

# Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	1
2 Parameternachführung im Vorhersagemodell Weiße Elster.....	2
2.1 Vorhersagemodell Weiße Elster.....	2
2.2 Parameternachführung durch Einbeziehung von Pegelmesswerten.....	3
2.3 SCE-Optimierungsalgorithmus .....	4
3 Vorhersagemodell Weiße Elster im LHWZ Sachsen.....	5
3.1 Konzeption der Landeshochwasserzentrale (LHWZ) Sachsen .....	5
3.2 Vorhersageberechnung für die Weiße Elster.....	7
3.3 Erste Simulationsergebnisse.....	9
4. Schlussfolgerungen .....	10
5. Literatur.....	11



# Parameternachführung im Hochwasservorhersage- modell Weiße Elster

Rolf Schröder und Kaj Lippert

Unter Mitwirkung des Landeshochwasserzentrums Sachsen und der TU Hamburg-Harburg,  
Arbeitsbereich Wasserbau

## 1 Einführung

In der Praxis der Hochwasservorhersage werden heute nahezu ausschließlich numerische Modelle eingesetzt. Dabei werden unterschiedliche mathematische Ansätze verwendet. Beim häufig eingesetzten pegelorientierten Ansatz werden flussaufwärts gemessene Abflüsse herangezogen, um Vorhersagen für unterhalb liegende Flussabschnitte durchzuführen. Damit ist der Vorhersagezeitraum auf die Wellenlaufzeit zwischen dem Pegel im Oberlauf und dem Vorhersagequerschnitt begrenzt. Zuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet werden vernachlässigt. Die Anwendbarkeit dieses Ansatzes ist vorwiegend auf Mittel- und Unterläufe größerer Flusssysteme begrenzt, in denen Hochwasserwellen durch die Zuflüsse aus den Oberläufen sowie dem Retentions- und Translationsverhalten des Flusssystemes bestimmt werden.

Um den Vorhersagezeitraum auszuweiten und auch Vorhersagen in kleinen bis mittleren Einzugsgebieten durchführen zu können werden zunehmend Niederschlag-Abfluss-Modelle (NA-Modelle) für Vorhersagen eingesetzt. Aus gemessenen und prognostizierten Niederschlägen werden mit dem NA-Modell Abflusswellen berechnet. Der Vorhersagezeitraum kann auf den Zeitraum zuverlässiger Niederschlagsprognosen ausgeweitet werden.

Eine Schwierigkeit besteht darin, dass NA-Modelle in der Regel Parameter beinhalten, die von der Vorgeschichte des Ereignisses abhängig sind. Nur falls diese richtig gesetzt sind, ist eine zuverlässige Abflussberechnung möglich. An Pegeln gemessene Abflüsse bleiben bei herkömmlichen NA-Modellen unberücksichtigt. Die sich daraus ergebenden Abweichungen zwischen Vorhersage und Messwert zum Ist-Zeitpunkt – z.B. aufgrund ungenauer Anfangsparameter oder Gebietsniederschläge – sind unbefriedigend.

Im Folgenden wird mit dem Hochwasservorhersagemodell Weiße Elster eine Lösung vorgestellt, um dieses Manko niederschlagsbasierter Hochwasservorhersagen zu reduzieren. Dabei werden verfügbare Pegelmesswerte ergänzend einbezogen, um anfangszustandsabhängige Modellparameter anzupassen, bis eine gute Übereinstimmung des Modells mit den Messwerten erreicht ist (Abb.1). Diese Anpassung kann sowohl direkt durch den Anwender (Experten) oder über eine automatische Parameteroptimierung mit dem Shuffle Complex Evolution (SCE) Algorithmus erfolgen. Das Vorhersagemodell Weiße Elster ist eingebettet in das Prognosesystem (Software Kalypso) des Landeshochwasserzentrums (LHWZ) Sachsen. Das Prognosesystem Kalypso stellt über eine Schnittstelle zum zentralen Informations-Management-System die benötigten Ausgangsdaten bspw. für Niederschlag und Abfluss

bereit und unterstützt den Benutzer bei der Durchführung von Vorhersagen durch eine einheitliche, modellunabhängige grafische Oberfläche Masken für eine modellunabhängige Benutzerführung. Auch das Prinzip der Parameternachführung über eine automatische Parameteroptimierung ist in der Kalypso-Umgebung integriert und kann unabhängig vom Modelltyp auf alle im LHWZ integrierten Vorhersagemodelle angewendet werden.

