

# Echtzeit-Vorhersagen des Abflusses mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM am Beispiel des Neckargebietes<sup>1</sup>

Kai Gerlinger, Manfred Bremicker und Ingo Haag

## Zusammenfassung

An der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg wird das kontinuierlich arbeitende Wasserhaushaltsmodell Neckar derzeit im Probetrieb zur operationellen Abflussvorhersage eingesetzt. Das mit dem Programmpaket LARSIM erstellte Modell weist eine räumliche Auflösung von 1 km<sup>2</sup> Rastern auf und arbeitet in einer Zeitschrittweite von einer Stunde. Hier werden Kalibrierung und Validierung sowie erste Ergebnisse des Probetriebs vorgestellt.

## 1 Einführung

Wasserhaushaltsmodelle werden zumeist zur langfristigen, kontinuierlichen Simulation von Wasserhaushaltskomponenten eingesetzt. In der operationellen Abflussvorhersage werden hingegen in der Regel einfachere Modelle verwendet, die nicht kontinuierlich, sondern lediglich ereignisbezogen eingesetzt werden. In der vorliegenden Arbeit wird skizziert, wie ein kontinuierlich arbeitendes Wasserhaushaltsmodell zur Verwendung in der operationellen Abflussvorhersage vorbereitet wurde und welche weiteren Schritte notwendig sind.

## 2 Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM

Das Modell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model) wurde zur kontinuierlichen und langfristigen Simulation der Wasserbilanz in Einzugsgebieten unterschiedlicher Größenordnung (10 km<sup>2</sup> bis 1 Mio. km<sup>2</sup>) entwickelt (BREMICKER 2000). LARSIM ist eine Weiterentwicklung des Modellpakets FGMOD (LUDWIG 1982), welches u.a. als zuverlässiges Hochwasservorhersagemodell in mehreren Hochwasser-Vorhersage-Zentralen im Einsatz ist.

In LARSIM werden neben der Abflusskonzentration in der Fläche sowie der Translation und Retention im Gerinne auch die Bodenwasserspeicherung, die Interzeption, die Evapotranspiration sowie der Aufbau und das Abschmelzen von Schneedecken simuliert. Darüber hinaus können anthropogene Eingriffe in das Abflussgeschehen (Rückhaltebecken, Wasserüberleitungen, etc.) berücksichtigt werden.

Die einzelnen Wasserhaushaltskomponenten werden mit deterministisch basierten Modulen beschrieben. Eine zuverlässige Abbildung der Evapotranspiration wird durch das Penman-Monteith-Verfahren gewährleistet. Die Aufteilung des Abflusses in seine drei Komponenten Direktabfluss, Interflow und Grundwasserabfluss erfolgt als Funktion der Bodenwasserspeicherfüllung mit Hilfe des Xinanjiang-Verfahrens (Details siehe Bremicker 2000). Für den Modellaufbau sind zumeist leicht zugängliche Angaben zum System (Geländehöhe, Landnutzung, Feldkapazitäten der Böden und Gerinnegeometrie) erforderlich.

---

<sup>1</sup> Veröffentlicht in: Kleeberg, H. (Hrsg.): Klima, Wasser, Flussgebietsmanagement im Lichte der Flut, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 4.2003, S. 163 – 166

Weiterhin werden Punktinformationen zu den hydrometeorologischen Antriebsgrößen (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit und Luftdruck) benötigt, die modellintern auf die Fläche übertragen werden.

LARSIM wurde bereits in zahlreichen Gebieten mit unterschiedlichen klimatischen Randbedingungen, Gebietsgrößen und räumlichen Auflösungen erfolgreich als Wasserhaushaltsmodell eingesetzt (z.B. EBEL et al. 2000; GATHENYA 1999; BREMICKER 2000).

### **3 Operationelles Wasserhaushaltsmodell Neckar**

Für das 14.000 km<sup>2</sup> große Einzugsgebiet des Neckars wurde ein Wasserhaushaltsmodell mit einer rasterbasierten, räumlichen Auflösung von 1 km<sup>2</sup> großen Rasterelementen aufgestellt. Die erforderlichen Systemdaten wurden mit Hilfe eines geographischen Informationssystems für das Rastermodell ermittelt. Hierbei wurden insgesamt 16 unterschiedliche Landnutzungsklassen berücksichtigt. Detaillierte Angaben zur Erhebung aller gerinne- und flächenbezogenen Systemdaten finden sich bei BREMICKER (2000).

Das Wasserhaushaltsmodell Neckar wurde zunächst mit einer zeitlichen Prozessauflösung von einem Tag kalibriert, validiert und betrieben. Mit diesem in Tagesschrittweiten arbeitenden Modell können die wesentlichen Merkmale des Wasserhaushalts gut nachvollzogen und wasserwirtschaftlich relevante Fragestellungen beantwortet werden. Die detaillierte Erfassung von kurzzeitigen Hochwasserscheiteln ist in Tagesschrittweiten jedoch nur bedingt möglich. Daher lag das Schwergewicht des in tagesschrittweiten arbeitenden Modells bei der Kalibrierung und Anwendung im Bereich des Niedrig- bis Mittelwasserabflusses.

