

Neue zeitasymmetrische Ansätze zur Berechnung von Niederschlagsabflüssen

R. Tandler, M. Wagner

Zusammenfassung

Die korrekte Ermittlung von Abflüssen aus Niederschlägen gewinnt angesichts des Klimawandels besonders im Hinblick auf den Hochwasser- bzw. Überflutungsschutz immer mehr an Bedeutung. Es existiert eine Vielzahl von Methoden zur Niederschlags-Abfluss-Berechnung. Zeitsymmetrische Berechnungsansätze dängen zunehmend in den Vordergrund. Diese sind jedoch in vielerlei Hinsicht zu aufwändig, komplette städtische Mischwassernetze überdeckend zu modellieren und werden deshalb hauptsächlich nur dort eingesetzt, wo gewisse Schwachstellen bekannt sind. Deshalb werden lokale Zufluss-gebiete nach wie vor in herkömmlicher Weise hydrologisch zeitasymmetrisch betrachtet. Dabei wird dem lokalen Abflussgeschehen kleinräumig im Wesentlichen Rückstaufreiheit unterstellt, so dass die gängigen hydrologischen zeitasymmetrischen Abflussmodelle als Ausgangsgröße zu einem zeitsymmetrischen Simulationsverfahren eine ausreichende Genauigkeit aufweisen. Allerdings weisen die gängigen hydrologischen zeitasymmetrischen Berechnungsverfahren physikalische Ungeheimtheiten auf. Deshalb wird hier ein neues Verfahren vorgestellt, das den physikalischen Gegebenheiten besonders im Vorfeld von hydrodynamischen Kontinuum Simulationen besser gerecht wird.

Einführung

Dieser Artikel ist eine Zusammenfassung einer Bachelorarbeit, in der dieses neue Rechenverfahren verifiziert und auch parametrisiert wurde. Er befasst sich jedoch nur mit der Verifizierung des neuen Verfahrens. Die Ergebnisse bestätigen, dass das neue Verfahren eine in vieler Hinsicht zutreffendere und wirklichkeitsnähere Abbildung für das Niederschlags-Abfluss-Geschehen darstellt, als das herkömmliche „alte“ Verfahren, z.B. das SCS-Verfahren.

Es wurden und werden immer neue Methoden zur Abflussberechnung für verschiedenste Aufgabenstellungen entwickelt. Aufgrund immer leistungsfähigerer Computer entstanden in den letzten Jahrzehnten immer detailliertere Berechnungsmethoden, die unter dem Begriff der Niederschlags-Abfluss-Modelle (kurz: N-A-Modelle) zusammengefasst werden.

Für alle Methoden zur Abflussermittlung aus Niederschlägen ist bezeichnend, dass sie den Zusammenhang zwischen Niederschlag und dem daraus resultierenden Abfluss mehr oder minder wirklichkeitsnah mathematisch zu beschreiben versuchen. Sie stellen Näherungsverfahren dar, bei denen gewisse Vereinfachungen (z.B. homogener Bodenkörper oder gleichmäßige Niederschlagsverteilung über ein Einzugsgebiet) getroffen werden müssen. Außerdem müssen maßgebliche klimatische, topographische und physikalische Einflüsse auf den Niederschlagsabflussvorgang berücksichtigt werden [1]

In diesem Aufsatz geht es jedoch nicht um großräumige Betrachtungen ganzer Kanalnetze, sondern um die vielen kleinen lokalen Zuflüsse zu den Kanälen von den Hausdächern, Grundstücken oder Straßen. Der Transport des gesamten Mischwassers, wenn all diese lokalen Einzugsgebiete im Kanalnetz zusammenfließen, ist hier nicht Thema der Untersuchung. Dies wurde mit der Darstellung des komplexen Parallelschrittverfahrens [2] bereits dargestellt und ist seit langer Zeit auch im praktischen Einsatz. Um die Unterschiede der beiden Verfahren verstehen zu können, müssen zunächst die Grundzüge der Abflussberechnung erläutert werden. Grundsätzlich lässt sich die Abflussberechnung der Niederschlags-Abfluss-Modelle in zwei Teilbereiche gliedern [1]

- Zeitasymmetrische Erfassung des Oberflächenabflusses (**Oberflächenabflussmodell**)
- Zeitsymmetrischer Abflusstransport im Kanalnetz (**Transportmodell**)

Thema dieser Arbeit ist nur erstgenannter Unterpunkt

Im Oberflächenabflussmodell wird die durch den Niederschlag resultierende Abflussganglinie eines kleinräumigen Einzugsgebietes zu den einzelnen Haltungen im Kanalnetz berechnet. Dabei wird grundsätzlich zwischen dem Prozess der Abflussbildung und der Abflusskonzentration unterschieden. Unter Abflussbildung wird die Umwandlung des gefallen Niederschlags, unter Berücksichtigung aller durch die Oberfläche bedingten Verluste, in den sogenannten abflusswirksamen Niederschlag verstanden [1]. Für den abflusswirksamen Niederschlag ist auch die Bezeichnung „Effektivniederschlag“ gebräuchlich. Er entspricht dem Anteil des Niederschlags, der auch wirklich zum Abfluss gelangt. Im Prozess der Abflusskonzentration wird anschließend aus dem abflusswirksamen Niederschlag die am Tiefpunkt des betrachteten Einzugsgebietes entstehende, in das Kanalnetz fließende Abflussganglinie ermittelt [3].

Die im Oberflächenabflussmodell ermittelte Abflussganglinie des Einzugsgebietes gelangt nun als seitlicher Zufluss in den angeschlossenen Kanal.

