

Berücksichtigung von Rückstauwirkungen der Kanalisation in hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellen

Von Joachim Sartor

Zur besseren Erfassung von Siedlungsabflüssen in hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellen (wie Flussgebietsmodellen oder Abflussmodellen für die Schmutzfrachtsimulation) bietet sich eine Kalibrierung anhand hydrodynamischer Kanalnetzrechnungen an, um die Retention durch Ein- und Überstauwirkungen im Netz besser erfassen zu können. Es wird ein Routing-Verfahren beschrieben, mittels dem auf hydrologischem Wege solche Retentionseffekte berücksichtigt werden können. Erst hierdurch ergibt sich beispielsweise bei kleinen Einzugsgebieten mit hohem Bebauungsgrad im Unterlauf aufgrund der Überlagerung mit der nachfolgenden natürlichen Welle der ungünstigste Gesamtabfluss. Dies wird durch zwei Fallbeispiele verdeutlicht.

1 Einleitung

In Flussgebiets- und Schmutzfrachtmodellen werden Kanalisationsnetze oft nur durch vereinfachte Ersatzsysteme in Form rein hydrologischer Ansätze abgebildet. Da aber für viele Siedlungsgebiete detaillierte Entwässerungsmodelle vorliegen, empfiehlt sich beispielsweise in folgenden Fällen eine Kopplung beider Modellarten:

- ▶ bei der Simulation von Gewässereinzugsgebieten mit hohem Siedlungsan-

teil, um die Gesamtabflussganglinie sicherer wiedergeben zu können,

- ▶ bei der Simulation von Kanalnetzen mit hohem Außengebietsanteil,
- ▶ bei der zeitgerechten Gegenüberstellung beider Abflusskomponenten an Mischwasserentlastungsbauwerken o. ä., um die Überlaufereignisse im Sinne des Gewässerschutzes (immissionsorientiert) beurteilen zu können.

Dies kann sowohl in Form einer Übernahme der detailliert berechneten Gang-

linien wie auch in Form einer Modellanpassung erfolgen. Da die direkte Übernahme quasi immer möglich ist und eher ein Aufwands- bzw. Softwareproblem darstellt, wird im Folgenden ein verbesserter hydrologischer Berechnungsansatz behandelt.

Ein Nachteil der klassischen hydrologischen Modellansätze zur Abflusskonzentration (wie Einheitsganglinien oder lineare Speicherkaskaden) liegt darin, dass sie nicht in der Lage sind, die bei Starkregenereignissen übliche Dämpfung und Verformung der Abflussganglinie in Kanalisationsnetzen durch Ein- oder Überstauwirkungen zu berücksichtigen [2]. Hierzu sind nur die in der Siedlungswasserwirtschaft weit verbreiteten hydrodynamischen Kanalnetzmodelle [3] mit ausreichender Genauigkeit in der Lage. Sie bauen auf den Differentialgleichungen nach St. Venant auf und simulieren das Netz haltungsweise. Diese Modelle sind i. A. aber zu rechen- und datenaufwändig, um in hydrologische Einzugsgebietsmodelle oder Schmutzfrachtmodelle eingebaut zu werden. Folglich bietet sich eher die Kalibrierung hydrologischer Niederschlag-Abfluss-Modelle (NA-Modelle) anhand hydrodynamischer Berechnungsergebnisse an.

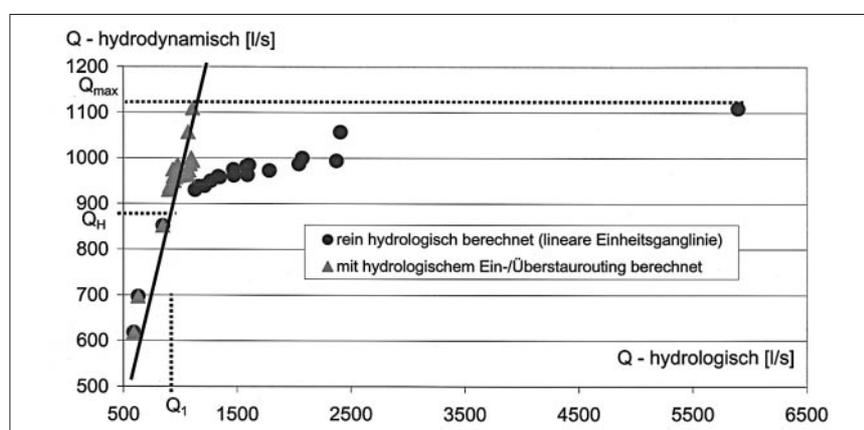


Bild 1: Beispiel für die Anpassung des hydrologischen Ein- und Überstauroutings an hydrodynamische Berechnungsergebnisse (Q_1 : 1-jährlicher Abfluss (aus Euler-Regen); Q_H : Abfluss, ab dem Ein-/Überstau beginnt; Q_{max} : Netzkapazität bei Überstau)