Um das Wasserhaushaltsmodell auch für den operationellen Einsatz im Hochwasserbereich nutzen zu können, wurde es unter Verwendung einer Rechenzeitschrittweite von einer Stunde nachkalibriert. Bei dieser Kalibrierung wurde auf eine möglichst korrekte Nachbildung des gesamten Abflussbereichs von Niedrig- bis Hochwasser geachtet. Zudem liegt seit kurzem eine aktualisierte Landnutzungsklassifikation aus dem Jahr 2000 vor, die bei der Neukalibrierung berücksichtigt wurde.

Die Kalibrierung des in Stundenschritten arbeitenden Wasserhaushaltsmodells erfolgte anhand gemessener Abflussganglinien von insgesamt 39 Pegeln für den Zeitraum von 1997 bis einschließlich 2000. Hierzu wurden insgesamt 9 Parameter des Wasserhaushaltsmodells innerhalb physikalisch sinnvoller Grenzen gezielt variiert. Die Validierung erfolgte anhand der Abflüsse an den selben Pegeln für den Zeitraum von Januar 2001 bis Oktober 2002.

Um die Güte der Simulationen zu bewerten, wurden gemessene und simulierte Ganglinien direkt verglichen sowie unterschiedliche Gütemaße (z.B. Modelleffizienz, Modelleffizienz logarithmierter Abflüsse, Bestimmtheitsmaß, etc.) ermittelt. In Abbildung 1 sind die Bestimmtheitsmaße an den einzelnen Pegeln in Abhängigkeit von deren Einzugsgebietsgröße für den Kalibrierungs- und den Validierungszeitraum dargestellt. Hieraus wird die zumeist recht gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Abflüssen deutlich.

Dabei ist hervorzuheben, dass der gesamte Abflussbereich von Niedrig- bis Hochwasser mit einem einheitlichen Parametersatz gut simuliert werden kann.

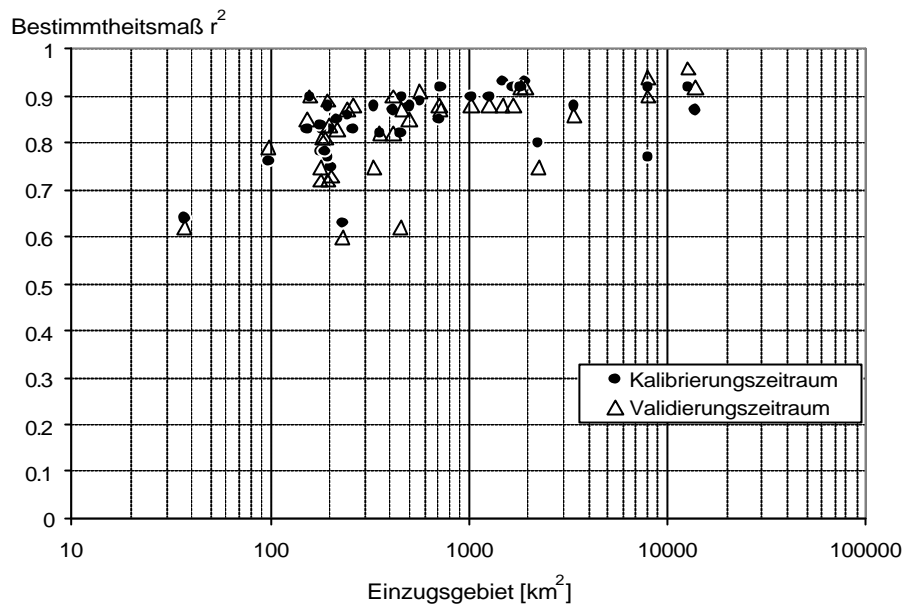


Abb. 1: Bestimmtheitsmaße berechneter Abflüsse in Abhängigkeit der Einzugsgebietsgröße.

Aus Abbildung 1 wird deutlich, dass die Güte der Simulationsergebnisse mit zunehmender Einzugsgebietsgröße besser wird. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass sich kleinräumige Fehleinschätzungen über größere Gebiete hinweg gegenseitig ausgleichen. Auch in kleineren Einzugsgebieten werden über weite Zeiträume hinweg gute Ergebnisse erzielt. Die schlechteren Gütemaße in kleineren Einzugsgebieten sind vor allem auf Abweichungen bei einzelnen, meist sommerlichen Hochwassern zurückzuführen, die durch lokale, konvektive Niederschlagsereignisse bedingt sind. Hauptursache der Fehleinschätzungen ist die für kleinräumige Fragestellungen zu geringe Dichte des meteorologischen Messnetzes.