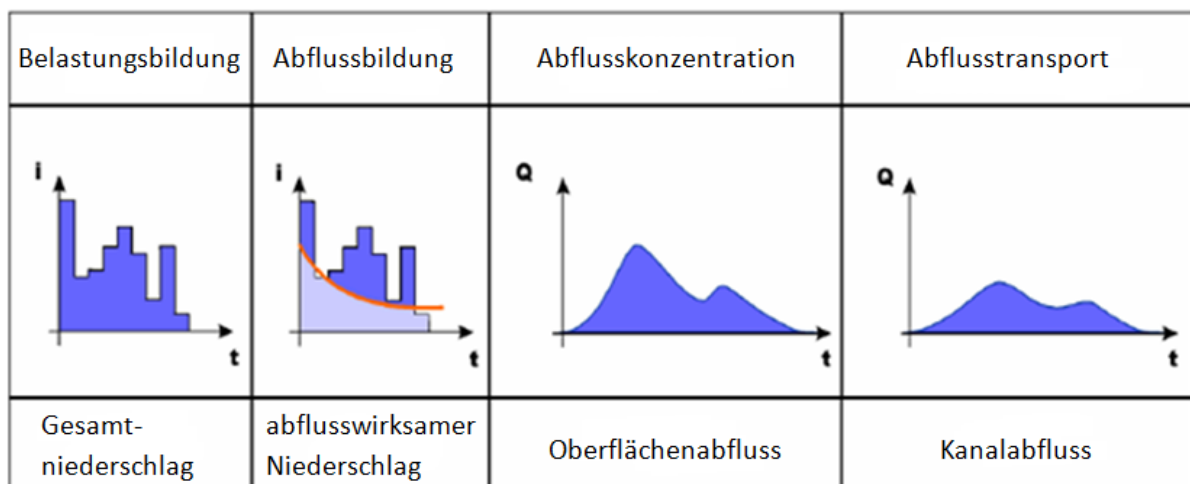


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Teilprozesse der Niederschlags-Abfluss-Berechnung, verändert nach [4]

Da im Kanalnetz viele Teilgebietsabflüsse sich überlagern muss man sich das vierte Bild der Abbildung 1 je nach Ort im Kanalnetz entsprechend vergrößert vorstellen.

Grundlagen der Abflussbildung

In Niederschlags-Abfluss-Modellen erfolgt die Beschreibung des Prozesses der Abflussbildung mittels Verlustratenansätze. Dies stellt eine komplexe Betrachtungsweise der Verluste dar. Hierbei wird zwischen mehreren Verlustarten unterschieden [3]

- Benetzungs- bzw. Anfangsverlust [mm]
- Muldenverlust [mm]
- Dauerverlust (enthält Verdunstungsverlust [$l/(s \cdot ha)$])
- Versickerungsverlust [$l/(s \cdot ha)$]

Benetzungs- und Muldenverluste werden als Speicher angesehen, die sich während eines Niederschlagsereignisses füllen. Daher auch die Einheit mm. Der Dauer- bzw. Versickerungsverlust gibt Aufschluss, wie viel Regenwasser in einer gewissen Zeit auf einer Fläche verdunstet bzw. versickert. Der Benetzungsverlust tritt nur zu Beginn eines Niederschlagsereignisses auf, weswegen von einem reinen Anfangsverlust gesprochen wird. Anfangsverluste sind zeitunabhängig, d.h. wenn die Oberfläche komplett mit Regenwasser benetzt ist verändern sich diese während eines Niederschlagsereignisses nicht mehr. Nach einem Niederschlagsereignis erfolgt eine Abtrocknung der benetzten Oberfläche durch Verdunstung.

Unter Muldenverlust wird die Füllung der oberflächlichen Speicher (= Mulden) verstanden. Bei fortschreitender Niederschlagsdauer füllen sich die Mulden bis zur Vollfüllung, wo sie nichts mehr aufnehmen kann. Allgemein ist eine Mulde umso aufnahmefähiger je kleiner ihr Füllungsgrad ist.

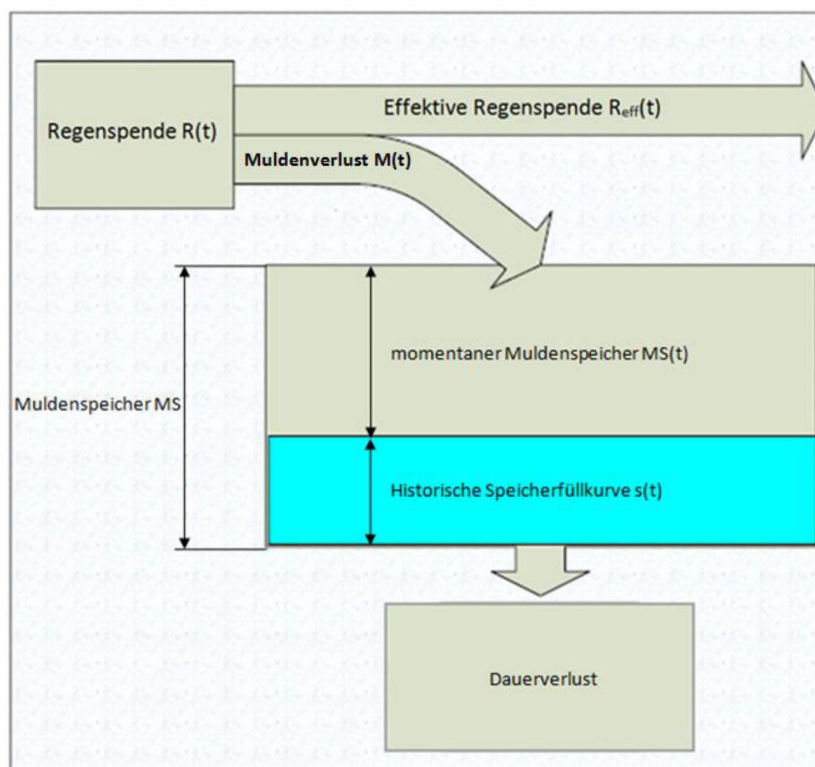


Abbildung 2 Schematische Darstellung der Teilprozesse der Niederschlags-Abfluss-Berechnung

Der Muldenverlust ist abhängig von Flächenart und Neigung des Einzugsgebietes. In niederschlagsfreien Perioden findet eine Regeneration des Muldenverlustes statt. Dies geschieht auf undurchlässigen Flächenteilen mittels Verdunstung und auf durchlässigen Flächenteilen ebenfalls durch die Verdunstung und zusätzlich durch die Versickerung. Jede Einzugsgebietsfläche besteht aus unterschiedlich verteilten undurchlässigen Flächenteilen, die sich zusammen mit den durchlässigen Flächenteilen zur Gesamtfläche ergänzen. Diese Verteilung ist flächenindividuell.

