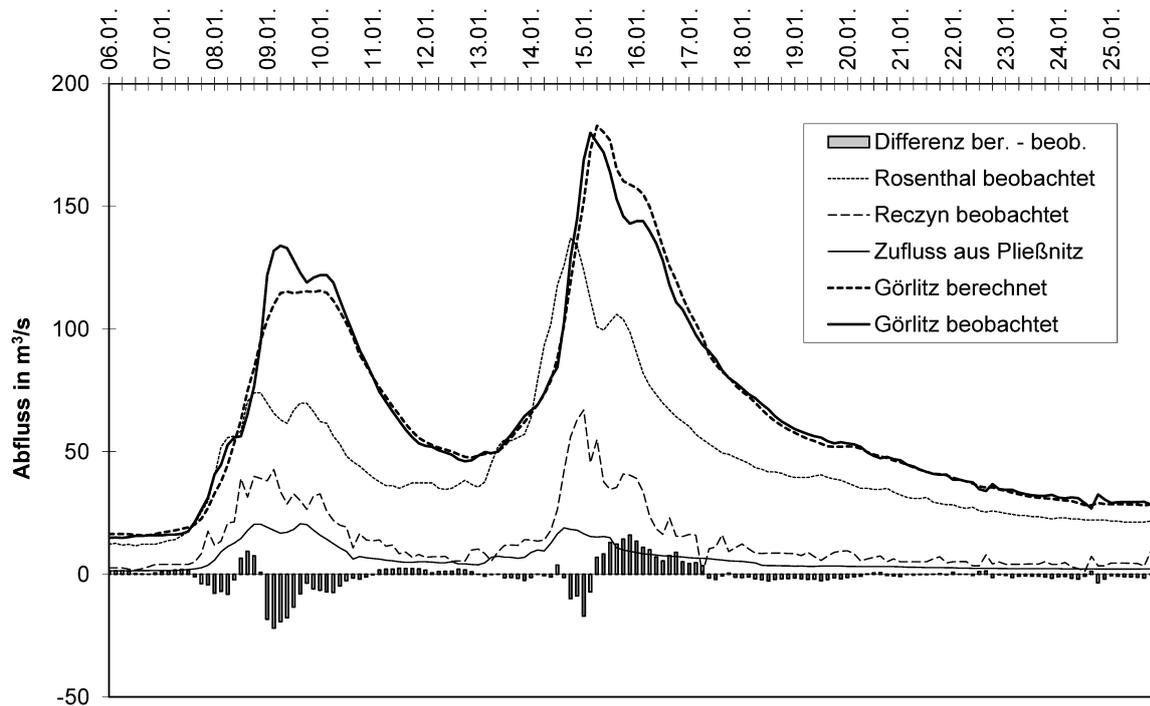


Abbildung 3: Vergleich von beobachteter und berechneter Abflussganglinie am Pegel Görlitz für das Hochwasser vom Januar 2011

Die abschließende Bewertung der Genauigkeit der einzelnen Teilmodelle erfolgte mit Hilfe des Effizienzkoeffizienten NSE nach *Nash und Sutcliffe (1970)*, einem dimensionslosen Fehlermaß, das anhand der beobachteten und berechneten Abflüsse Q_{beob} bzw. Q_{ber} wie folgt berechnet wird:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{beob},i} - Q_{\text{ber},i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{beob},i} - \bar{Q}_{\text{beob}})^2} \quad (1)$$

Bei der Berechnung von NSE nach Gleichung (1) wird der mittlere quadratische Fehler auf das Intervall $(-\infty, 1)$ normiert, wobei der Maximalwert von $NSE = 1$ ein perfektes Modell charakterisiert und der Wert 0 ein Modell, dessen Prognose genauso gut (oder schlecht) ist wie der beobachtete Mittelwert. Nach *Uhl und Henrichs (2008)* ist eine Prognose dann brauchbar (ausreichend), wenn NSE mindestens 0,25 beträgt. Prognosen mit $NSE \geq 0,5$ können als befriedigend, Prognosen mit $NSE \geq 0,8$ als gut und Prognosen mit $NSE \geq 0,95$ als sehr gut bezeichnet werden.