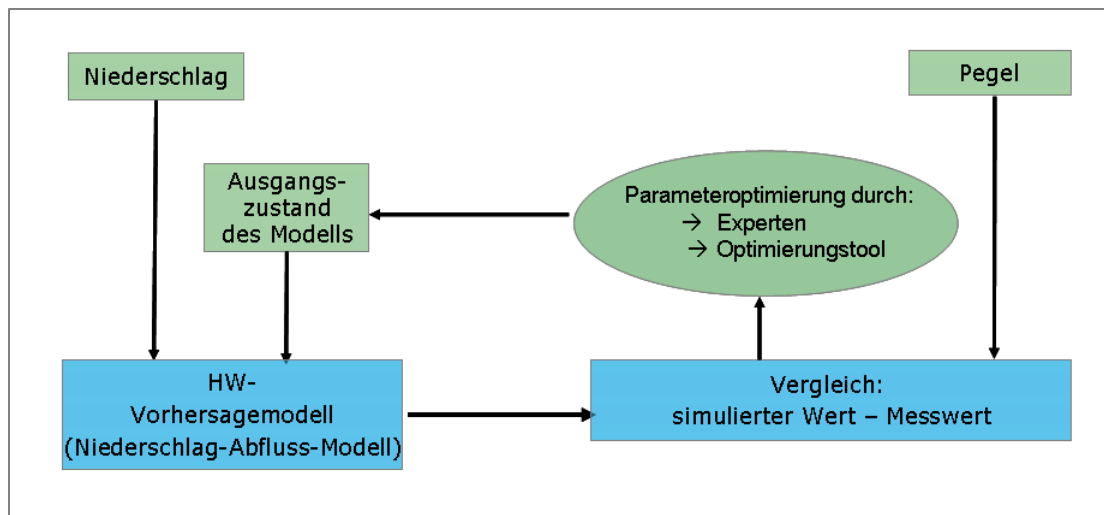


Abb. 1 Einbeziehung von Pegelmesswerten für die Parameternachführung im Hochwasservorhersagemodell Weiße Elster

## 2 Parameternachführung im Vorhersagemodell Weiße Elster

### 2.1 Vorhersagemodell Weiße Elster

Grundlage des Vorhersagemodells Weiße Elster bildet ein physikalisch basiertes, flächendecktailliertes Niederschlag-Abfluss-Modell (KALYPSO Benutzerhandbuch, 2003). Das über 5000 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet der Weißen Elster wird im NA-Modell in 69 Teilgebiete abgebildet. Für jedes Teilgebiete wird aus einem vorgegebenen Effektivniederschlag eine Abflusswelle generiert. Eingesetzt werden Speicheransätze sowie bodenfeuchteabhängige Prozessgleichungen (Ostrowski, 1982). Die Teileinzugsgebiete sind zum Gesamtsystem über Gerinneelemente vernetzt. Translation und Retention der Abflusswelle werden über Parallelspeicher berücksichtigt.

Zur Durchführung einer Vorhersageberechnung sind Eingangsniederschläge erforderlich, die sich aus Beobachtungs- und Vorhersagewerten zusammensetzen. Zur Erfassung der Niederschläge bis zum Ist-Zeitpunkt sind zurzeit an der Weißen Elster lediglich 8 Ombrometerstationen verfügbar, die zudem teilweise außerhalb des Einzugsgebietes liegen. Über geostatistische Verfahren (z.B. Krigging) werden hieraus Gebietsniederschläge abgeleitet und für das NA-Modell bereitgestellt. Bei der geringen Anzahl von Messstationen sind Abweichungen

zwischen tatsächlichem Gebietsniederschlag und den interpolierten Systemwerten nicht auszuschließen, die sowohl die absolute Niederschlagsmenge als auch deren zeitliche Verteilung (z.B. Niederschlagsbeginn) betreffen. Eine bessere räumliche Datengrundlage liegt mit dem Deutschlandmodell des Deutschen Wetterdienstes für die Niederschlagsprognose vor. Hier sind räumlich hoch aufgelöste Niederschlagsrasterdaten verfügbar.

Weiterhin benötigt wird die Anfangsbodenfeuchte. Die Zeitskala des Prozesses zur Bildung der Bodenfeuchte beträgt häufig mehrere Wochen bis Monate, weshalb es sinnvoll ist, die Werte aus einer Langzeitsimulation zu übernehmen (Parameternachführung). Häufig sind für eine kurzfristig durchzuführende Hochwasservorhersage keine Anfangswerte verfügbar, so dass die Bodenfeuchteverhältnisse pauschal abgeschätzt werden müssen. Parameter wie Anfangsinhalte zum Interzeptions- und zum Grundwasserspeicher sind für Hochwasserereignisse von sekundärer Bedeutung.

## 2.2 Parameternachführung durch Einbeziehung von Pegelmesswerten

Im Hochwasservorhersagemodell werden zusätzlich verfügbare Pegelmessdaten lediglich als Zuflusspegel unterhalb von Talsperren berücksichtigt. Im Einzugsgebiet der Weißen Elster liegen insgesamt 20 Pegelstationen mit Datenfernübertragung ins LHWZ vor, von denen im Modell faktisch 4 als Zuflusspegel bzw. Randbedingung. Es bietet sich daher an, die zusätzlich verfügbaren Pegelmessungen bis zum Ist-Zeitpunkt zur Absicherung der Parameternachführung einzubeziehen. Hierzu werden die Anfangsbodenfeuchte, der Gebietsniederschlag sowie weitere ereignisabhängige Modellparameter innerhalb plausibler Grenzen so angepasst, dass eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Abflusswerten erreicht wird. Die Unsicherheit in der Festlegung der Anfangszustände und des Gebietsniederschlags wird so reduziert. Dabei beschränkt sich die Parameternachführung z.B. auf ein Zeitintervall von 48 Stunden vor dem Ist-Zeitpunkt. Die so nachgeführten Parameter werden dann zur Simulation des gesamten Vorhersagezeitraums übernommen. In der Ereigniskalibrierung zur Parameternachführung werden folgende Parameter berücksichtigt:

- Korrekturfaktor Gebietsniederschlag,
- Anfangsbodenfeuchte,
- Retentionskonstanten zum Oberflächenabfluss,
- Anfangsgrundwasserstand,
- Retentions- und Translationskonstante für den Gerinneabfluss.