Der Dauerverlust wirkt, wie die Bezeichnung bereits vermuten lässt, kontinuierlich während des gesamten Regenereignisses bei beiden Flächenarten. In Niederschlags-Abfluss-Modellen wird er oft vereinfachend mit einem konstanten Wert angenommen. Er umfasst all diejenigen Verluste, die nach vollständiger Abdeckung des Benetzungs-, Mulden- und Versickerungsverlustes noch wirksam sind. Einen Großteil der unter dem Begriff Dauerverlust fallenden Verluste macht die Verdunstung bzw. Endversickerung bzw. analog der K_f -Wert aus. Deshalb wird der Dauerverlust der Oberfläche auch öfters nur als Verdunstungsverlust bezeichnet.

Die genannten Verlustarten (Benetzungs-, Mulden- und Dauerverlust) wirken bei durchlässigen (z.B. Grünflächen, Gärten, etc.) und undurchlässigen Flächen (z.B. Asphalt, Dächer, etc.). Für durchlässige Flächenteile wird die Verlustbetrachtung noch komplexer, da hierbei noch die Versickerung (Infiltration) berücksichtigt werden muss. Wie der Muldenverlust ist auch der Versickerungsverlust ein sich zeitlich verändernder Prozess. Mit den Berechnungsparametern nach Horton () (Anfangsversickerung, Endversickerung und Rückgangskonstante kann auch äquivalenter Ansatz mit dem Bodenspeicher in mm verwendet, wonach die jeweils aktuelle Versickerung des Niederschlagsabflusses jeweils proportional (mit der Rückgangskonstante als Proportionalitätsfaktor) dem verfügbaren Restbodenspeicher ist (Analog Abb. 2 nur statt Bodenspeicher statt Muldenspeicher).

Grundlagen der Abflusskonzentration

Wie bei der Abflussbildung werden undurchlässige und durchlässige Flächen getrennt betrachtet. Für jede dieser Flächen wird eine Abflussganglinie ermittelt. Die beiden Abflussganglinien aus dem undurchlässigen bzw. durchlässigen Flächenteil werden darauf zu einer Gesamtabflussganglinie des jeweiligen Einzugsgebietes zusammengefasst. Diese Gesamtabflussganglinie ist anschließend Grundlage für die Berechnung des Kanalabflusses. In diesem Konstrukt spiegelt sich die Nichtlinearität des Oberflächenabflussprozesses, durch die Kalibrierungen erschwert werden. Deshalb werden fälschlicherweise durchlässige Flächenteile oft abgekoppelt.

Bei der Transformation des abflusswirksamen Niederschlags in eine Abflussganglinie erfolgt eine zeitliche Verschiebung (Translation) aufgrund der Fließzeit, sowie eine Verformung der Abflussganglinie durch die Speicherwirkung bzw. durch Verzögerungseffekte des Gebiets (Retention) [5]. Diese beiden Effekte müssen unbedingt berücksichtigt werden.

Generell ist anzumerken, dass die auf der Oberfläche stattfindenden physikalisch komplexen Fließvorgänge nur annäherungsweise abgebildet werden können, zumal auch die benötigten Oberflächendaten zumeist sehr unterschiedlich genau vorhanden sind.

KANAL++DYNA verwendet eine Transformation, um das Verhalten zwischen Effektivniederschlag und der daraus resultierenden Abflussganglinie darzustellen. Außerdem kann zwar die Höhe der Gesamtverluste durch eine Bilanzierung (Niederschlag = abflusswirksamer Niederschlag + Verlust) erfolgen, jedoch kann keine Aussage bezüglich der zeitlichen Verteilung der Verluste getroffen werden [5]. Daher wird im Regelfall auf Speichermodelle zur Ermittlung der Transformationsregel zurückgegriffen.

Speichermodelle werden mit einer vorgegebenen mathematischen Funktion folgender Systeme dargestellt [6]:

- linearer Einzelspeicher
- lineare Speicherkaskade
- Parallelspeicher(kaskade)
- nichtlineare Speichermodelle

Nachfolgend wird das Prinzip des Einzellinearspeichers erläutert, da dies auch Bestandteil der dynamischen Kanalnetzrechnungssoftware DYNA ist. Es konnte auch festgestellt werden, dass durch die Variabilität der Parameter innerhalb der Speicherkonstanten K (s.u.) auf mehrere Kaskaden verzichtet werden kann.

Linearer Einzelspeicher

Der Vorstellung nach verhält sich das Einzugsgebiet wie ein Speicher, der mit einer gewissen Wassermenge $Q_{zu}(t)$ als Zufluss gespeist wird und diese als gedrosselten Abfluss $Q_{ab}(t)$ wieder abgibt.

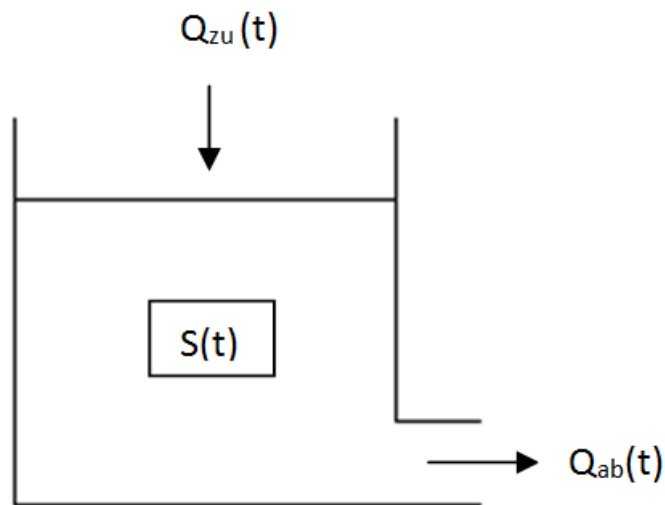


Abbildung 3: Einzellinearspeicher

Es ergibt sich eine proportionale Beziehung zwischen Speicherinhalt $S(t)$ und dem Abfluss aus dem Speicher $Q_{ab}(t)$. Diese Proportionalität wird mit einer Speicherkonstanten K definiert.

$$Q_{ab}(t) = \frac{1}{K} * S(t) \quad (1)$$

mit:

$Q_{ab}(t)$ [l/s] : Abfluss zur Zeit t

K [min] : Speicherkonstante

$S(t)$ [l] : momentaner Speicherinhalt zum Zeitpunkt t

Eine detaillierte Herleitung der sich durch den Einzellinearspeicher ergebenden Übertragungsfunktion ist der einschlägigen Fachliteratur [3] zu entnehmen. Die Übertragungsfunktion des linearen Einzelspeichers besteht für einen Blockregen mit der Dauer Δt aus 2 Lösungsabschnitten. Während der Regendauer steigt $Q(t)$ e-funktional bis zum Erreichen eines Maximalwertes am Ende des Blockregens ($t = \Delta t$) an (Gleichung 2). Anschließend nimmt $Q(t)$ e-funktional ab (Gleichung 3). Nachfolgend sind die zwei Gleichungen aufgezeigt.

$$Q(t) = \frac{I_{eff} * A_E}{\Delta t} * \left(1 - e^{-\frac{t}{K}}\right) \quad (2)$$

$$Q(t) = \frac{I_{eff} * A_E}{\Delta t} * \left(e^{-\frac{\Delta t - t}{K}} - e^{-\frac{t}{K}}\right) \quad (3)$$

Es bedeuten:

$Q(t)$ [l/s] : Abfluss pro Zeiteinheit (= Abflussganglinie)
 $I_{\text{eff}}(t)$ [mm/min] : Effektivniederschlagsintensität zurzeit t
 A_E [ha] : Einzugsgebietsfläche
 t [min] : Zeit
 K [min] : Speicherkonstante
 Δt [min] : Dauer des Blockregens

Mit diesen beiden Formeln (2) und (3) kann also die Einheitsganglinie für einen bestimmten Einheitsniederschlag ermittelt werden. Nachfolgende Grafik verdeutlicht den charakteristischen Verlauf der Einheitsganglinie, der sich durch die Berechnung mittels Einzellinearspeicher einstellt. Dabei befindet sich der Maximalwert bzw. Scheitelwert der Abflussganglinie immer an der Grenze des jeweiligen Niederschlagsintervalls.

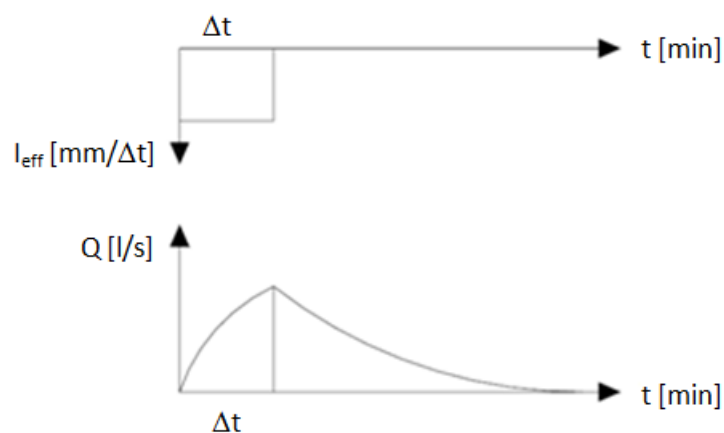


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Abflussganglinie des Einzellinearspeichers

Speicherkonstante K

Die Speicherkonstante K ist ein Maß für die Verweilzeit des Wassers im Speicher [7]. Sie stellt somit den Erwartungswert der Fließzeit einer Ganglinie auf der Einzugsgebietsoberfläche dar. Zur Ermittlung der Speicherkonstanten K gibt es 2 Möglichkeiten. Die Speicherkonstante K kann entweder aus dem absteigenden Ast gemessener Abflussganglinien geschätzt oder nach der Formel von *Neumann* ermittelt werden.

In den meisten Fällen findet die von *Neumann* empirisch ermittelte Formel Anwendung [5] [Neumann et al.; 1976]:

$$K = \frac{0,63 * L^{0,593}}{I_{\text{eff}}^{0,388} * I^{0,38} * k_{\text{st}}^{0,605}} \quad (4)$$

mit:

K [min] : Speicherkonstante entspricht Fließzeit
 L [m] : Fließlänge, als mittlerer Abstand der Flächenteile von der Haltung bzw. des Kanals
 I_{eff} [mm/min] : abflusswirksame Niederschlagsintensität
 I [%] : Gefälle der Einzugsgebietsfläche
 k_{st} [m^{1/3}/s] : Manning- Strickler - Beiwert

Man beachte, dass die jeweilige Regenintensität jedes Zeitintervalls in den K -Wert eingeht. D.h. dieser ist während eines Regens unterschiedlicher Intensitäten nicht konstant. Darüber hinaus befindet

sich in der DYNA Verfahrensbeschreibung [8] der Beweis für die Zeitschrittunabhängigkeit dieses Verfahrens, gerade bei den variablen Berechnungszeitschritten ein nicht unwesentlicheres Merkmal als bei räumlicher Diskretisierung der Einzugsgebiete.

Für detailliertere Ausführungen zur Abflussbildung und der Abflusskonzentration wird auf die gängige Fachliteratur verwiesen.

Gegenüberstellung des herkömmlichen und neuen Verfahrens

Die beiden Verfahren basieren auf unterschiedlichen wissenschaftlichen Ansätzen bezüglich der Berechnung des Oberflächenabflussmodells. In nachfolgender Tabelle sind die Ansätze hinsichtlich der Berechnungsweise des Oberflächenabflussmodells und der Wirkungsdauer der Verluste beider Verfahren dargestellt.

Tabelle 1: Ansätze des alten und neuen Verfahrens

Ansatz	Altes Verfahren	Neues Verfahren
Berechnungsweise des Oberflächenabflussmodells	Abflussbildung vor Abflusskonzentration	Abflusskonzentration vor Abflussbildung
Wirkungsdauer der Verluste	nur während der Regendauer nicht in den Trockenperioden	während des gesamten Niederschlagsabflussprozesses

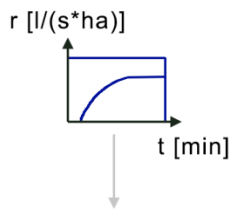
Das alte Verfahren durchläuft zuerst den Prozess der Abflussbildung und anschließend den Prozess der Abflusskonzentration. Diese Vorgehensweise des alten Verfahrens ist ein durchaus bekannter Vorgang in Niederschlagsabflussberechnungsmethoden, z.B. auch im SCS-Verfahren.

Die Methode des *U.S. Soil Conservation Service* (SCS) ist eines der weltweit am meisten eingesetzten Verfahren. Es ist u.a. in *DVWK-R-113* beschrieben.

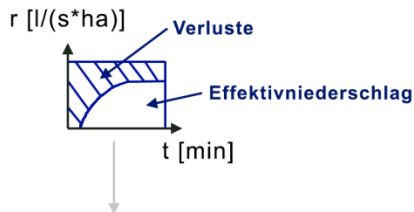
Beim neuen Verfahren ist dies genau umgekehrt. Auch die Wirkungsdauer der Verluste ist bei beiden Verfahren verschieden. Während beim neuen Verfahren die Verluste im Laufe des gesamten Niederschlagsabflussprozesses zur Geltung kommen, wirken sie beim alten Verfahren nur unter der Regendauer D , wenn $I < 0$. Um sich von diesen Berechnungsmethoden ein besseres Bild machen zu können, erfolgt eine schematische Darstellung der Berechnungsweise mit einem Blockregen für jedes Verfahren.

Die herkömmliche Verfahrensweise hat sich wohl deshalb so weit verbreitet, da man schon vor der nichttrivialen Berechnung der Abflusskonzentration die Gesamtabflussmenge feststellen kann.

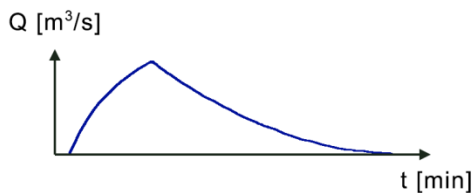
altes Verfahren:



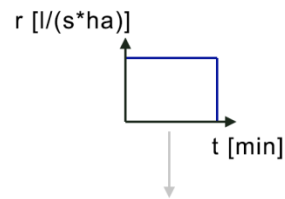
1. Abflussbildung:



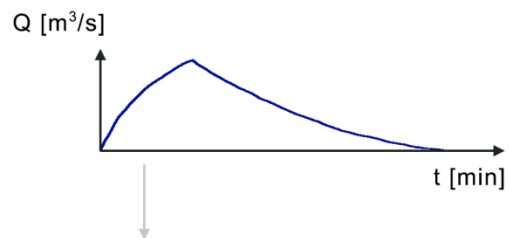
2. Abflusskonzentration:



neues Verfahren:



1. Abflusskonzentration:



2. Abflussbildung:

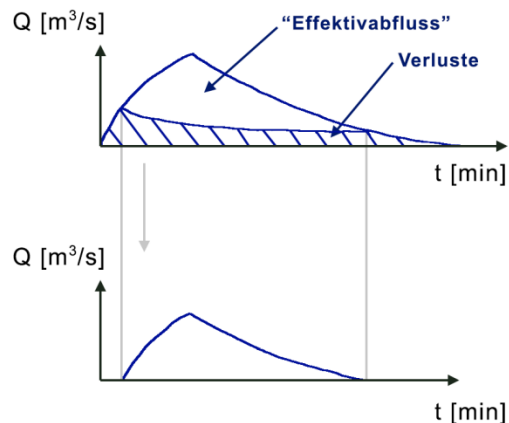


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Berechnungsweise des alten und neuen Verfahrens

Ein Kritikpunkt des alten Verfahrens ist, dass der Abfluss nie ganz Null wird. Dies ist auf die Berechnungsweise des absteigenden Astes der Abflusskurve zurückzuführen. Hierbei handelt es sich um eine e-Funktion (siehe Formel (3)). Diese nähert sich asymptotisch der Zeitachse an, so dass sie streng genommen nie Null wird. Beim neuen Verfahren wird der Abfluss tatsächlich Null. Und zwar ab dem Zeitpunkt, wenn der Abfluss kleiner als der Verlustwert wird.

Eine weitere Beanstandung des alten Verfahrens, bedingt durch die Berechnungsweise, ist die Höhe des Dauerverlustes. Der Dauerverlust sollte streng genommen nur die Verdunstung enthalten.

Für den Standardparametersatz beträgt der Dauerverlust beim alten Verfahren 1,0-1,4 l/(s*ha). Wieso der Wert in dieser Größenordnung liegt, ist schnell erklärt. Die Kalibrierung des alten Verfahrens geschah durch Abflussmessungen. Man merkte, dass für einen Wert von 1,0- 1,4 l/(s*ha) für die meisten Einzugsgebiete der richtige Abfluss aus einem Niederschlag zu erwarten ist. Vergleicht man allerdings diesen Wert mit realitätsbezogenen Verdunstungswerten, so wird schnell klar, dass dieser Dauerverlust viel zu hoch angesetzt und ggf. eher einer Überschätzung der Befestigungsgrade grober Einzugsgebiete geschuldet ist.

Weltweit ergibt sich eine durchschnittliche Verdunstung von 970 mm/Jahr, also ca. $0,31 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ [9]. Wird die Verdunstung formeltechnisch errechnet, so erreicht sie auch niemals den Wert von $1,0 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$.

Gemäß der tagesweise Verdunstungsformel nach Brandt [13] ergibt sich ein Maximalwert von $0,37 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$ am 182. Tag im Jahr (= Juni) und ein Mittelwert von $0,21 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{ha})$. Es ist also klar ersichtlich, dass sich bezüglich des Dauerverlustes des alten Verfahrens und der Realität immense Unterschiede ergeben.

Weshalb der Dauerverlust im alten Verfahren so hoch angesetzt werden muss, ist unter anderem der Wirkungsdauer der Verluste geschuldet. Der Zeitraum, in dem dieser Verlust wirksam ist, ist viel kürzer als die Zeitspanne des gesamten Niederschlagsabflussprozesses. Daher muss der Dauerverlust wesentlich höher angesetzt werden, um den während des gesamten Abflussprozesses theoretisch wirkenden Dauerverlust auszugleichen.

Die Natur verhält sich demgegenüber eher umgekehrt, da während des Niederschlags die Luftfeuchtigkeit höher ist, als nach dem Niederschlag.

Beim neuen Verfahren wirkt der Dauerverlust während des gesamten Niederschlagsabflussprozesses und nicht nur während der Regendauer. Folglich muss die Größenordnung des Dauerverlustes hierbei wesentlich geringer ausfallen, um Kalibrierungen mit dem alten Verfahren vergleichbar zu machen.

Nach diesen ersten Erkenntnissen werden die beiden Verfahren in Bezug auf Parameteränderungen analysiert und gegenübergestellt. Es wird der Abfluss eines einzelnen Einzugsgebietes, beregnet durch mehrere Blockregen, mit dem alten und dem neuen Verfahren simuliert. Das Gebiet wird als komplett durchlässig bzw. undurchlässig betrachtet. Somit ist das Abhängigkeitsverhalten beider Flächenarten ergründbar. Die Parameterwerte für den Muldenverlust, den Versickerungsverlust, den Dauerverlust und die Neigung werden jeweils für beide Verfahren und beide Befestigungsgrade variiert. Anschließend wird die jeweilige Durchflussganglinie der angeschlossenen Haltung (=Kanal) des Gebietes betrachtet. Eine Ganglinie zeigt die zeitliche Verteilung der Regenwassermenge auf. Sie gibt Informationen über die Abflussspitze, die Fließzeit und das Abflussvolumen.

Um den Rahmen dieses Artikels nicht zu sprengen, wurde an dieser Stelle auf Details der Auswertungen der Parameterveränderungen verzichtet. Sie finden sich ausführlich in [10].

Exemplarisch hier ein Beispiel für die Neigungsabhängigkeit der beiden Verfahren:

Im neuen Verfahren beeinflusst die Neigung auch innerhalb einer Neigungsklasse das Abflussvolumen. Die Verlustbetrachtung erfolgt erst, nachdem der tatsächlich gefallene Niederschlag in Abhängigkeit der Neigung in eine Abflussganglinie umgewandelt ist. Daher spielt die exakte Neigung, wenn auch indirekt, eine Rolle für die nachfolgende Abflussbildung. Der Neigungsgradient bestimmt sich aus der Lage der Fläche bezüglich der zugeordneten Haltung. D.h. ein Hausdach ist damit immer sehr steil, auch wenn es ein Flachdach hat.

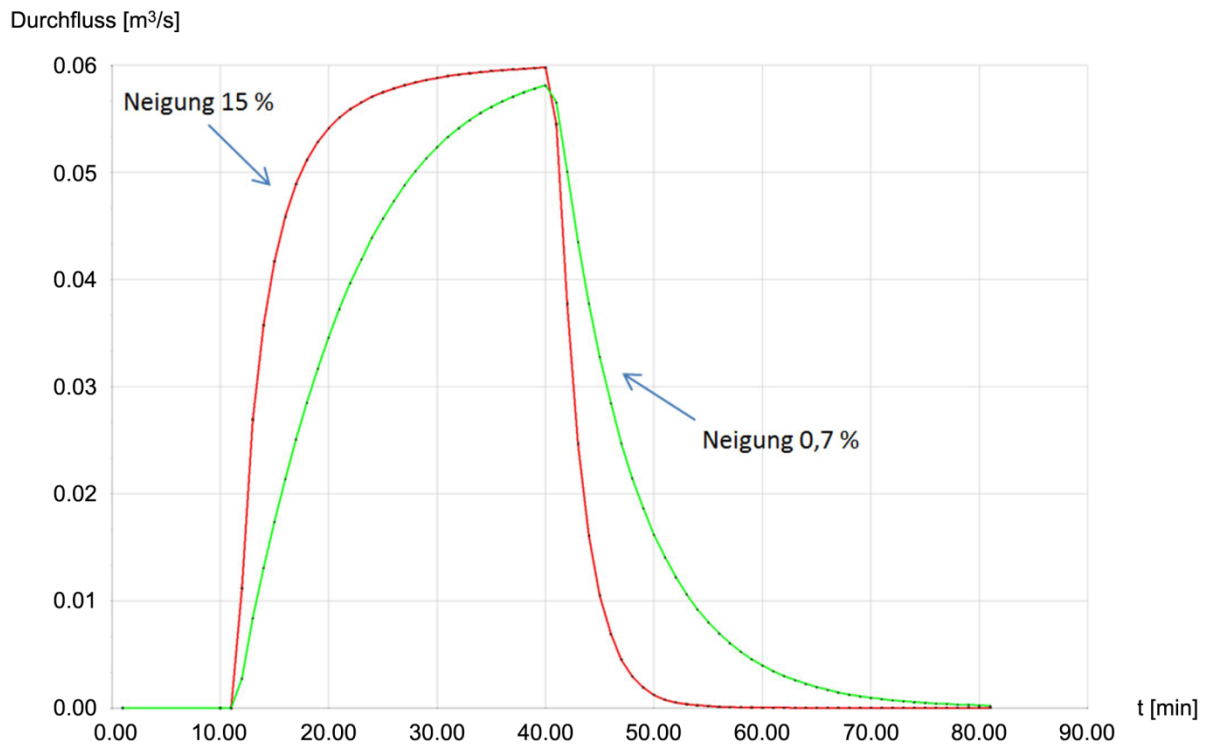


Abbildung 6: Durch das alte Verfahren simulierte Abflussganglinien mit einer Neigung von 0,7% bzw. 15 %

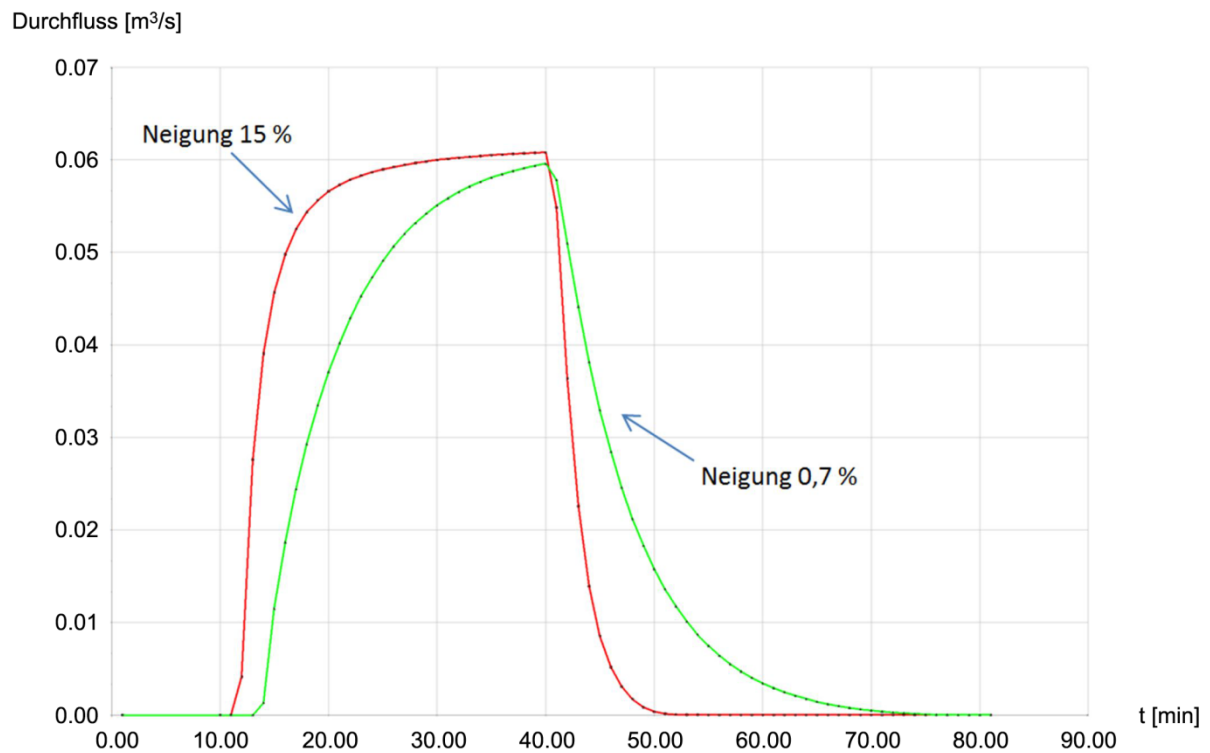


Abbildung 7: Durch das neue Verfahren simulierte Abflussganglinien mit einer Neigung von 0,7% bzw. 15 %

Die in Abbildung 6 bzw. 7 aufgezeigten Kurven unterscheiden sich im aufsteigenden sowie im absteigenden Ast der Grafen massiv voneinander. Die Neigung hat bei beiden Verfahren somit großen Einfluss auf die Form der Abflusskurve. Durch eine höhere Geländeneigung fließt im Gegensatz zu einem geringeren Gefälle eine größere Wassermenge schneller von der Gebietsoberfläche ab. Dies äußert

sich durch einen steileren Anstieg des aufsteigenden Astes der Ganglinie. Allerdings wird bei einer höheren Neigung der Abflussprozess auch eher beendet. Dieses Verhalten weist das neue sowie das alte Verfahren auf. Der entscheidende Unterschied beider Verfahren ist im Abflussbeginn zu beobachten. Es scheint, dass beim alten Verfahren die Neigung keine Auswirkung auf diesen mit sich bringt (siehe Abbildung 6).

Die Ganglinie bildet den zeitlichen Verlauf des Durchflusses in der angeschlossenen Haltung ab. Dies würde beim alten Verfahren bedeuten, dass das abfließende Wasser zum selben Zeitpunkt in den Kanal eintritt, egal ob es sich um ein flaches oder ein sehr steiles Einzugsgebiet handelt. Dies entspricht nicht der Realität. Bei steileren Gebieten fließt das Wasser deutlich schneller ab als bei flacheren. Aufgrund der durch eine größere Neigung bedingten erhöhten Fließgeschwindigkeit des Oberflächenabflusses muss also das Wasser früher im Kanal eintreffen als bei einer geringeren Neigung. Dieser Sachverhalt wird beim alten Verfahren außer Acht gelassen.

Wogegen beim neuen Verfahren der zeitliche Eintritt des Wassers in die Haltung sehr wohl neigungsabhängig ist. Laut Abbildung 7 beginnt bei einer Neigung von 15 % das Wasser sich früher im Kanal zu sammeln als bei einer Neigung von 0,7 %, was zu einer Verzögerung des Beginns der Durchflussganglinie führt.

Ergebnisse und Diskussion

Dass die Verluste beim alten Verfahren nur während der Regendauer wirken, entspricht keineswegs der Realität. Das würde ja bedeuten, dass nur solange es regnet z.B. die Verdunstung wirkt. Gerade während der Trockenperioden gäbe es somit keine Verdunstung, wobei sich die Wirklichkeit eher umgekehrt verhält. Es ist allgemein bekannt, dass auch nach einem Regenereignis die Verdunstung wirkt. Und dies sogar mit einem höheren Wert als binnen eines Niederschlags. Außerdem würden auch die Versickerungsprozesse abrupt mit Regenende stoppen, was selbstverständlich in der Realität nicht der Fall ist.

Das neue Verfahren wird der Realität bezüglich der Wirkungsdauer in dem Sinne gerecht, dass die Verluste während des gesamten Niederschlagsabflussprozesses zur Geltung kommen. Das heißt, sie wirken unter dem Regenereignis und darüber hinaus bis alles Wasser von der Oberfläche abgeflossen ist. Da der Dauerverlust beim neuen Verfahren aufgrund der längeren Wirkungsdauer (Oft mehr als Faktor 2) der Verluste geringer sein muss als beim alten Verfahren, ist klar, dass der Parameter des Dauerverlustes beim alten Verfahren um mehr als Faktor 2 überschätzt werden musste, um bei Kalibrierungen nicht vollends daneben zu liegen. Aus diesem Grund kann von einer realitätsnahen bzw. im Gegensatz zum alten Verfahren realitätsnäheren Berechnungsvariante für den Niederschlags-Abflussprozess gesprochen werden. Dies zeigen auch die Erfahrungswerte der tandler.com GmbH mit den Kalibrierungsanstrengungen seiner Kunden beim Durchführen größerer Projekte.