2 Hydrologisches Ein- und Überstaurouting

Bei der Anpassung des hydrologischen Modells kann die hydrodynamisch ermittelte Abflussganglinie aus der Endhaltung des Netzes oder Teilnetzes analog zur Ganglinie eines Gewässerpegels bei der üblichen Kalibrierung von Flussgebietsmodellen behandelt werden. Es stellt sich dann aber für den Anwender häufig die schwierige Frage, ob Ganglinien von Ereignissen zugrunde gelegt werden, die in der Größenordnung des Bemessungsereignisses des Netzes liegen (i. A. kein oder nur geringer Rückstau) oder darüber (i. A. mit Rückstau).

Das nachfolgend beschriebene hydrologische Routing-Verfahren ermöglicht dagegen die Berücksichtigung von Abflussganglinien beliebiger Höhe (Bild 1 und 2):

- Anpassung der Einheitsganglinie (EGL) anhand hydrodynamisch berechneter Abflussganglinien, die keine wesentlichen Rückstaueffekte beinhalten (Bild 3).
- Hydrologische Seriensimulation ausgesuchter Starkregenereignisse, z. B. nach den Auswahlkriterien gemäß DWA [4]
- Hydrodynamische Simulation der Ereignisse aus b) der Größe nach in absteigender Reihenfolge, bis die hydrodynamisch und hydrologisch ermittelten Abflussspitzen übereinstimmen. Dieser Grenzabfluss entspricht dem Parameter Q_H in Bild 1. Auch wird so der theoretische Maximalabfluss Q_{max} festgelegt, gegen den die aufgetragenen Ergebnisse asymptotisch streben (Überstaubedingungen ohne weitere Zunahme der Druckhöhe).
- Kalibrierung der Retentionskonstante K_H eines linearen Einzelspeichers anhand der zwischen Q_H und Q_{max} liegenden Ergebnisse, der lediglich von dem oberhalb Q_H liegenden Teil der Welle beaufschlagt wird.
- Rückhalt des oberhalb von Q_{max} liegenden Wellenteils in einem fiktiven Speicher, bis wieder freie Kapazitäten im Netz zur Verfügung stehen [5].

Nachteilig ist bei dem Verfahren die relativ umfangreiche hydrodynamische Simulation, die aber aufgrund der sehr individuellen Reaktion jedes einzelnen Netzes nicht vermeidbar ist [6]. Folglich kann z. B. der Parameter K_H auch einen entsprechend großen Wertebereich annehmen und zwar erfahrungsgemäß zwischen etwa 0,1 und 1,5 h.

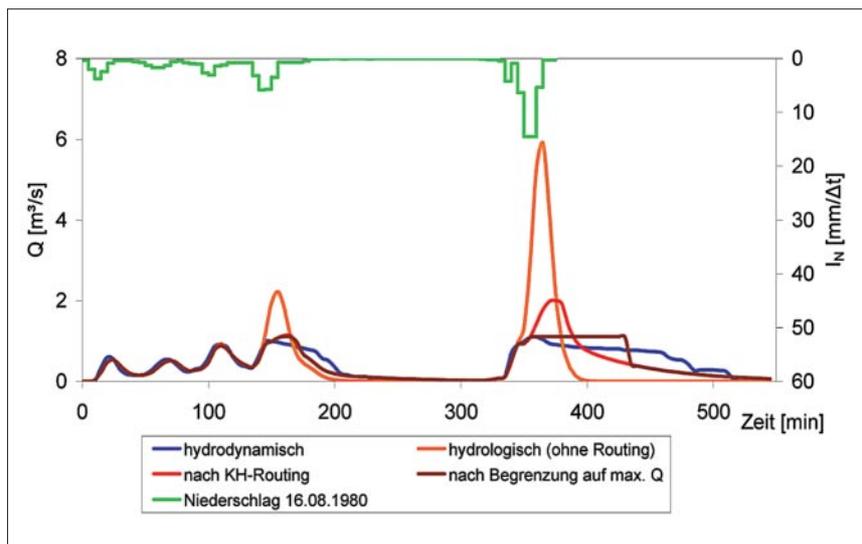


Bild 2: Auswirkungen des hydrologischen Ein- und Überstauroutings anhand des Extremereignisses aus Bild 1