Das kalibrierte, in Stundenschritten rechnende Modell wird derzeit im Testbetrieb von der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg operationell eingesetzt. Als Eingabedaten dienen aktuelle Messwerte von online abrufbaren meteorologischen Stationen und Abflusspegeln im Neckargebiet sowie die 48-Stunden-Niederschlagsvorhersagen des LM-Modells und die 174-Stunden-Vorhersagen des GME-Modells des Deutschen Wetterdienstes. In Abbildung 2 ist eine 174-Stunden-Vorhersage des Abflusses beispielhaft dargestellt (Pegel Wendlingen/Neckar,  $A_{EZG} = 3269 \text{ km}^2$ ). Dabei wurden anstelle der GME-Vorhersage gemessene Niederschlagsdaten auch im Vorhersagezeitraum verwendet, um die Güte des hydrologischen Modells zu verdeutlichen.

Die über den operationellen Testbetrieb verfügbaren Niedrigwasservorhersagen sind vor allem hinsichtlich der Gewässergüte und eventuell vorzunehmender Verbesserungsmaßnahmen für den Sauerstoffgehalt im Neckar von Interesse. Für eine Verbesserung der Niedrigwasservorhersagen ist geplant, den Modellzustand im Zuge des operationellen Betriebs an aktuell gemessene Abflüsse anzupassen.

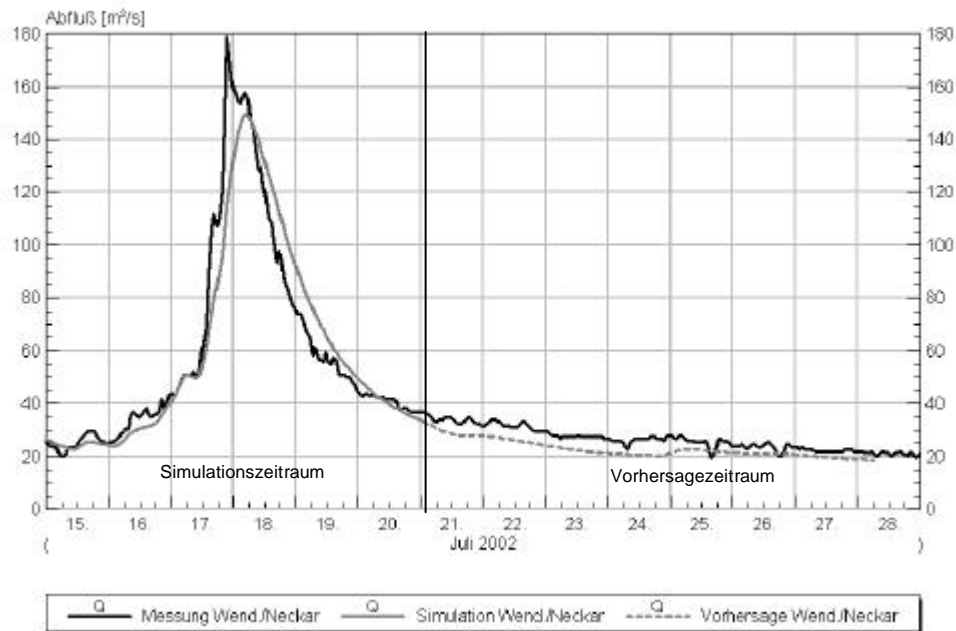


Abb. 2: Beispiel einer operationellen Abflussvorhersage für den Pegel Wendlingen/Neckar.

Insbesondere durch die Nachführung des Füllungszustands des modellinternen Basisabflussspeichers ist eine verbesserte Niedrigwasservorhersage zu erwarten.

Mittel- bis langfristig wird angestrebt, mit Hilfe des operationellen Wasserhaushaltsmodells auch Hochwasserfrühwarnungen für kleine Einzugsgebiete zu ermöglichen. Dazu wird untersucht, ob durch die Nachführung der Bodenwasserspeicherfüllung anhand der Messdaten und durch Nutzung von Informationen des Wetterradars eine wesentliche Verbesserung für die angestrebte Hochwasserfrühwarnung erzielt werden kann.

## Literatur

BREMICKER, M., (2000): Das Wasserhaushaltsmodell LARSIM - Modellgrundlagen und Anwendungsbeispiele. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 11. Institut für Hydrologie der Universität Freiburg.

EBEL, M., K. LUDWIG, & K.G. RICHTER (2000): Mesoskalige Modellierung des Wasserhaushaltes im Rheineinzugsgebiet mit LARSIM. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 6(44), 308-312

GATHENYA, M. (1999): Einsatz von Wasserhaushaltsmodellen zur Wasserbewirtschaftung am Beispiel des Thika-Chania-Gebietes in Kenya. Dissertation, Universität Kaiserslautern.

LUDWIG, K. (1982): The Program System FGMOD for Calculation of Runoff Processes in River Basins. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 23, 25-37.

## Verfasser:

K. Gerlinger, I. Haag, E-mail: kai.gerlinger@ludwig-wawi.de,  
Dr.-Ing. Karl Ludwig, Beratender Ingenieur, Herrenstr.14, 76133 Karlsruhe.

M. Bremicker, E-mail: manfred.bremicker@lfuka.lfu.bwl.de,  
Hochwasser-Vorhersage-Zentrale der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg.