

Einsatz der Langzeit-Seriensimulation für kleine Einzugsgebiete

J. Sartor

1. Einleitung

Zur Modellierung von Bemessungsabflüssen aus kleinen Einzugsgebieten bietet sich neben dem klassischen Bemessungsregenkonzept (z.B. nach [DVWK, 1984]) auch die Langzeitsimulation an. Sie erspart dem Anwender die Annahme "Niederschlagshäufigkeit gleich Abflußhäufigkeit", da die statistische Analyse mit den (berechneten) Abflüssen durchgeführt wird.

Unverzichtbar wird die Langzeitsimulation spätestens dann, wenn den Einzelereignissen ein Datum zugeordnet werden muß wie beispielsweise

- bei Wirksamkeitsuntersuchungen zur Winterbegrünung von Ackerflächen oder
- bei erforderlicher Überlagerung der berechneten Abflußganglinien mit Pegelaufzeichnungen (z.B. simulierte Siedlungsflächen oder kleine Einzugsgebiete an großen Gewässern).

Sofern dabei ausschließlich Hochwasserabflüsse gefragt sind, bietet die in [ATV, 1985] definierte Langzeit-Seriensimulation (LZS) Vorteile gegenüber der Kontinuumssimulation. Die Seriensimulation erfordert

- keine Kalibrierung der Parameter für Niedrig- und Mittelwasserphasen sowie
- geringere Rechenzeiten bzw. erlaubt kleinere Simulationszeitschritte, um die Abflußspitzen besser erfassen zu können.

Im folgenden wird über bewährte Modellansätze sowie Anwendungserfahrungen zur LZS berichtet.

2. Kriterien für die Ereignisauswahl

Zur Durchführung einer LZS sind zunächst Kriterien erforderlich, die zur Auswahl der maßgebenden Starkregenereignisse aus einer kontinuierlichen Niederschlagsreihe führen. Da insbesondere bei kleinen Einzugsgebieten auch die bebauten Flächen einen spürbaren Beitrag zum Bemessungsabfluß liefern können, sollten alle Niederschlagsganglinien erfaßt werden, die in natürlichen und/oder kanalisierten Gebieten zu mindestens einjährlichen Abflüssen (bzw. zum kleinsten Jahreshöchstabfluß einer Reihe) führen. Diese Bedingung wird von den folgenden Kriterien aus [Sartor, 1994] erfüllt, wobei bereits die Überschreitung **eines** dieser Grenzwerte zur Auswahl des betreffenden Ereignisses ausreicht:

- $\max I \geq 5 \text{ mm/15 min}$
- $h_N \geq 10 \text{ mm}$ und $\max I \geq 7,5 \text{ mm/h}$
- $h_N \geq 15 \text{ mm}$ und $\max I \geq 5 \text{ mm/h}$
- $h_N \geq 20 \text{ mm}$

mit h_N : Gesamtniederschlagshöhe des Ereignisses
max I: Maximal auftretende Intensität innerhalb des Ereignisses

Die so nicht berücksichtigten Daten (zwischen zwei maßgebenden Ereignissen) können z.B. durch den in Kap. 3 vorgestellten Vorregenindex berücksichtigt werden. Der Auswahlprozess wird wesentlich durch die Grenzpause GP zur Definition zweier unabhängiger Ereignisse und durch die Grenzintensität GI beeinflusst (vgl. Bild 1). Regenintensitäten bis zu $GI = 0,01$ mm/15 min können bei der Auswahl maßgebender Ereignisse wie Regenspauzen behandelt werden. Die Dauer von GP sollte folgende Mindestwerte nicht unterschreiten:

- 4 Stunden
- die doppelte Konzentrations- bzw. Fließzeit der beiden Einzugsgebiete
- die Entleerungszeit aller Rückhalteräume.

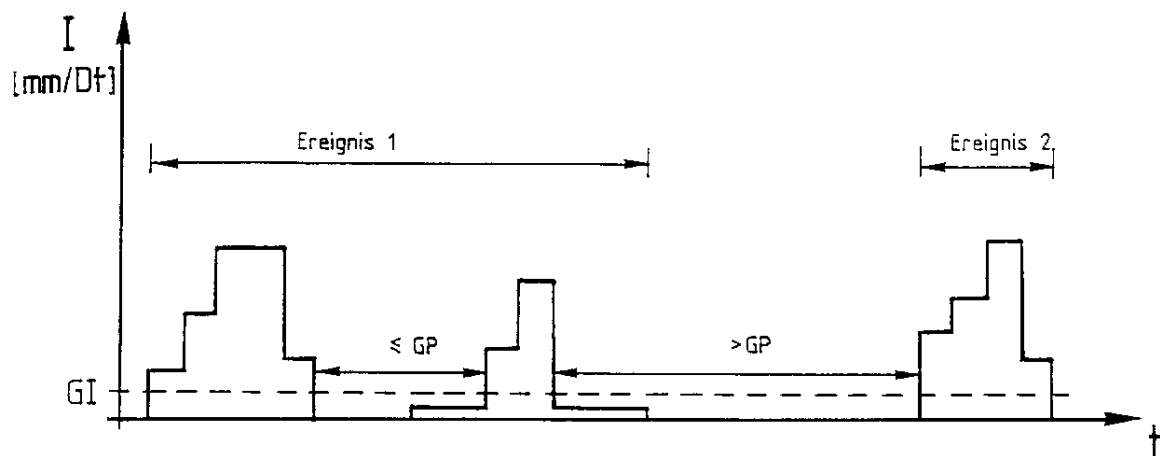


Bild 1: Zusammenhang zwischen Grenzpause (GP) und Grenzintensität (GI)

3. Abflußbildung und Modellkalibrierung

An die Modellansätze sind im Hinblick auf eine LZS einige besondere Anforderungen zu stellen. Ein wesentlicher Unterschied zum klassischen Bemessungsregenkonzept besteht nämlich darin, daß hier alle Jahreshöchstabflüsse, d.h. teilweise auch relativ kleine Ereignisse (möglichst) genau zu erfassen sind, da sie i.d.R. die Eingangsgrößen für die nachfolgende statistische Analyse bilden.

Daher müssen die in Frage kommenden Ansätze u.a. in der Lage sein, die bei kleineren Ereignissen meist sehr einflußreiche Anfangsfeuchte des Bodens und die Jahreszeit ausreichend zu berücksichtigen. Ferner sind die zahlreichen Intensitätsschwankungen der natürlichen Niederschlagsverläufe bis hin zu eventuellen Regenspauzen zu berücksichtigen.

Die aufgezeigten Zusammenhänge haben auch Einfluß auf den Kalibrierungsprozess des Modells. Zum einen sind nicht nur die größten Ereignisse der Meßreihe für die Eichung auszuwählen, sondern eben auch kleinere Hochwasser in der Größenordnung der kleinsten Jahreshöchstabflüsse. In [DVWK, 1982] und oftmals auch in der Praxis beschränkt sich der eigentliche Kalibrierungsprozess lediglich auf die Abflußkonzentrationsparameter, während der aktuelle Abflußbeiwert o.ä. (rückgerechnet über die Volumenbedingung) vorgegeben wird. Dagegen empfiehlt es sich (insbesondere) hier, alle Eichereignisse so zu nutzen, daß ein funktionaler Zusammenhang zwischen aktuellen ereignisspezifischen Parametern (Niederschlag, Vorfeuchte etc.) einerseits und den feststehenden, systemspezifischen Modellparametern andererseits gefunden wird. Gemäß [Sartor, 1996] wird das folgende Verfahren, daß weitgehend auf dem erweiterten SCS-Verfahren nach [Zaiß, 1989] beruht, diesen Ansprüchen gerecht.

Zur **Berücksichtigung der Vorgeschichte und Jahreszeit** wird der 21-tägige Vorregenindex verwendet:

$$VN21 = \sum_{i=1}^{21} c^i \cdot h_{Nd,i} \quad [mm]$$

mit $h_{Nd,i}$ = Niederschlagshöhe des i-ten Vortages
 c = Abminderungsfaktor

Der Faktor c soll den Einfluß der Jahreszeit berücksichtigen:

$$c = 0,796 \cdot e^{0,0047 \cdot WZ} \quad [-]$$

Die darin verwendete Wochenzahl WZ [-] nimmt folgenden Wert an:

31.	Kalenderwoche:	$WZ = 1$	(Ende Juli/Anfang August)
30./32.	"	$WZ = 2$	
29./33.	"	$WZ = 3$	
⋮		⋮	
7./3.	"	$WZ = 25$	
4.-6.	"	$WZ = 26$	(Januar/Februar)

Danach ergibt sich c zwischen 0,8 bei $WZ = 1$ und 0,9 bei $WZ = 26$.

Ferner wird angenommen, daß die Bodenfeuchteklasse I (gemäß Original-SCS-Verfahren) den Boden im völlig trockenen Zustand ($VN21 = 0$) beschreibt. Hierzu gehört der CNI-Wert und der Anfangsverlust AV_0 . Mit dem in [DVWK, 1991] empfohlenen **Verlustverhältnis** AV/S von **0,05** (statt 0,2) ergibt sich

$$CNI = \frac{CNII}{2,334 - 0,01334 \cdot CNII} \quad [-]$$

$$AV_0 = \frac{1270}{CNI} - 12,7 \quad [\text{mm}]$$

Der **Anfangsverlust AV** wird als Funktion des Vorregenindex VN21 ausgedrückt, wobei der Wert AV₀ den Nullpunkt darstellt:

$$AV = AV_0 \cdot e^{-VN21/B1} \quad [\text{mm}]$$

Der Krümmungsparameter B1 der negativen e-Funktion ist i.d.R durch Eichung zu bestimmen. Andernfalls kann er (nach [IHH, 1989]) auch zu

$$B1' = - \frac{100}{\ln\left(\frac{0,5}{AV_0}\right)} \quad [-]$$

gesetzt werden, d.h. es wird davon ausgegangen, daß bei VN21 = 100 mm der Anfangsverlust noch 0,5 mm beträgt.

Die **effektive Gesamtniederschlagshöhe** ergibt sich dann zu

$$h_{Ne} = \frac{(h_N - AV)^2}{h_N + S - AV} = \frac{(h_N - AV)^2}{h_N + 19 \cdot AV} \quad [\text{mm}]$$

Im praktischen Anwendungsfall ist der implizit enthaltene, aktuelle CN-Wert von Interesse, um beispielsweise einen Vergleich zum Systemparameter CNII zu haben:

$$CN = \frac{1270}{AV + 12,7} \quad [-]$$

Der zeitliche Verlauf des Effektivregens wird durch den **variablen Abflußbeiwert** ψ_i in Abhängigkeit der akkumulierten Niederschlagssumme SN_i bis zur Mitte des aktuellen Zeitintervalls i bestimmt:

$$\psi_i = 1 - \left(\frac{AV}{0,05 \cdot SN_i + 0,95 \cdot AV} \right)^2 \quad [-]$$

Zur Berücksichtigung der Bodenregeneration während Regenspauzen dient ein **Zwischenverlust**, der das erhöhte Wasseraufnahmevermögen des Bodens bei erneut einsetzendem Niederschlag berücksichtigen soll. Da es sich hier nur um relativ kurze Pausen innerhalb der ausgewählten Ereignisse handelt, strebt vereinfachend die Höhe des Zwischenverlustes ZV mit zunehmender Dauer der Regenspauze asymptotisch dem Wert des Anfangsverlustes AV zu:

$$ZV_i = AV - (AV - ZV_{i-1}) \cdot e^{-K_P \cdot Dt} \quad [\text{mm}]$$

mit K_P : Regenerationskonstante [1/h]
 Dt : Simulationszeitschritt [h]
 i : laufendes Intervall über die Regenpause [-]

und $ZV_{i=0} = 0$

Die Größenordnung der zu kalibrierenden Regenerationskonstante K_P liegt nach bisherigen Erfahrungen zwischen 0,01 und 0,2/h.