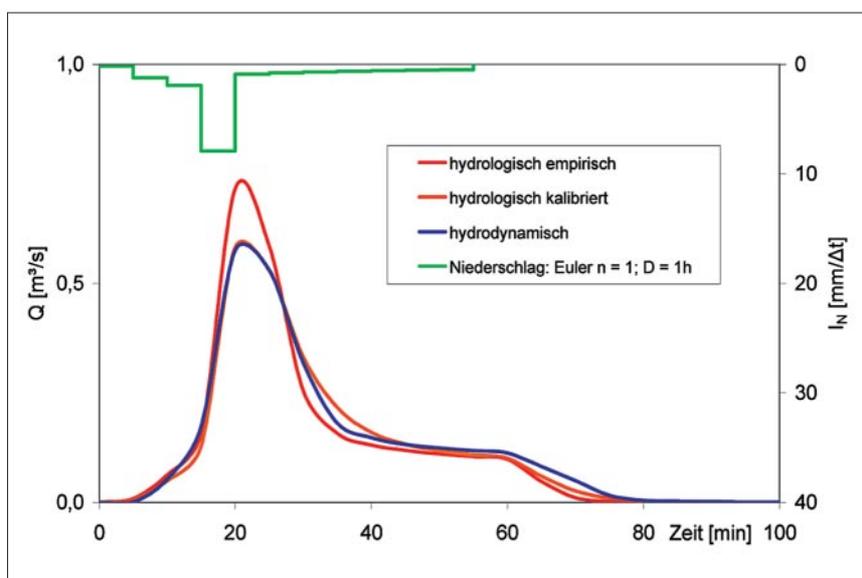


Bild 3: Anpassung der Einheitsganglinie anhand einer hydrodynamisch berechneten Abflussganglinie für ein Ereignis mit geringfügigem Rückstau im Netz (zum Vergleich die berechnete Ganglinie mit empirisch ermittelten Parametern)

Simulating Backwater Effects in Sewer Systems by Hydrological Storm Runoff Models

by Joachim Sartor

For improved simulation of flow hydrographs from urban areas in hydrological storm runoff models (as river basin models or flow models in pollution load simulation) a calibration using results from dynamic routing models is suggested. Thus the retention effects of backwater or overtopping street levels can be included. A routing concept is described that simulates such effects by hydrological model components. For example in small catchments with considerable urban areas in downriver sections this approach allows for the determination of the highest total flow since their flow hydrographs will be superimposed with the more delayed wave from upriver natural areas. This is demonstrated by two case studies.

Damit sich die beschriebene Modellanpassung ausschließlich auf den Wellenablauf im Netz bezieht, sind hierbei u. a. gleiche Effektivregen, d. h. gleiche Abflussvolumina, Voraussetzung. Mögliche Differenzen können sich sowohl durch unterschiedliche Abflussbildungsansätze der Oberflächenmodelle wie auch durch unterschiedliche Systemzustände des Siedlungsgebietes ergeben. Während für die Bemessung von Kanalisationsnetzen meist Prognosewerte der Flächenversiegelung angesetzt werden, wird bei der Simulation von Flussgebieten im Regelfall der Ist-Zustand zugrunde gelegt, insbesondere falls das Modell an Gewässerpegeln kalibriert wird. Da so bedingte Unterschiede im Versiegelungsgrad von bis zu 30 bis 40% keine Seltenheit sind, verdient dieser Punkt besondere Beachtung.

3 Fallbeispiele

Den beiden folgenden Beispielen ist gemein, dass es um die Hochwasserproblematik von hochgradig bebauten, kleinen Gewässereinzugsgebieten geht. Da sich die Siedlungsflächen jeweils im Unterlauf konzentrieren, wurde deren rein hydrologische Simulation als auf der „unsicheren Seite liegend“ angesehen. Zwar neigen die klassischen EGL-Verfahren grundsätzlich zur Überschätzung der Siedlungsabflüsse bei Extremereignissen (Bild 2), jedoch erfolgt erst durch deren zeitliche Verzögerung aufgrund des Retentionseffekts (Ein- und Überstau im Netz) in solchen Fällen die ungünstigste Überlagerung mit der nachfolgenden Welle aus den natürlichen Gebietsanteilen. Daher kam jeweils das zuvor beschriebene hydrologische Routing-Verfahren zur Anwendung.

