

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Matz, Silvia; Pätsch, Matthias; Larsen, Ole; Weis, Helmut**

## **Integrierte Modellierung eines Flusseinzugsgebietes am Beispiel der Oberen Iller**

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/20.500.11970/103806>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Matz, Silvia; Pätsch, Matthias; Larsen, Ole; Weis, Helmut (2006): Integrierte Modellierung eines Flusseinzugsgebietes am Beispiel der Oberen Iller. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 67-74.

### **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.



# Integrierte Modellierung eines Flusseinzugsgebietes am Beispiel der Oberen Iller

Silvia Matz<sup>1</sup>, Matthias Päscht<sup>1</sup>, Ole Larsen<sup>1</sup>, Helmut Weis<sup>2</sup>

The implementation of WFD in water resources management requires an integrated approach. For the river Obere Iller a coupling of the water resources simulation model MIKE SHE and the river simulation model MIKE 11 was processed. Running the highly dynamic coupled system the exchange between groundwater and river was calculated.

## 1 Einleitung

Die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie erfordert einen ganzheitlichen/integrierten Ansatz bei der Bewirtschaftung von Wasserressourcen und schafft einen einheitlichen Handlungsrahmen für nachhaltiges und integriertes Wassermanagement. Die Verbesserung des Zustandes aller Wasserkörper der EU-Mitgliedsstaaten und der assoziierten Staaten bis 2015 ist das Hauptziel der Richtlinie [BMU, 2001].

Wie die Umsetzung des geforderten integrierten Ansatzes aussehen kann, soll am Beispiel des Einzugsgebietes der Oberen Iller gezeigt werden. Im Illereinzugsgebiet kam es zu Pfingsten 1999 zu einem der größten Hochwasser der letzten 100 Jahre, in dessen Verlauf es u. a. zu Deichbrüchen und Überschwemmungen kam [LFW BAYERN, 2003]. Der Abfluss der Iller entsprach bei Blaichach in etwa einem  $HQ_{300}$  [WWA KEMPTEN, 2004a]. In Folge des Hochwassers wurde vom Wasserwirtschaftsamt Kempten ein Hochwasserschutzprojekt veranlasst und ein neuer Schutzgrad ( $HQ_{300}$ ) festgelegt. Konkrete Maßnahmen waren u. a. die Aufweitung des Flussbettes und die Verbesserung der Standsicherheit der Deiche [WWA KEMPTEN, 2004b]. Im Zuge dieses Projektes wurde DHI mit dem Aufbau eines integrierten Oberflächen- und Grundwassermodells des Einzugsgebietes der Oberen Iller bis Immenstadt beauftragt. Da sich das System hochdynamisch verhält, d.h. Grundwasser und Fließgewässer nahezu zeitgleich auf ein Niederschlagsereignis reagieren, wurde der Ansatz eines integrierten Modells ausgewählt. Für die Simulation wurden das Wasserhaushaltsmodell MIKE SHE und das Fließgewässermodell MIKE 11 verwendet.

## 2 Modellaufbau

Das Untersuchungsgebiet, das Einzugsgebiet der Iller bis zum Pegel Iller/Immenstadt liegt in Süddeutschland im Allgäu und ist rund 723 km<sup>2</sup> groß.

Zunächst wurde ein Niederschlagsabflussmodell (NAM) für dieses Gebiet mit dem NA-Modul von MIKE 11 aufgebaut. Das aufgebaute Modell setzt sich aus dreizehn Teileinzugsgebieten, welche die Einzugsgebiete der Nebenflüsse bis zu ihren Abflusspegeln umfassen und Teileinzugsgebieten der Iller zwischen den Abflusspegeln, zusammen. Aus den dabei simulierten Abflüssen der Nebenflüsse konnte – über den Abflussüberschuss – der unterirdische Gebietszufluss in das Illertal aus den Einzugsgebieten der Nebenflüsse mit Grundwasserleiter bestimmt werden.

Für das Gebiet des Oberen Illertals (s. Abbildung 1) wurde ein integriertes Modell aufgebaut. In dem mit MIKE SHE erstellten Modell wurde die gesättigte Zone – bestehend aus den Schichten Unterer Aquifer, Seeton, Oberer Aquifer und Deckschicht –, die ungesättigte Zone, die Evapotranspiration, der Niederschlag – unter Verwendung von vier Niederschlagsstationen –, die Temperatur (DWD-Stationen Fischen und Obersdorf), die Niederschlagsretention durch den Schneespeicher, die Landnutzung – mit den jeweiligen Blattflächenindices und den Durchwurzelungstiefe und ihrer jährlichen Schwankung –, der Oberflächenabfluss, die Topographie und das – mit MIKE 11 erstellte – Fließgewässermodell berücksichtigt.

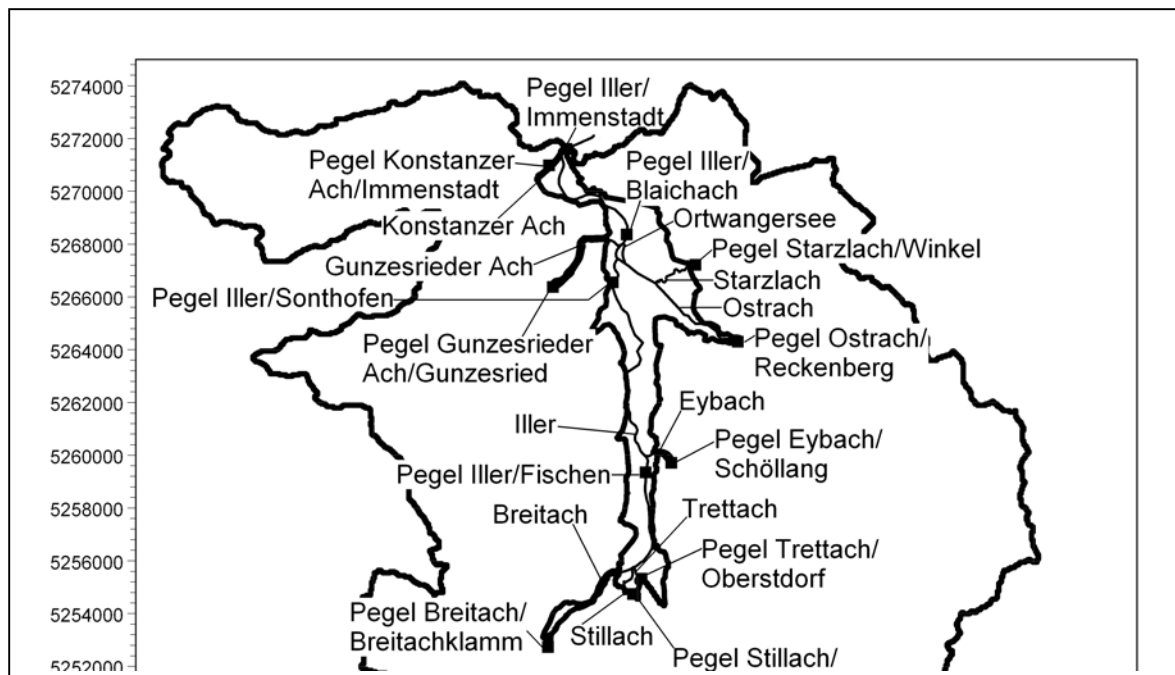


Abbildung 1. Einzugsgebiet der Iller bis zum Pegel Iller/Immenstadt (groß) und Untersuchungsgebiet Oberes Illertal (klein) mit den simulierten Gewässern, sowie den Abflusspegeln.

### 3 Mathematische Grundlagen von MIKE SHE und MIKE 11

#### 3.1 MIKE 11

Die Berechnung der Fließgewässer erfolgt instationär über das 1-dimensionale Modell MIKE 11. Die verwendete, angepasste Saint-Venant Gleichung (Gl. 1 und Gl. 2), d.h. die nichtlineare Gleichung für offene Gerinne, setzt sich aus der Kontinuitäts- und Impulsgleichung zusammen. Die Kontinuitätsgleichung lautet (vgl. DHI, 2004):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad \text{Gl. 1}$$

mit dem Abfluss  $Q$ , dem Fließquerschnitt  $A$ , der Raumkoordinate  $x$ , der Zeit  $t$  und dem lateralen Zufluss  $q$ .

Die Impulsgleichung wird über den Abfluss  $Q$ , die Zeit  $t$ , den Impulsverteilungskoeffizienten  $\alpha$ , den Fließquerschnitt  $A$ , die Raumkoordinate  $x$ , die Erdbeschleunigung  $g$ , den Wasserstand  $h_a$  im Gewässer, den Chezy Widerstandsbeiwert  $C_a$ , und den hydraulischen Radius  $R$  berechnet (vgl. DHI, 2004):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\alpha \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h_a}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C_a^2 AR} = 0 \quad \text{Gl. 2}$$

Die Lösung der Gleichungen erfolgt über das implizite Finite Differenzen Schema von ABBOTT und IONESCU [1967]. In dem automatisch erstellten Berechnungsgitter wechseln sich Q- und h-Punkte ab, d.h. Punkte an denen der Abfluss bzw. der Wasserstand berechnet wird.

### 3.2 MIKE SHE

Die mathematischen Grundlagen (vgl. DHI, 2005) des verwendeten physikalisch basierten Finiten Differenzen Modells MIKE SHE bildet für die Grundwasserströmung die nichtlineare 3-dimensionale Bossinesq-Gleichung (Gl. 3)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S = S_a \frac{\partial h}{\partial t} \quad \text{Gl. 3}$$

mit der hydraulischen Leitfähigkeit  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  entlang der x-,y- und z-Achse des Modells, der hydraulische Druckhöhe  $h$ , dem Quellen- und Senkenterm  $S$  und dem spezifischen Speicherkoeffizienten  $S_a$ .

Die Strömung der ungesättigten Zone erfolgt in diesem Beispiel mit einer vereinfachten Richardsgleichung, dem so genannten „Gravity Flow“, mit einem einheitlichen vertikalen Gradienten ohne Berücksichtigung der Kapillarkräfte. Die Berechnung der aktuellen Evapotranspiration erfolgt nach dem Ansatz von Kristensen und Jensen (1975). Der Oberflächenabfluss wird mittels der diffusen Wellenapproximation der Saint-Venant Gleichung berechnet. Er entsteht, sobald der Effektivniederschlag die Infiltrationskapazität übersteigt.

## 4 Kopplung MIKE SHE mit MIKE 11

Das Grundwasser im Illertal weist nicht nur nahezu die gleiche Dynamik, wie der Wasserstand der Iller auf, es reagiert auch nahezu zeitgleich. Dieses Phänomen kann darauf beruhen, dass es durch die hohe Durchlässigkeit der Kolmationsschicht zu einer hohen Infiltration bzw. Exfiltration in/aus der Iller kommen kann. Bei Fischen (Abbildung 2) erfolgt der Anstieg im Grundwasser in ein bis zwei Stunden nach dem Anstieg des Illerwasserstandes und ist in diesem Fall rund zehn Zentimeter höher als dieser.

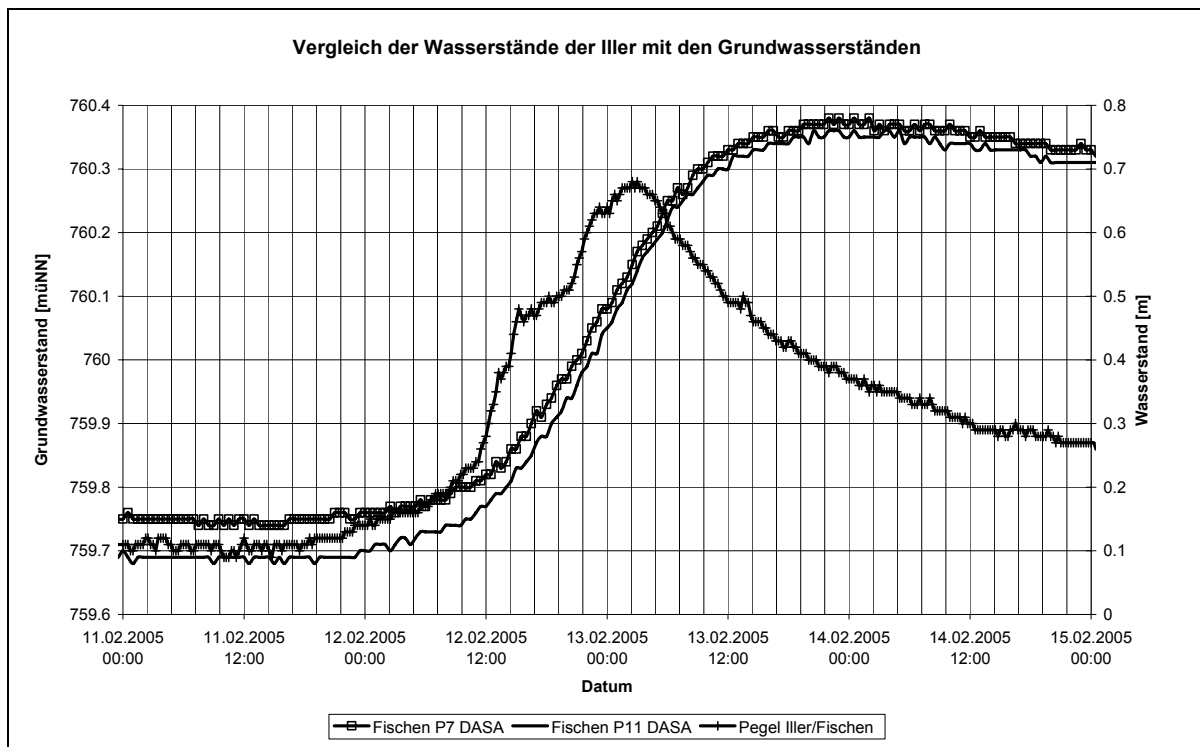


Abbildung 2. Wasserstand der Iller am Pegel Iller/Fischen (rund 620 m Iller aufwärts des Zuflusses des Eybachs) und an den Grundwassermessstellen P7 und P11 (1400 und 1450 m flussaufwärts des Pegels, rund 265 bzw. 75 m von der Iller entfernt) bei Fischen.

Dieses Phänomen setzt sich im gesamten Illertal fort. Am Pegel Iller/Blaichach (s. Abbildung 3) fällt die Schwankungsamplitude im Grundwasser etwas geringer aus als an der Iller.

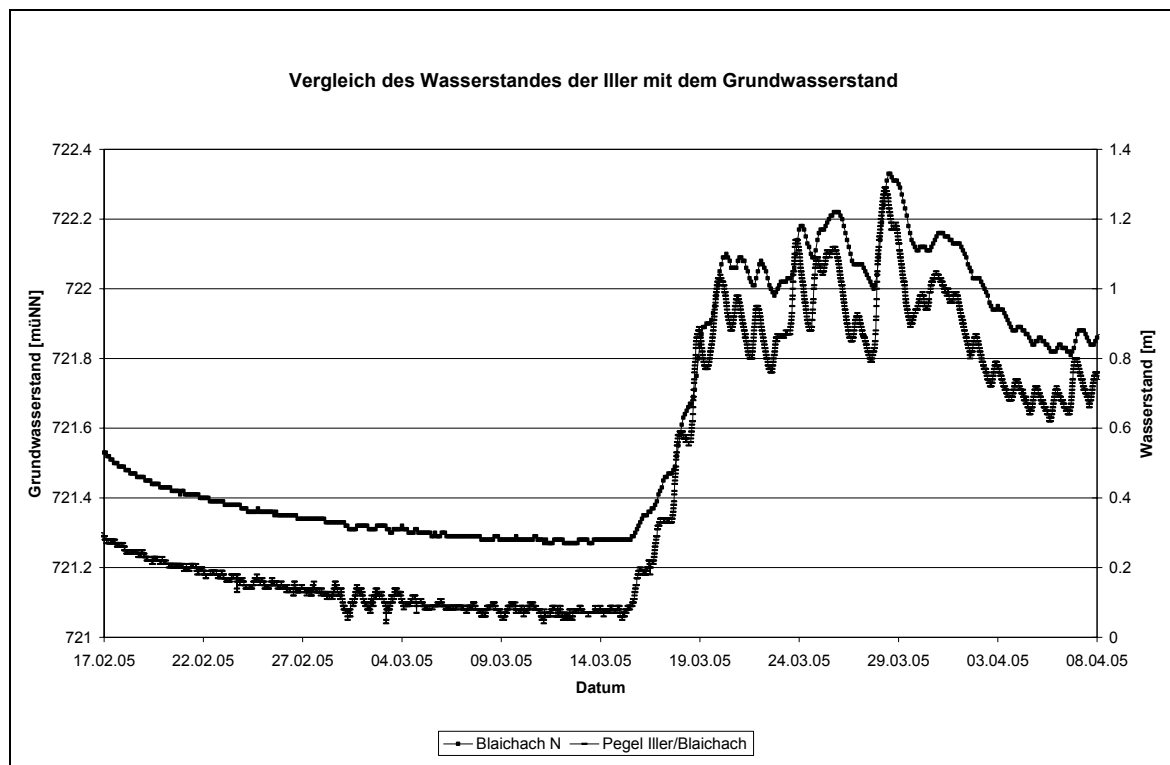


Abbildung 3. Wasserstand der Iller am Pegel Iller/Blaichach (rund 440 m Iller flussaufwärts des Zuflusses der Gunzesrieder Ach) und an der Grundwassermessstelle Blaichach N (250 m vom Pegel entfernt) bei Blaichach (Sonthofen).