Die Parameternachführung kann direkt durch den Experten erfolgen. Zusatzinformationen zur tatsächlichen Niederschlagsverteilung – z.B. in Form von zusätzlichen Beobachtungen, Radarbildern – können so einbezogen werden. Allerdings ist auch für den Experten eine Modellnachführung besonders in komplexen Systemen zeitaufwendig. Daher ist im Hochwasservorhersagemodell Weiße Elster ergänzend ein automatischer Optimierungsalgorithmus vorgesehen (Abb.2).

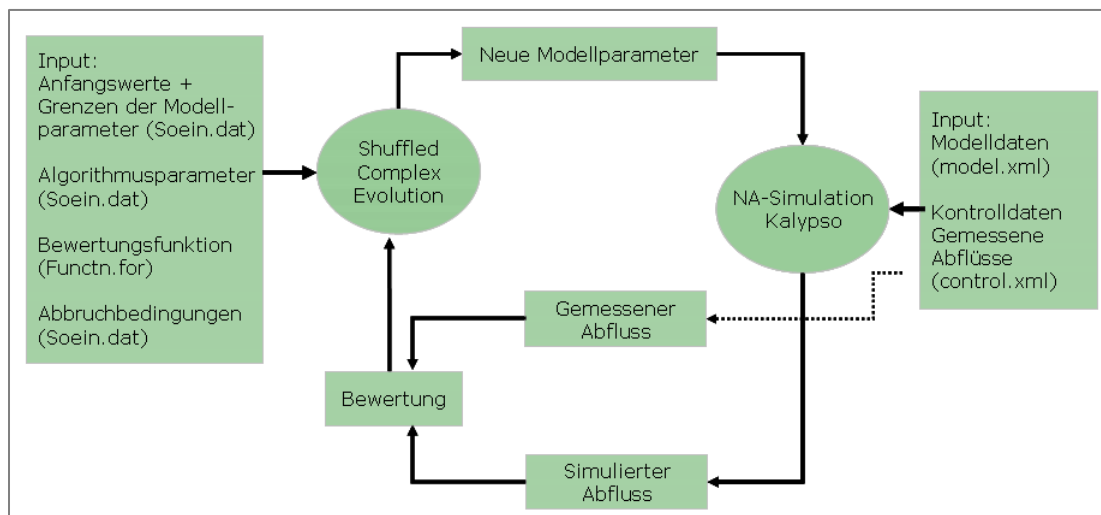


Abb. 2 Integration des Shuffled Complex Evolution Optimierungsalgorithmus in das Hochwasservorhersagesystem KALYPSO (nach Peiler, 2004)

### 2.3 SCE-Optimierungsalgorithmus

Eingesetzt wird der Shuffled Complex Evolution (SCE) Optimierungsalgorithmus, der sich in hydrologischen Modellanwendungen bewährt hat (Madsen, 2000). Das SCE-Verfahren gliedert sich in 2 Unterschritte (Duan, 1993 u. 1994):

In der globalen Phase werden zufällige Anfangspopulationen von Parametersätzen innerhalb des Suchraums ausgewählt. Der Suchraum wird durch sinnvolle Ober- und Untergrenzen der verwendeten Parameter eingeschränkt. Die Ausgangspopulation wird auf Komplexe nach zufälligen Regel aufgeteilt.

In der nun folgenden lokalen Phase wird jeder Komplex in einer vorgegebenen Schrittzahl entwickelt. In dieser Entwicklungs- oder Evolutionsphase werden nach dem Competitive Complex Evolution (CCE) Verfahren neue Populationen entwickelt. Drei unterschiedliche Entwicklungsschritte sind vorgesehen:

- Reflektionsschritt: Der Parametersatz mit der größten Abweichung wird am Schwerpunkt der anderen Parametersätze reflektiert.
- Kontraktionsschritt: Ein neuer Parametersatz wird in der Mitte zwischen dem schlechtesten Parametersatz und dem Schwerpunkt der restlichen Parametersätze gewählt.
- Mutationsschritt: Ein neuer Parametersatz wird zufällig bei Einbeziehung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung im Suchraum ausgewählt.

Dabei werden sukzessive die unterschiedlichen Entwicklungsschritte ausgeführt, bis der neu bestimmte Parametersatz ein besseres Ergebnis ergibt. Außerhalb des Suchraums liegende Parametersätze werden ausgeschlossen. Der schlechteste Parametersatz wird durch den neu entwickelten Parametersatz ausgetauscht. Das Verfahren bricht ab, falls das Konvergenzkriterium erfüllt ist, oder eine vorgegebene Anzahl von Entwicklungsschritten überschritten wird.