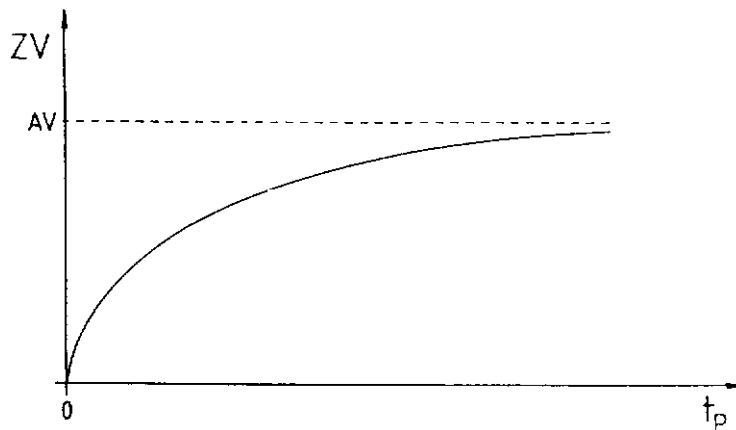


Bild 2: Aufbau des Zwischenverlustes ZV in Regenpausen (t_p)

Der entscheidende Parameter bei diesem erweiterten SCS-Verfahren bleibt der CNII-Wert, der sich bei fehlender Kalibrierungsmöglichkeit auch aus Gebietsmerkmalen ableiten lässt. Als Eingangsgrößen kommen gegenüber dem Original-SCS-Verfahren lediglich die Jahreszeit und die Niederschlagshöhen der 21 Tage vor dem Ereignis hinzu.

Beispielhaft sind in Bild 3 zwei Eichereignisse für das Einzugsgebiet des Pegels Ottweiler/Blies mit $VN_{21} = 3$ und 25 mm dargestellt, die mit den Systemparametern $CNII = 85$ und $K_P = 0,15/h$ nachgerechnet wurden ($B1 = B1'$).