An der Ostrach, welche bei Sonthofen in die Iller mündet, wurde durch das Pfingsthochwasser 1999 die Kolmationsschicht entfernt, so dass sie bei Niedrigwasser auf ungefähr den letzten zwei Kilometern fast vollständig versickert. Spätestens durch das Hochwasser 2005 wurde die sich neu aufbauende Kolmationsschicht wieder abgetragen.

Um die starke Interaktion zwischen Grundwasser und Gewässer berechnen zu können war es notwendig ein integriertes Wasserhaushalts-Fließgewässer-Modell aufzubauen. Die Kopplung zwischen den beiden Modellen erfolgt, wie nachfolgend beschrieben über den Leakagekoeffizienten des Flussbettes. In Abb. 4 wird der simulierte Grundwasserzufluss in die Iller beim Pegel Iller/Blaichach gezeigt.

Bei der Kopplung (vgl. DHI, 2005) von MIKE 11 mit MIKE SHE wird der Fluss in MIKE SHE als Linie zwischen den Gitterzellen generiert. Der Austausch erfolgt auf beiden Seiten des Flusses in Abhängigkeit vom Wasserstand.

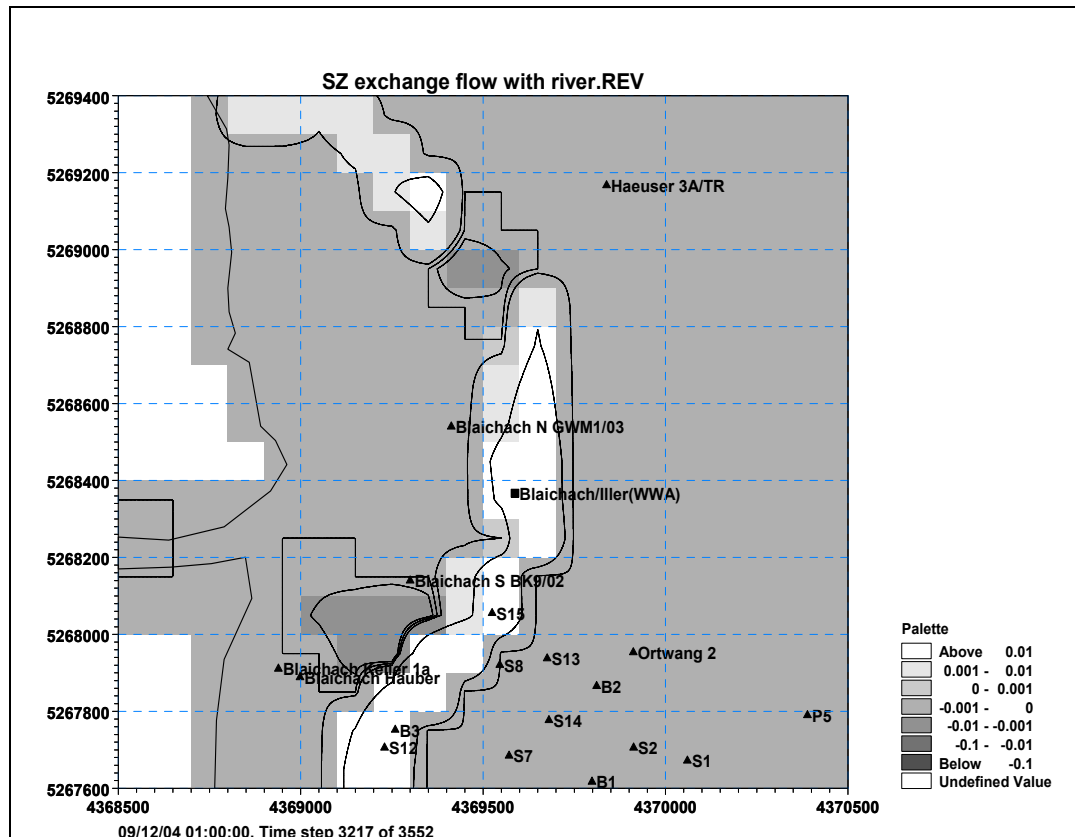


Abb. 4 Grundwasserzufluss (positiv) in die Iller beim Pegel Iller /Blaichach am 12.09.2004 um 1:00 Uhr.

Gekoppelt werden Flüsse in dem Modell MIKE SHE über so genannte "river links". Die berechneten Wasserstände werden in die "river links" übertragen, wo der Austausch mit dem Oberflächenabfluss, der gesättigten und ungesättigten Zone berechnet wird. Die dynamische Kopplung zwischen MIKE 11 und MIKE SHE erfolgt über die Übertragung von Wasservolumina. Der Austausch zwischen Aquifer und Fließgewässer wird über die Leitfähigkeit des Flussbett- und Aquifermaterials bzw. nur über die Leitfähigkeit des Flussbettes und die Differenz des Wasserstandes berechnet. Bei reduziertem Kontakt zwischen Fließgewässer wird der Austausch wie folgt kalkuliert:

$$Q = \Delta h \cdot C_{sz-river} \quad \text{und} \quad C_{sz-river} = C_{i,river} \cdot w_i \cdot dx \qquad \text{Gl. 4}$$

mit dem Abfluss  $Q$ , der Wasserstandsdifferenz  $\Delta h$ , der hydraulischen Leitfähigkeit zwischen gesättigter Zone und Fließgewässer  $C_{sz-river}$ , dem Leakagekoeffizient des Flussbettes  $C_{i,river}$ , dem angenommenen, benetzten Umfang in Gitter  $i$   $w_i$  und der Mächtigkeit der gesättigten Zone  $dx$ .

Durch die Berücksichtigung aller Wasserhaushaltskomponenten konnte das Systemverhalten des Einzugsgebietes der Oberen Iller beschrieben werden. Die



Kopplung vom Wasserhaushaltsmodell mit dem Gewässermodell ermöglichte die Darstellung der Dynamik und der Interaktion zwischen Grundwasser und Gewässer.

## 5 Literatur

Abbott, M.B., Ionescu, F.: On the numerical computation of nearly-horizontal flows, *Journal of Hydraulic Research*, 5, S. 97-117, 1967.

Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.): Hochwasser Mai 1999, Gewässerkundliche Beschreibung. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München, 2003. (URL <http://www.hnd.bayern.de/ereignisse/hw210599/Bericht-HW99.pdf>, 24. November 2004).

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.): Umweltpolitik; Wasserwirtschaft in Deutschland; Teil I – Grundlagen – Oktober 2001

DHI (Hrsg.): MIKE SHE. An Integrated Hydrological Modelling System. DHI Software. 2005.

DHI (Hrsg.): MIKE 11. A Modelling System for Rivers and Channels. Reference Manual. DHI Software. 2004.

Kristensen, K.J., Jensen, S.E.: A model for estimating actual Evapotranspiration from potential transpiration. *Nordic Hydrology*. 6, 1975.

Wasserwirtschaftsamt Kempten: Hochwässer im Rückblick, Pfingsthochwasser 1999 (URL <http://www.bayern.de/WWA-ke/hvz/index.htm>, 24. November 2004).

Wasserwirtschaftsamt Kempten: Hochwasserschutzprojekt Obere Iller (URL <http://www.bayern.de/WWA-ke/projekte/hochwasserschutz/hwsoi/index.htm>, 24. November 2004).

### Autoren:

Dipl.-Geoökol. Silvia Matz<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Matthias Pätsch<sup>1</sup>, Dr. Ole Larsen<sup>1</sup>, Dipl.-Ing. Helmut Weis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DHI Wasser & Umwelt GmbH  
Wiesenstraße 10a  
28857 Syke  
Tel.: ++49-4242-16380  
Fax.: ++49-4242-163818  
[sma@dhi-umwelt.de](mailto:sma@dhi-umwelt.de)

<sup>2</sup> Wasserwirtschaftsamt Kempten  
Rottachstr. 15  
87439 Kempten  
[helmut.weis@wwa-ke.bayern.de](mailto:helmut.weis@wwa-ke.bayern.de)