Für die Anwendung des Algorithmus auf ein konzeptionelles Hochwasservorhersagemodell wird eine Bewertungsfunktion benötigt. Hier wird im Hochwasservorhersagesystem Weiße Elster bisher als einfache Bewertungsfunktion die mittlere Fehlerquadratabweichung (mean square error) zwischen gemessenem und simuliertem Abfluss eingesetzt, d. h.

$$\text{MSE}(P) = \left\{ \sum_{t=t-1}^{t_0} [Q_{\text{Pegel}}(t) - Q_{\text{sim}, P}(t)]^2 \right\}^{0.5}$$

mit

- $Q_{\text{Pegel}}(t)$  = zum Zeitpunkt  $t$  gemessener Abfluss
- $Q_{\text{sim}, P}(t)$  = mit dem Parametersatz  $P$  simulierter Abfluss
- $t-1$  = Beginn der Simulationsrechnung
- $t_0$  = Ist-Zeitpunkt

### 3 Vorhersagemodell Weiße Elster im LHWZ Sachsen

#### 3.1 Konzeption der Landeshochwasserzentrale (LHWZ) Sachsen

Nach den katastrophalen Auswirkungen des August-Hochwassers 2002 hat der Freistaat Sachsen die Einrichtung eines modernen Landeshochwasserzentrums beschlossen. Aufgabe des LHWZ ist die Gewinnung und Übermittlung von Daten, mit deren Hilfe sich Hochwasserereignisse anhand ihrer zeitlichen Abläufe und ihrer räumlichen Ausdehnung charakterisieren lassen. Die Ausstattung der Bereiche Meldewesen, Datenmanagement, Berichterstattung sowie Koordination von Hochwasservorhersagen entspricht neuesten technischen Anforderungen.

Die Björnßen Beratende Ingenieure GmbH hat in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg eine Softwarelösung für das Prognosesystem entwickelt. Dieses wird zukünftig, auf Grundlage der zentralen Datenhaltung, den Mitarbeitern des LHWZ eine zeitnahe Erstellung von Hochwasserprognosen aller sächsischen Einzugsgebiete ermöglichen (Höhne, 2005). In einem ersten Schritt wurden ein bereits bestehendes Hochwasservorhersagemodell der Spree sowie das bereits erwähnte und neu aufgebaute Weiße Elster Modell in das System integriert. Das Prognosesystem basiert auf der Software Kalypso. Bei Kalypso handelt es sich um eine GIS-basierte Benutzeroberfläche zur Integration und Ansteuerung numerischer Rechenmodelle. Als ein auf Basis der Eclipse RichClientPlatform entwickeltes OpenSource-Projekt setzt es konsequent auf offene Standards gemäß dem OpenGISConsortium (z.B.: GML) und basiert dabei u.a. auf der WebMapService Implementation deegree ([www.deegree.org](http://www.deegree.org)). Gleichzeitig wurde Kalypso Enterprise als offene Plattform zur Integration beliebiger numerischer Rechenmodelle entwickelt. Durch konsequent modularisierte Entwicklung der Software lassen sich daher neue Datenquellen (z.B. Zeitreihen-Repositories, Rechenkerne, Datenmodelle, externe GIS-Datenquellen) einfach in das System integrieren.

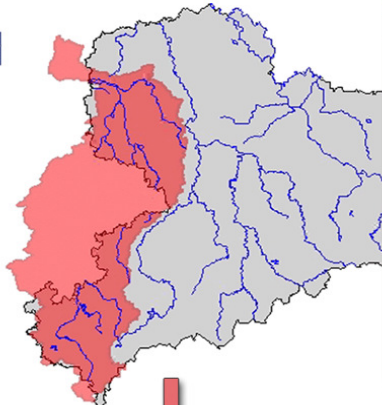
Folgende Funktionen werden u.a. durch Kalypso unterstützt:

# Freistaat Sachsen

## Landesamt für Umwelt und Geologie

**Bitte wählen Sie das Einzugsgebiet**

Spree  
**Weisse Elster**



Hochwasser Vorhersage für Weisse Elster

**Vorhersage erzeugen**

Bitte wählen Sie aus, was Sie tun möchten:

neue Rechenvariante erzeugen

vorhandene Rechenvariante fortführen

vorhandene Rechenvariante kopieren

auf dem Server archivierte Rechenvariante kopieren

vorhandene Rechenvariante fortführen

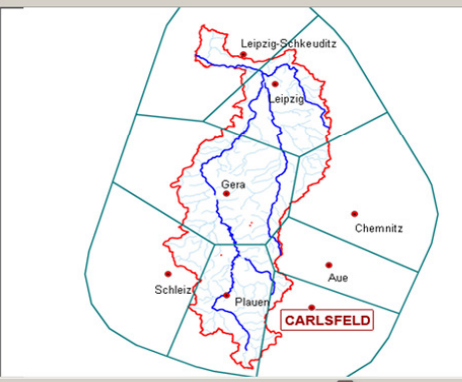
wählen Sie eine der vorhandenen Hochwasser-Vorhersagen:

Vorhersage	zuletzt geändert
1995-09-01-08-00	13.09.05 17:07
1995-09-01-12-00	13.09.05 17:07
1995-09-01-16-00	13.09.05 17:07
1995-09-01-18-00	13.09.05 17:07
1995-09-01-24-00	13.09.05 17:07
1995-09-02-06-00	13.09.05 17:07
Kopie von 1995-09-01-08-00	14.09.05 08:46
Kopie von 1995-09-01-12-00	14.09.05 14:31

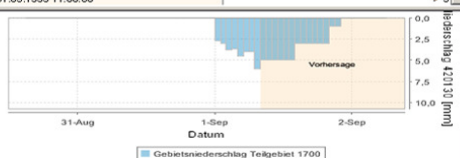
Kalypso Modeller Hochwasser Vorhersage

Hochwasser Vorhersage für Weisse Elster

**Gebietsniederschlagsmodell - Kontrolle/Bearbeitung Niederschlag**



Datum	Gebietsniederschlag Teilgebiet 1700
01.09.1995 01:00:00	3
01.09.1995 02:00:00	3
01.09.1995 03:00:00	4
01.09.1995 04:00:00	4
01.09.1995 05:00:00	4
01.09.1995 06:00:00	4
01.09.1995 07:00:00	4
01.09.1995 08:00:00	0
01.09.1995 09:00:00	5
01.09.1995 10:00:00	5
01.09.1995 11:00:00	5

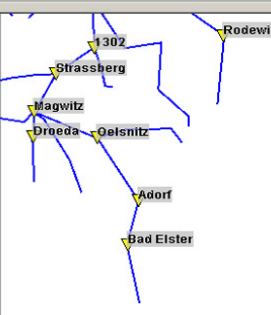


Ombrometer-Messung übernehmen

Kalypso Modeller Hochwasser Vorhersage

Hochwasser Vorhersage für Weisse Elster

**Prognose Pegel Adorf 2/17**



Korrektur Niederschlag

Opt. Faktor Niederschlag 1,2

Optimierung optimieren

Parameter Gebiete

Opt. Faktor Bianf 1,4

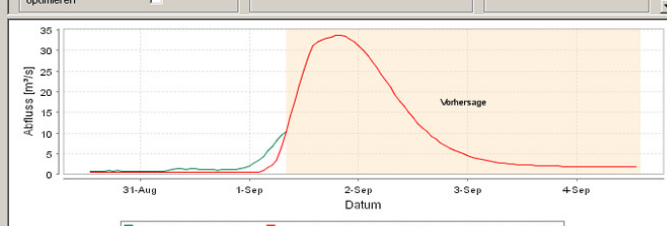
Opt. Faktor Retob, Retint 1

Opt. Faktor Algw 1

Parameter Gewässer

Opt. Faktor k 1

Opt. Faktor n 1



Berechnung durchführen

Abb. 3 Kalypso Wizard's zur Hochwasservorhersageberechnung  
 a: Auswahl des Flusssystemes  
 b: Kontrolle der Eingangsdaten zum Niederschlag  
 c: Parameternachführung unter Berücksichtigung der Pegeldata



- Einheitliche Haltung aller Daten als OGC-konforme GIS- bzw. Sensordaten,
- Plugin-Konzept zur Einbindung beliebiger externer Rechenmodelle,
- Freidefinierbare hierarchische Modelldatenorganisation,
- Vorlagenbasierte, frei konfigurierbare GIS Karten und Tabellenansichten,
- Vorlagenbasierte, frei konfigurierbare Diagramm- und Tabellenansichten von Sensordaten (Zeitreihen),
- Lokale oder zentrale Modelldatenverwaltung,
- Wizard-basierte Benutzerführung zur Optimierung der Arbeitsabläufe,
- Plugin-basiertes Konzept zur Einbindung weitgehend beliebiger Sensordatenquellen,
- Transformation (z.B. W/Q Umrechnung) bzw. Aggregation von Sensordaten, Generierung von Sensordaten aus anderen Quellen, wie zum Beispiel Rasterdaten,
- Im- und Exportschnittstellen z.B. mit Unterstützung von Standard GIS-, Zeitreihen- und Raster-Formaten.

Neben dem weitgehend automatisierten Vorhersagemodus steht ergänzend ein Expertenmodus zur Verfügung, unter dem ein Vollzugriff auf die Modelldaten erfolgen kann. Im Expertenmodus wird das Modell aktualisiert und die Kalibrierung fortgeschrieben.