In Tabelle 1 wird für jedes Teilmodell der Mittelwert von NSE über alle berücksichtigten Hochwasserereignisse angegeben. Dabei wird unterschieden, ob die Berechnung ohne oder mit Nachführung erfolgte. Die Auswertung stützt sich auf die zum Zeitpunkt der Modellerstellung beobachteten Pegel.

Tabelle 1 Mittelwerte des Fehlermaßes NSE bei der Nachrechnung der Hochwasserereignisse mit N-A-Modellen und Flusslaufmodellen

Modelltyp	Pegel	Anzahl Ereignisse	NSE ohne Nachführung	NSE mit Nachführung
N-A-Modell	Hartau	7	0,45	0,53
	Zittau 1	8	0,56	0,78
	Großschönau 2	7	0,64	0,73
	Zittau 5	7	0,68	0,72
	Rennersdorf 3	4	0,58	0,60
	Tauchritz	6	0,49	0,55
Flusslaufmodell	Rosenthal	6	0,77	0,97
	Görlitz	14	0,82	0,83
	Podrosche 2	8	0,74	0,94
	Klein Bademeusel	14	0,86	0,94

Tabelle 1 veranschaulicht vor allem zwei Sachverhalte: Zum einen wird durch die Nachführung die Qualität der Nachrechnung für alle Pegel verbessert. Dabei ist der Grad der erreichten Verbesserung unterschiedlich. Für die Flusslaufmodelle z. B. ist die Verbesserung umso deutlicher, je größer das unbeobachtete Zwischeneinzugsgebiet ist. Auf jeden Fall ist die Nachführung ein sinnvoller und notwendiger Arbeitsschritt bei der Vorhersage. Auf der anderen Seite wird deutlich, dass mit den Flusslaufmodellen eine zuverlässigere Vorhersage als mit den N-A-Modellen möglich ist. Wird der oben eingeführte Bewertungsrahmen zugrunde gelegt, so ist die Qualität der Berechnung mit N-A-Modellen für alle Pegel „befriedigend“, falls eine Nachführung erfolgt. Dagegen ist die Qualität der Berechnung mit Flusslaufmodellen bei einer Nachführung mindestens „gut“.

5 Literatur

- Becker, A. u. Kundzewicz, Z. (1986): Berücksichtigung von Nichtlinearitäten bei Durchflussberechnungen und -vorhersagen in Flüssen mit Hilfe multilinearer Modelle. WWT 36 (1986) 7, S. 165 - 167.
- IMGW (2011): Einschätzung des Einflusses des Dammbrechens am Speicher Niedow auf den Verlauf der Hochwasserwelle im Abschnitt der Lausitzer Neiße ab Witkamündung bis zum Pegelprofil Zgorzelec. Arbeitsgruppe des Zentrums für Hochwassermodellierung des Institutes für Meteorologie und Wasserwirtschaft (IMGW PIG), Außenstelle Wroclaw, Oktober 2011.
- Nash, J. E. und Sutcliffe, J. V. (1970): River flow forecasting through conceptual models - Part I: A discussion of principles. Journal of Hydrology, Bd. 10, S. 282 – 290.
- SMUL (2012): Verwaltungsvorschrift zum Hochwassernachrichten- und Alarmdienst im Freistaat Sachsen (HWMO). Inkraftsetzung am 17. August 2004, Änderung am 8. Juli 2008 und am 2. Juli 2012.
- Uhl, M. und Henrichs, M. (2008): Das Tool „KALIMOD“ zur automatischen Kalibrierung von NASIM. NASIM-Anwendertreffen, Aachen, 30. Oktober 2008.
- Walther, J.; Höhne, U. und Walther, P. (1998): Grundlagen, Entwicklungsstand und Einsatz eines Hochwasservorhersagemodells für den sächsischen Teil der Spree. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Bd. 42, H. 2, S. 54 – 64.

Autoren:

Dr. rer. nat. Jörg Walther
Dipl.-Hydrol. Björn Fischer

Dipl.-Hydrol. Uwe Büttner

DHI-WASY GmbH
Niederlassung Dresden
Comeniusstraße 109
01309 Dresden

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Landeshochwasserzentrum
Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden

Tel.: +49 351 3161611
Fax: +49 351 3161612
j.walther@dhi-wasy.de
b.fischer@dhi-wasy.de

Tel.: +49 351 89284512
Fax: +49 351 8928264
Uwe.Buettner@smul.sachsen.de