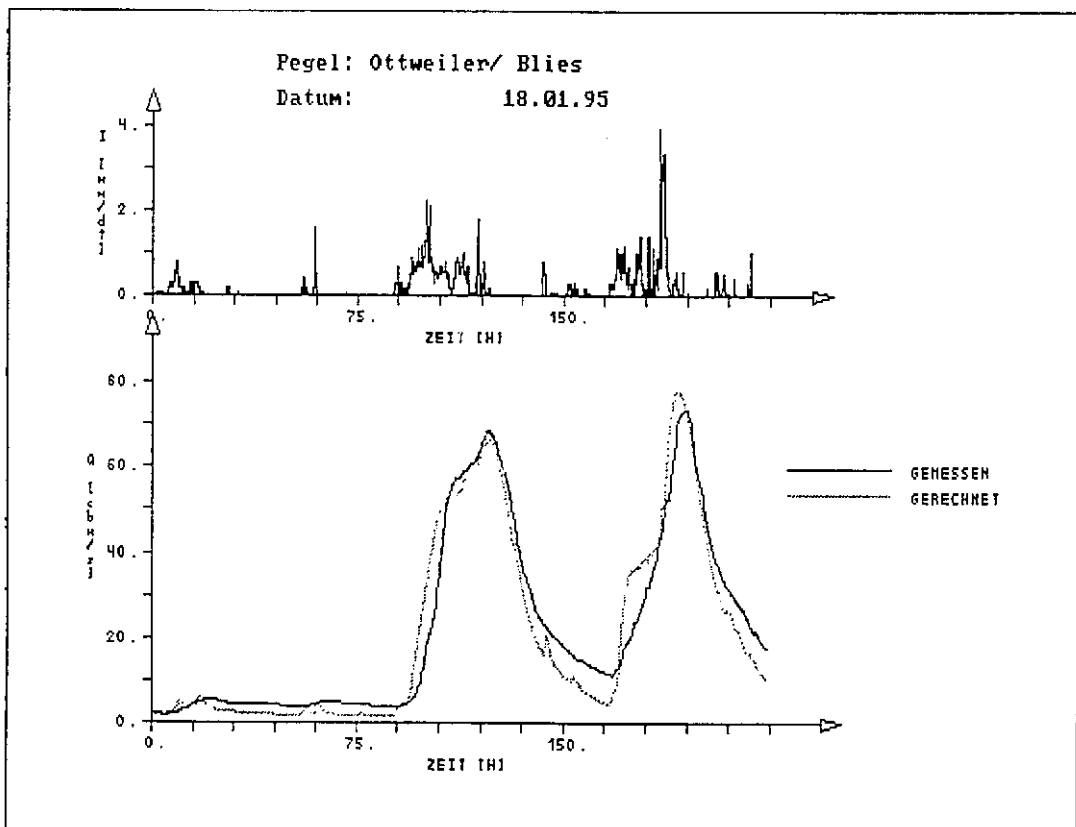
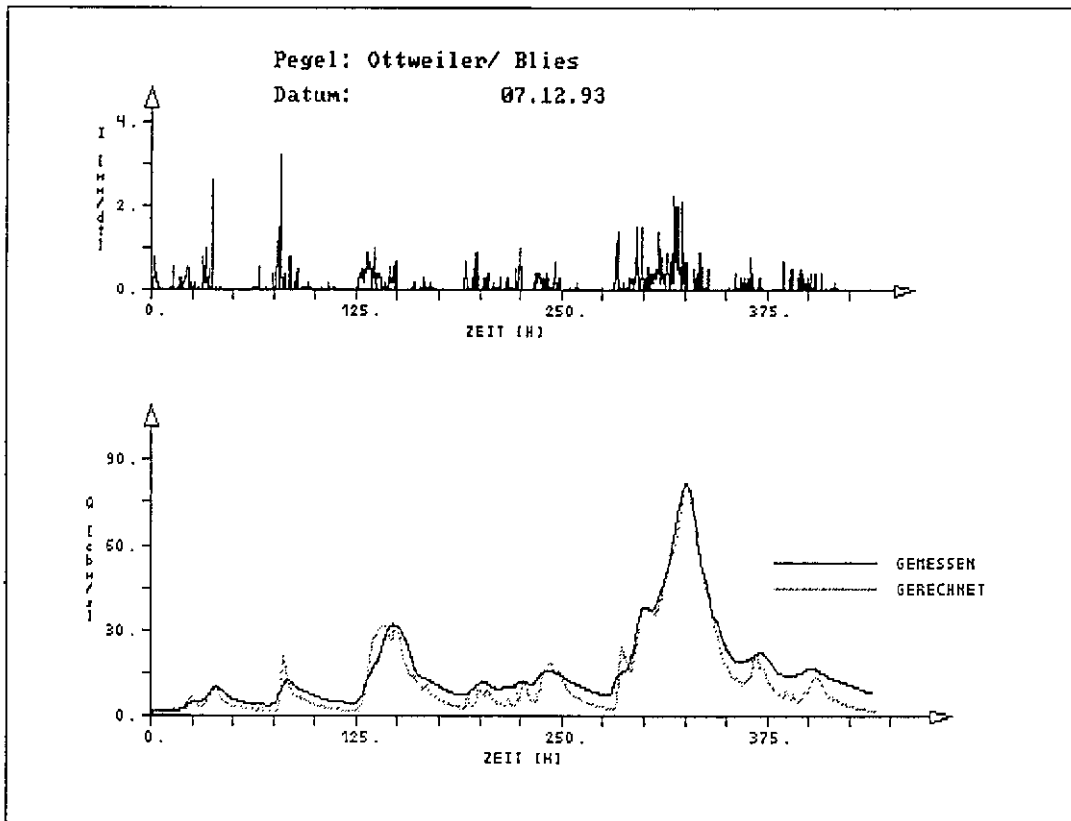