### **3.2 Vorhersageberechnung für die Weiße Elster**

Die Vorhersageberechnung beginnt mit der Wahl des Flusssystemes (Abb. 3). Alle benötigten Niederschlags- und Pegeldata werden aus dem zentralen Datenmanagementsystem an den lokalen Benutzer übergeben. In einem ersten Bearbeitungsschritt werden die Stationsniederschläge zum Niederschlag in einem Wizard dargestellt und sind auf Plausibilität zu überprüfen. Ggf. müssen Datenlücken gefüllt werden. Anschließend werden die gemessenen Niederschläge mit einem Krigging-Ansatz automatisch in Gebietsniederschläge überführt. Zusätzlich werden Prognosewerte zum Niederschlag des DWD als Rasterdaten übernommen und mit den Messwerten kombiniert. Sie stehen nun als Zeitreihen für die Simulation zur Verfügung. In einem zweiten Prüfschnitt werden die gemessenen Abflüsse überprüft. Für 4 Zuflusspegel (Talsperrenabgaben) müssen Werte für den Vorhersagezeitraum angegeben werden. Sie werden mit den Talsperrenbetreibern abgesprochen und direkt während der Datenkontrolle im Wizard durch den Benutzer ins System übergeben.

Nachdem alle Eingangsdaten festliegen, kann die Vorhersage durchgeführt werden. Dabei wird der Benutzer über die Wizards jeweils von Pegel zu Pegel geleitet, beginnend mit den Oberlaufpegeln („Pegel to Pegel“ Bearbeitung, Abb. 4). Festzulegen sind anfangsabhängige Modellparameter. Erste Werte werden aus der Vorgeschichte oder als Pauschalwerte übernommen. Es erfolgt eine Simulation bis zum aktuell bearbeiteten Pegel. Im Wizard wird die simulierte Ganglinie der gemessenen gegenübergestellt. Der Benutzer entscheidet, ob die Simulation die gemessenen Abflüsse ausreichend gut abbildet. Sind Verbesserungen gewünscht, können einzelne Modellparameter verändert und erneut eine Simulation gestartet werden. Zusätzlich steht als Option eine automatische Parameteroptimierung zur Verfügung, mit der unter Anwendung des SCE-Algorithmus die Parameter optimiert werden.

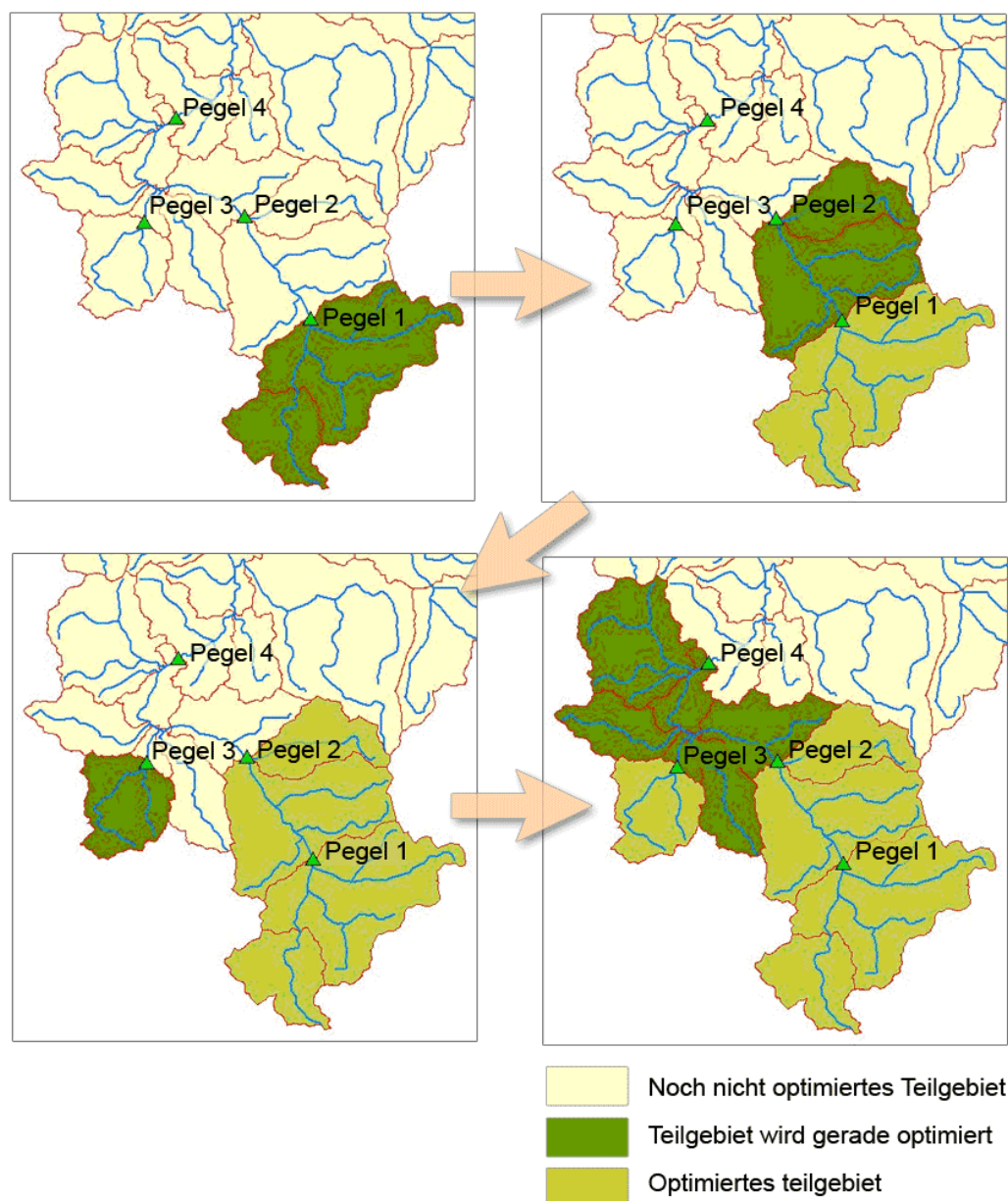


Abb. 4 „Pegel to Pegel“ Vorgehensweise bei der Parameteranpassung

Decken sich die Simulation und die Messwerte zufrieden stellend, so kann der im System folgende Pegel bearbeitet werden. Dabei werden die für den oberen Pegel ermittelten Abflüsse und Korrekturfaktoren festgehalten und nur für das Zwischeneinzugsgebiet Parameter angepasst. Fehlen für einzelne Pegel Abflussmesswerte, werden diese übersprungen und an der nächstfolgenden Messstelle ein entsprechend vergrößertes Zwischeneinzugsgebiet betrachtet. Die Prozedur wird fortgesetzt, bis Vorhersagen für alle vorgesehenen Vorhersageprofile vorliegen. Sind nur Teilbereiche von einem Hochwasser betroffen, kann eine Vorhersage auch vorzeitig beendet werden.

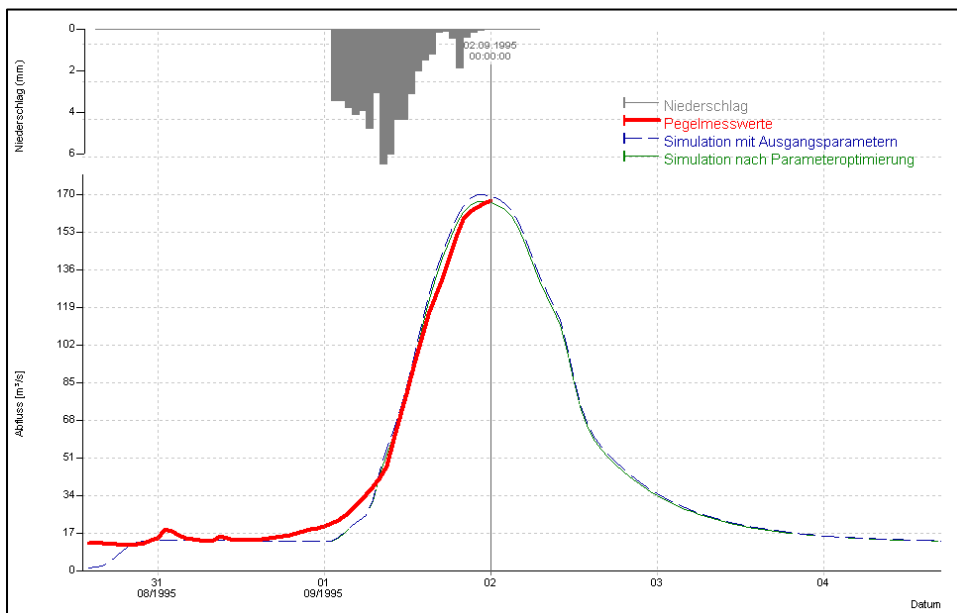
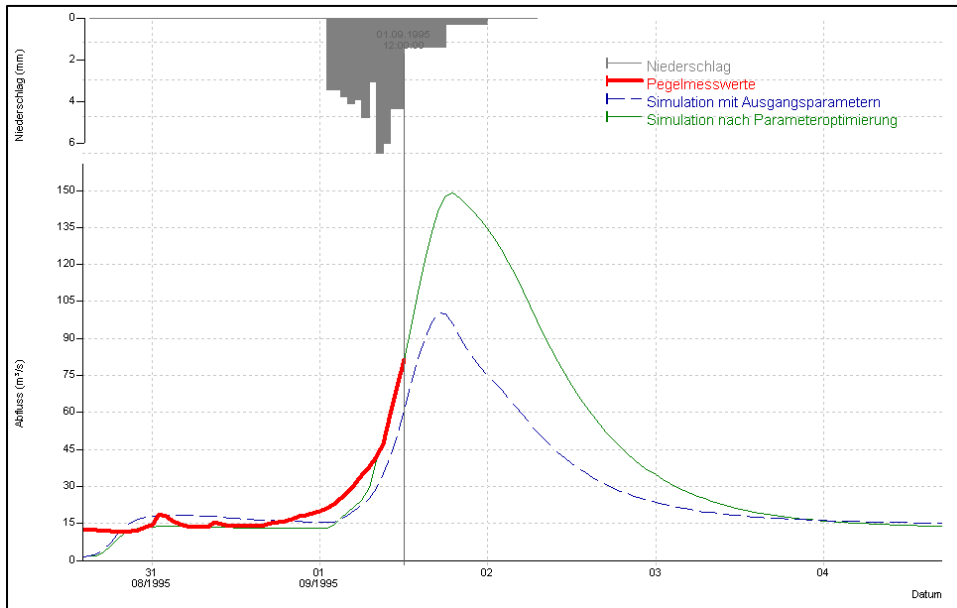


Abb. 5 Vorhersageberechnungen am Pegel Gera für das Ereignis vom Sept. 1995 mit Parameternachführung für die Zeitpunkte 12.00Uhr und 24.00 Uhr

### 3.3 Erste Simulationsergebnisse

Das Hochwasservorhersagesystem Weiße Elster wird seit Sommer 2005 im operativen Betrieb getestet. Erfahrungen mit tatsächlichen Hochwässern liegen bisher nicht vor. Testrechnungen erfolgten mit historischen Hochwässern (Abb. 5). Hierbei zeigte sich, dass

- bei Einbeziehung von lediglich 8 Stationen mit Niederschlagsmesswerten im Einzugsgebiet Weiße Elster eine ereignisbezogene Korrektur der Niederschläge erfor-

derlich ist. Zum Teil müssen die Messwerte deutlich erhöht werden, um die gemessenen Abflüsse zu erreichen. Dies deckt sich mit hohen gemessenen Tagesniederschlägen, die für die historischen Ereignisse als zusätzliche Information vorliegen.

- eine Parameteranpassung durch den Experten häufig ausreicht, um eine befriedigende Übereinstimmung mit den Pegelwerten zu erreichen.
- die etwas zeitaufwendige automatische Optimierung ebenfalls gute Ergebnisse erzielt.
- die Vorhersage trotz Anpassung des Modells an die Pegelmesswerte im anlaufenden Hochwasserereignis eine hohe Unsicherheit zeigt. Im Verlauf des Ereignisses stabilisiert sich die Simulation. Die Anpassung der Simulation durch Experten oder den SCE-Algorithmus erreicht ähnliche Werte.

#### **4. Schlussfolgerungen**

Durch Einbeziehung der Pegelmessung zur Parameternachführung im Hochwasservorhersagemodell Weiße Elster kann die Qualität der Vorhersage deutlich verbessert werden, indem:

- die Unsicherheit bei der Festlegung von Anfangsparametern reduziert wird,
- die Simulation gemessene Abflüsse zum Ist-Zeitpunkt widerspiegelt, und zwar über den gesamten Gewässerlängsschnitt betrachtet.

Dabei stellt ein automatisches Optimierungsverfahren ein sinnvolles Hilfsmittel dar. Verbesserungen der bisherigen Umsetzung bestehen hinsichtlich:

- einer Reduzierung der zu optimierenden Parameter durch Vorauswahl durch den Experten (Optimierung der Rechenzeit).
- Einschränkung des Zeitraums, für den die Anpassung zwischen Simulation und Messung optimiert wird, oder unterschiedliche Gewichtung der Abweichungen, z.B. Zunahme in Richtung Ist-Zeitpunkt.

Entsprechende Verbesserungen sind zurzeit in Bearbeitung.

## 5. Literatur

Benutzerhandbuch, NA-Modell KALYPSO (2003): BCE Koblenz, TU Hamburg-Harburg

Duan, Q.Y; V.K. Gupta and S. Sorooshian (1993): Shuffled Complex Evolution Approach for Effective and Efficient Global Minimization. *Journal of Optimization Theory and Application*, 36, 502-521.

Duan, Q.Y; S. Sorooshian and V.K. Gupta (1994): Optimal Use of the SCE-UA Global Optimization Method for Calibrating Watershed Models. *Journal of Hydrology*, 158, 265-284.

Höhne, U. (2005): Das neue Landeshochwasserzentrum Sachsen. Workshop Hochwasservorhersagen: Methoden – strukturelle Einbindung – Perspektiven, Dresden, 08.03.2005

Madsen, H. (2000): Automatic Calibration of the MIKE 11 / NAM Rainfall-Runoff Model. *Nordic Hydrological Conference*, 26-30 June 2000, Uppsala, Sweden, NHP-Report No 46, 1, 276-283.

Madsen, H. (2000): Automatic Calibration of a Conceptual Rainfall-Runoff Model using Multiple Objectives. *Journal of Hydrology*, 235, 276-288.

Ostrowski, M.W. (1982): Ein Beitrag zur kontinuierlichen Simulation der Wasserbilanz. *Mitd. Inst. f. Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen*, Heft 42.

Peiler, Nadja (2004): Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells Kalypso unter Verwendung eines Optimierungsverfahrens. *Studienarbeit, TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Wasserbau*.

### **Anschrift der Autoren:**

Dr. rer. nat. Rolf Schröder, Dr.-Ing. Kaj Lippert  
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH  
Maria Trost 3  
56070 Koblenz  
E-Mail: [r.schroeder | k.lippert}@bjoernsen.de](mailto:{r.schroeder | k.lippert}@bjoernsen.de)