Damit sich die Modellkalibrierung jeweils ausschließlich auf den Wellenablauf im Netz bezog, wurden in beiden Modellen die gleichen Systemzustände und Abflussbildungsansätze verwendet. Für die undurchlässigen Flächen handelte es sich dabei um den Ansatz des Modells HYSTEM [5]. Für die durchlässigen Flächenanteile wurde der auf dem SCS-Verfahren beruhende Ansatz nach Zaiß verwendet, der sich im Rahmen eines Modellvergleichs [6] als für solche Fragestellungen am besten geeignet erwiesen hatte, insbesondere falls umfangreiche Außengebiete vorliegen.

In beiden Fällen erfolgte die Anpassung der (rein hydrologischen) EGL an die hydrodynamisch berechnete Abflussganglinie, die aus dem 1-jährlichen, 1-stündigen Modellregen nach Euler [3] resultiert und zu nur relativ geringen Einstauereffekten in den Netzen führte. Bild 3 zeigt zudem die Verbesserung gegenüber der Abflussganglinie, die sich mittels rein empirisch ermittelter Konzentrationsparameter ergeben hätte (Linearspeicherkaskade nach Euler [1] mit $n = 3$ Speichern). Aufgrund der hier nicht erfüllten Annahme eines vollständig rückstaufreien Netzes fällt diese Welle zu hoch aus.

3.1 Fallbeispiel Welschbach

Zur Bemessung von Durchlässen sowie von naturnahen und technischen Rückhaltmaßnahmen war das 3,1 km² große Einzugsgebiet des saarländischen Welschbachs zu simulieren [7]. Aufgrund des hohen Siedlungsanteils (über 24% des Einzugsgebietes sind bebaut, ca. 10,3% versiegelt) wurde bei der Modellierung besonderer Wert auf die Erfassung der Kanalisationsabflüsse gelegt, die zudem noch durch Außengebiete spürbar beeinflusst werden (knapp 30% Gebietsanteil). Folglich wird über die Hälfte des Einzugsgebietes durch die Kanalisation kontrolliert, was u. a. bei der Modellstruktur gemäß Bild 4 zu berücksichtigen war. Bild 1 enthält die zugehörige Anpassung der über Q_H liegenden Jahreshöchstabflüsse für die Teilfläche FK 1. Bild 2 zeigt das Extremereignis vom 16.08.1980 aus der 28 Jahre umfassenden Regenreihe.

Als Ergebnis des Gesamtmodells wurden zunächst für den Ist-Zustand die Hochwasserabfluss-Statistiken für die betreffenden 11 Durchlässe geliefert. Zudem wurden verschiedene Rückhaltmaßnahmen untersucht, um die Wellen aus den

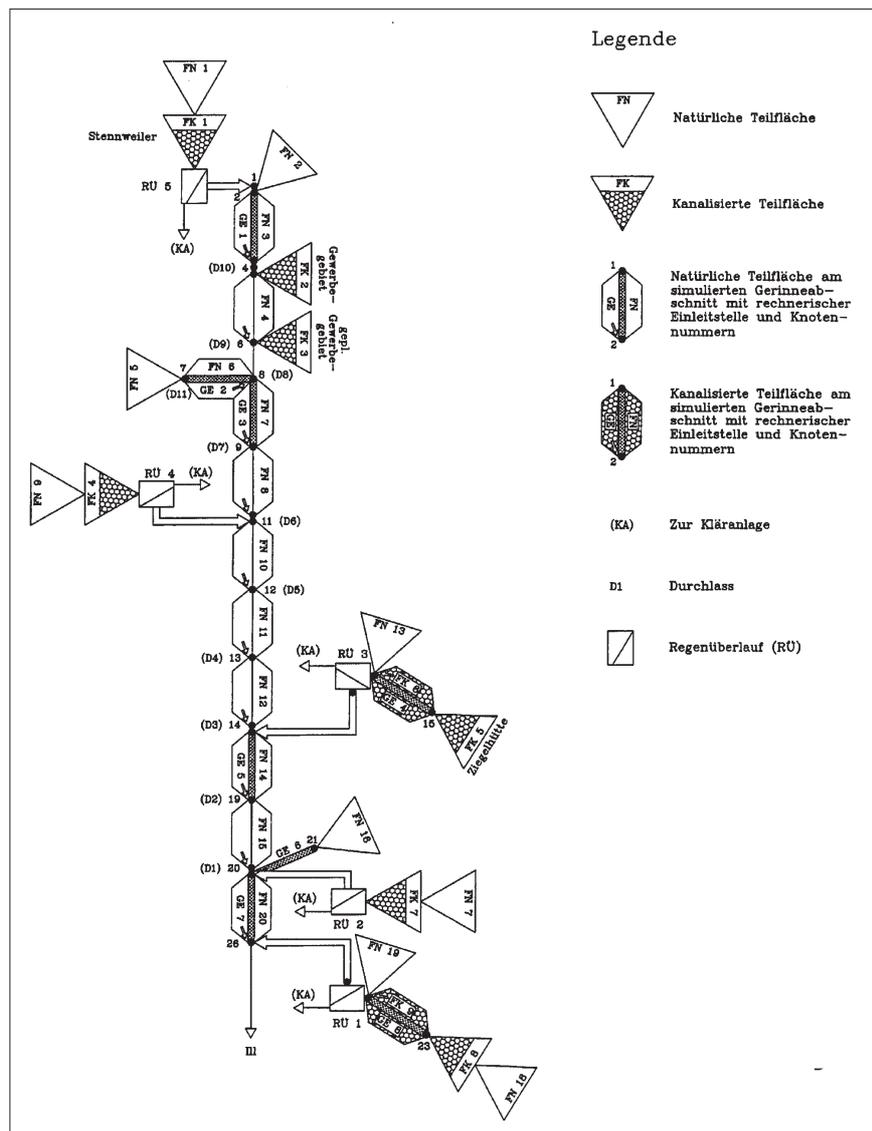


Bild 4: Struktur des NA-Modells Welschbach

natürlichen und kanalisierten Gebietsanteilen zu entzerren und zu verringern.

3.2 Fallbeispiel Lieser/Mosel

Im Bereich des Hochwasserdeiches von Lieser wird der Paulsbach mittels einer Druckverrohrung in die Mosel geleitet (**Bild 5**). Das 3,8 km² große Einzugsgebiet umfasst neben dem überwiegend natürlichen Gebietsanteil auch noch einen Großteil der Regenwasserkanalisation von Lieser. Als Ergänzung der in 2000 fertig gestellten Hochwasserschutzanlage ist ein Rückhaltebecken am Paulsbach geplant, durch welches u. a. die Überlastungssicherheit der Verrohrung von derzeit 2 auf 100 Jahre bei Normalwasserstand der Mosel erhöht werden wird.

Die Druckverrohrung wurde auf den ca. 35-jährlichen Bemessungswasserstand der Mosel in Kombination mit dem ca. 1-jährlichen Paulsbachabfluss ausgelegt. Es stellte sich daher die Frage, wie häufig mit zusätzlichen, von der Verrohrung nicht mehr aufnehmbaren Wassermengen des Paulsbaches auf der Binnenseite der Deichanlage während Moselhochwasser zu rechnen ist. Um die entsprechende Wahrscheinlichkeit einer ungünstigen Kombination maßgebender Abflussereignisse der Mosel (tendenziell Winterereignisse) und im Paulsbach (tendenziell Sommerereignisse) zu untersuchen, wurden gemessene Hochwasserganglinien der Mosel simulierten Abflussganglinien des Paulsbaches zeitgerecht gegenüber gestellt [8]. Auch hier wurden die kanalisierte Teilfläche des NA-Modells Paulsbach an einer hydrodynamischen Berechnung kalibriert (Teilnetz in Bild 3) und das hydrologische Routing-Verfahren gemäß Kapitel 2 angewendet. Die Untersuchung ergab u. a., dass es insbesondere beim Januarhochwasser 1995 zu ersten Problemen gekommen wäre, da der Paulsbachabfluss die Durchlasskapazität um mehr als das Doppelte überstiegen hätte.

Literatur

- [1] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Die Berechnung des Oberflächenabflusses in Kanalnetzmodellen – Teil 2. Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe „Hydrologie der Stadtentwässerung“. In: Korrespondenz Abwasser (1987), Heft 3.
- [2] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Überlastungshäufigkeit von Kanalnetzen. Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe „Hydrologie der Stadtentwässerung“. In: Korrespondenz Abwasser (1988), Heft 2.
- [3] Abwassertechnische Vereinigung e.V. (Hrsg.): Hydraulische Bemessung und

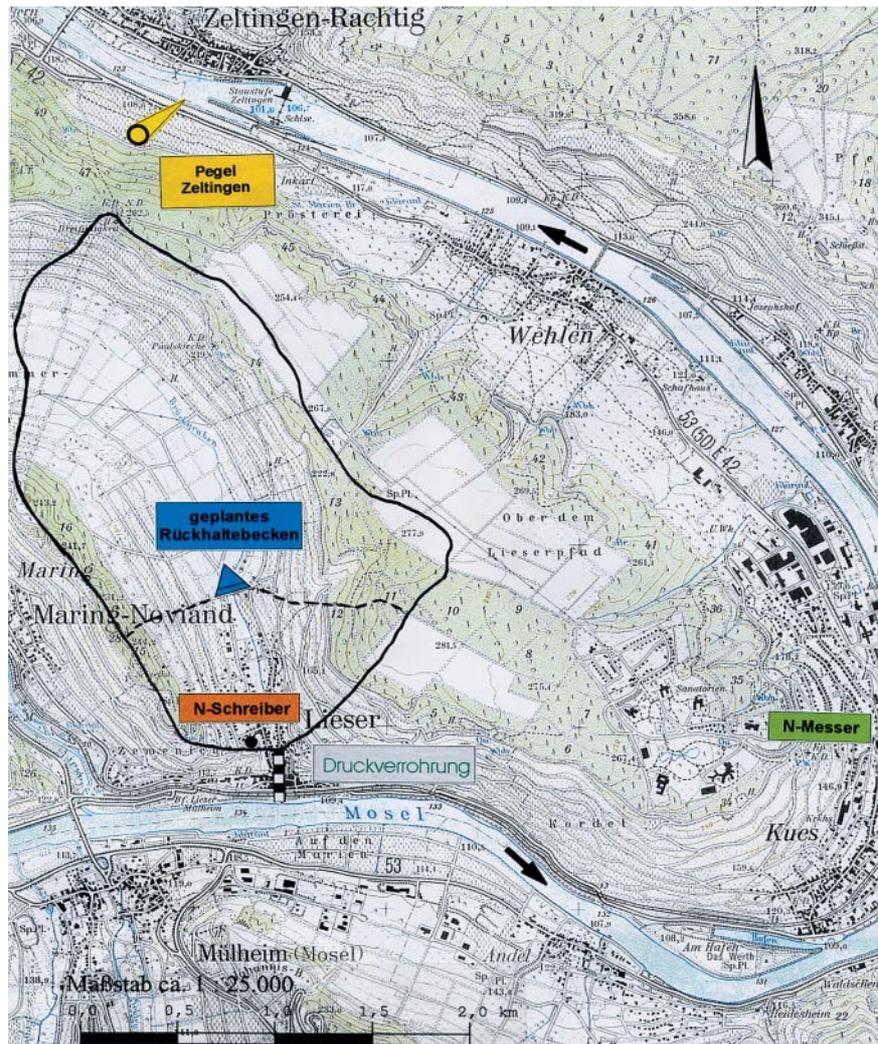


Bild 5: Einzugsgebiet des Paulsbaches mit Messstationen und Teileinzugsgebiet bis Rückhaltebecken

Nachweis von Entwässerungssystemen. Arbeitsblatt 118, Hennef, 1999.

- [4] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung. Merkblatt 165, 2004.
- [5] Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie: Softwarepaket HYSTEM-EXTRAN, Version 6, Hannover, 2004.
- [6] Sartor, J.: Weiterentwicklung der Langzeit-Seriensimulation des Niederschlag-Abfluss-Prozesses für kanalisierte und natürliche Einzugsgebiete. In: Wasserwirtschaft 87 (1987), Heft 5.
- [7] Ingenieurbüro für Hydrologie und Gewässerschutz: Niederschlag-Abfluss-Modell Welschbach (unveröffentlicht). Erstellt im Auftrag der Gemeinde Illingen, 2002.

- [8] Fachhochschule Trier: Modellhafte Hochwasseruntersuchung zum Paulsbach in Lieser unter zeitgerechter Berücksichtigung der Moselwasserstände. Unveröffentlichter Zwischenbericht, 2000.

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr.-Ing. Joachim Sartor
 Fachhochschule Trier
 FB Bauingenieurwesen
 Schneidershof
 54293 Trier
 J.Sartor@fh-trier.de



Anzeigenschluss

für Heft 7-8 / 2006 ist der 4. 7. 2006