Bild 3: Eichereignisse vom Dezember 1993 und Januar 1995 für das (142 km² große) Einzugsgebiet der Blies bis zum Pegel Ottweiler

4. Fallbeispiel

Hierbei handelt es sich um eine Untersuchung aus [Schmitt et al, 1997] für das an der Saar gelegene Hochwasserpumpwerk Merzig-Straßenbrücke (vgl. Bild 4). Es dient zur Förderung der Entlastungswassermengen eines Regenüberlaufbeckens (RÜB) ab einem Saarwasserstand, der an rund 12 Tagen pro Jahr überschritten wird. In der übrigen Zeit kann die Entlastung im freien Gefälle erfolgen. Das Einzugsgebiet des Beckens besteht aus einer 94 ha großen, überwiegend natürlichen Fläche FN und einer knapp 21 ha großen Kanalnetzfläche FK (undurchlässiger Anteil knapp 10 ha). Das Pumpwerk ist auf die Ereigniskombination aus 1-jährlichem Zufluß und 200-jährlichem Saarwasserstand ausgelegt.

Die Aufgabenstellung bestand u.a. aus der Bestimmung der hydraulischen Versagenswahrscheinlichkeit. Dieser Fall tritt bei Zuflüssen auf, die die Kapazität der (vier) Pumpen überschreiten, mit der noch gegen ein gleichzeitiges Saarhochwasser gefördert werden kann. Dazu wurde eine LZS für das gesamte Einzugsgebiet durchgeführt und die so berechneten Überlaufganglinien zeitgerecht den Aufzeichnungen der nahegelegenen Saarpegel Fremersdorf und Mettlach gegenübergestellt (Zeitraum 1970 bis 1995).

Die verwendete Niederschlagsreihe wurde aus den digitalisierten Daten des ca. 23 km entfernten Schreibers Wawern gebildet, die auf einen örtlichen Messer abgeglichen wurden (anschließende Starkregenstatistik als Plausibilitätskontrolle). Hieraus wurden dann mittels den Kriterien aus Kap. 2 die Einzelereignisse ausgewählt. Es ergaben sich rund 10 Ereignisse pro Jahr, die u.a. alle maßgebenden Saarhochwasser beinhalteten. Aufgrund der Erfahrungen mit nahegelegenen Einzugsgebieten wurden die Abflußbildungsparameter (der durchlässigen Flächen) zu $CNII = 75$ und $K_P = 0,1/h$ gewählt ($B1 = B1'$). Die so simulierte Pumpeneinsätze konnten zudem an (rund 10 Jahre umfassenden) Aufzeichnungen aus Betriebstagebüchern abgesichert werden.

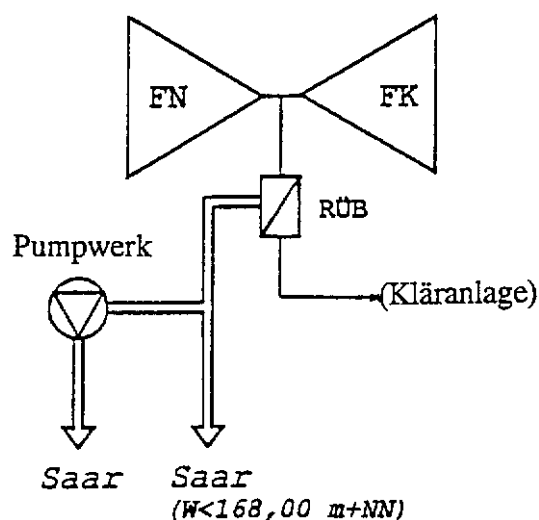


Bild 4: Systemskizze für das Modell des Hochwasserpumpwerks Merzig

Erwartungsgemäß ergab sich während dieses 26 Jahre umfassenden Simulationszeitraumes kein Versagensfall. Eine überschlägliche statistische Extrapolation der aufgetretenen Ereigniskombinationen ergab, daß die Pumpenkapazität während kritischer Saarwasserstände seltener als einmal in 1000 Jahren überschritten wird. Auch wenn eine solch weitreichende Extrapolation streng genommen unzulässig ist, wurde doch offensichtlich, daß die Gefährdung des Pumpwerks durch äußere Überschwemmung (ab ca. HW₂₀₀) weit größer ist, als durch eine hydraulische Überlastung der Pumpen.

5. Zusammenfassung

Es wurden Kriterien zur Ereignisauswahl und Modellkalibrierung sowie ein bewährter Abflußbildungsansatz für die Langzeit-Seriensimulation vorgestellt. Der auf dem SCS-Verfahren aufbauende Ansatz zeichnet sich durch einen eindeutigen Vorgeschichts- und Jahreszeitbezug, durch das vom DVWK empfohlene interne Verlustverhältnis (von 0,05), durch einen variablen Abflußbeiwert (in Abhängigkeit der aktuell akkumulierten Niederschlagshöhe) sowie durch Zwischenverluste in Regenspausen aus. So können u.a. auch aus relativ kleinen Eichereignissen die Systemparameter gewonnen werden. Letztlich wurde ein reales Anwendungsbeispiel vorgestellt.

Literatur

ATV - Abwassertechnische Vereinigung e.V. (1985): Langzeitsimulation - Begriffsbestimmung unter Berücksichtigung besonderer Anwendungsbereiche. Arbeitsbericht der Arbeitsgruppe 1.2.6, Korrespondenz Abwasser, Heft 4

DVWK - Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1982): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil I: Analyse. Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 112

DVWK (1984): Arbeitsanleitung zur Anwendung von Niederschlag-Abfluß-Modellen in kleinen Einzugsgebieten, Teil II: Synthese. Regeln zur Wasserwirtschaft, Heft 113

DVWK (1991): Beitrag zur Bestimmung des effektiven Niederschlags für Bemessungshochwasser aus Gebietskenngrößen. Untersuchung des Fachausschusses "Niederschlag-Abfluß-Modelle", Materialien, Heft 2

IHH - Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Hydraulik (1989): Schmutzfrachtsimulationsmodell SMUSI, Version 3.0, Technische Hochschule Darmstadt

Sartor, J. (1994): Die Wahrscheinlichkeit des gleichzeitigen Auftretens maßgebender Abflußereignisse in Kanalisationsnetzen und natürlichen Gewässern. Berichte des Fachgebiets Wasserbau und Wasserwirtschaft der Universität Kaiserslautern, Heft 3

Sartor, J. (1996): Weiterentwicklung der Langzeit-Seriensimulation des Niederschlag-Abfluß-Prozesses für kanalisierte und natürliche Einzugsgebiete. Wasserwirtschaft, Heft 5

Schmitt, T. G.; Sartor, J.; Zettl, U. (1997): Gutachten zur Betriebssicherheit von Pumpwerken im Auftrag des Abwasserverbandes Saar, Universität Kaiserslautern (unveröffentlicht)

Zaiß, H. (1989): Simulation ereignisspezifischer Einflüsse des Niederschlag-Abfluß-Prozesses von Hochwasserereignissen kleiner Einzugsgebiete mit N-A-Modellen. Technischer Bericht des Instituts für Ingenieurhydrologie und Hydraulik, TH Darmstadt, Nr. 42

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.-Ing. Joachim Sartor
Fachhochschule Trier, FB 2
Schneidershof
54293 Trier

*veröffentlicht in „Berichte des Fachgebietes Wasserbau und Wasserwirtschaft“,
Universität Kaiserslautern, Heft 9, 1999*