Auch der Sachverhalt, dass beim alten Verfahren der Abfluss, sei er auch noch so gering, niemals Null wird, spiegelt nicht die Wirklichkeit wieder. Dies würde bedeuten, dass die Straßen bzw. Grünflächen nach einem Regenereignis niemals trocken sein würden. Jedoch sind die Oberflächen in der Realität natürlich irgendwann wieder komplett trocken. Vor allem bei Langzeitsimulationen kann dies entscheidend ins Gewicht fallen. Das neue Verfahren entspricht dadurch, dass der Abfluss tatsächlich Null wird, der Wirklichkeit und stellt auch in diesem Punkt eine realitätsnähere Methode für die Niederschlags-Abfluss-Berechnung dar als das alte Verfahren dar.

Laut den Untersuchungen bezüglich der Reaktion beider Verfahren auf Parameteränderungen verhalten sich beide Verfahren im Großen und Ganzen relativ ähnlich. Wäre dies nicht so, müsste die Berechnungsweise des neuen Verfahrens in Frage gestellt werden. Jedoch finden sich gewisse geringe Unterschiede, die kurz noch einmal Erwähnung finden.

Das neue Verfahren berücksichtigt im Gegensatz zum alten Verfahren bei Neigungsvariation auch einen zeitlichen Versatz des Fließbeginns. Ergänzend hierzu resultiert auch aus einer Veränderung des Mulden- bzw. Bodenspeichers bei der neuen Methode eine im Gegensatz zur alten Methode größere Verzögerung des Abflussbeginns.

Die Dauerverlustvariation für undurchlässige Flächen bringt bei beiden Verfahren eine Veränderung des aufsteigenden Astes der Abflussganglinie mit sich. Wogegen bei der neuen Methode auch noch zusätzlich der absteigende Ast beeinflusst wird. Da die Verdunstung in der Realität während des gesamten Abflussprozesses wirkt, muss natürlich auch der absteigende Ast bei Dauerverlustvariation beeinflusst werden.

Ein weiterer Grund für eine wirklichkeitsnähere Berechnungsweise bezüglich des neuen Verfahrens ist, dass hierbei sich die Abflussmenge auch innerhalb von Neigungsklassen verändert und nicht wie beim alten Verfahren konstant bleibt.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass das neue Verfahren wegen der besseren Anlehnung an die Realität einer in vieler Hinsicht wirklichkeitsnäheren Betrachtungsweise für die Niederschlags-Abfluss-Berechnung als das alte Verfahren entspricht, ohne den Umfang der Eingabeparameter zu erhöhen.

Mit der zunehmenden Anforderung an die Genauigkeit und Wirklichkeitsnähe der Kanalnetzrechnungen im Hinblick auf Überflutung und Schmutzfracht steigt die Notwendigkeit hydrodynamische zeitsymmetrische Langzeitsimulationen durchzuführen, mit denen beide Aspekte der Auswertung gleichzeitig zum Tragen kommen. Hier ist es wichtig Naturregen-Kontinuum bzw. Gebietsregen-Kontinuum in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge für möglichst lange Zeiträume nachzurechnen. Auch für Aussagen für das Verhalten der Netze in Bezug auf den Klimawandel ist dies ein Gebot der Stunde. [11]

Hierzu eignen sich die alten Verfahren (z.B. das SCS-Verfahren [12]) nicht. Der einzige Nachteil des neuen Verfahrens ist, dass die Gesamtabflussmenge erst nach Durchführung beider Komponenten (Abflussbildung/Abflusskonzentration) der Abflussberechnung bekannt ist. Dies sollte jedoch im IT-Zeitalter kein ausreichendes Hindernis mehr dafür sein, eine zutreffendere Theorie über das Abflussverhalten von Niederschlägen zu favorisieren.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ansätze des alten und neuen Verfahrens	7
---	---

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Teilprozesse der Niederschlags-Abfluss-Berechnung, verändert nach [4]	2
Abbildung 2: Abflussbildung schematische Darstellung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 3: Einzellinearspeicher	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4: Schematische Darstellung der Abflussganglinie des Einzellinearspeichers	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Berechnungsweise des alten und neuen Verfahrens	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 6: Abflussvolumen des alten und neuen Verfahrens in Abhängigkeit der Neigung	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 7: Durch das alte Verfahren simulierte Abflussganglinien mit einer Neigung von 0,7% bzw. 15 %	10

Abbildung 8: Durch das neue Verfahren simulierte Abflussganglinien mit einer Neigung von 0,7% bzw. 15 %..... 10

Zitierte Arbeiten / Literaturverzeichnis

- [1][Althaus; 1984] Vergleich von Modellregen zur Kanalnetzberechnung, Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Hannover, Hannover, 1984
- [2][R.Tandler] Sonderdruck aus "KA Korrespondenz Abwasser, Abfall", Heft 1011994, "Ansätze für eine parallele Überstauberechnung von Kanalnetzen"
- [3][Sieker et al.; 1987] Arbeitsbericht ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6: „Hydrologie in der Stadtentwässerung" gemeinsam mit dem DVWK: Die Berechnung des Oberflächenabflusses in Kanalnetzmodellen, Teil 2 - Abflusskonzentration, Korrespondenz Abwasser, 1987, Heft 3
- [4][Engel; 2006] Vorgaben zur hydraulischen Berechnung, 6. Göttinger Abwassertage, Göttingen, 2006 [DYNA; 2013] Handbuch des Programmsystems DYNA, Komplexes Parallelschrittverfahren: Verfahrensbeschreibung, 2013
- [5] [Neumann et al.; 1976] Der Niederschlagsabfluß in städtischen Einzugsgebieten, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, Technische Universität München, Band 11, München, 1976
- [6] [Valentin; 2009] Abwasserableitung: Bemessungsgrundlagen, Regenwasserbewirtschaftung, Fremdwasser, Netzsanierung, Grundstücksentwässerung, 2. unveränderte Auflage, Universitätsverlag Weimar, Weimar, 2009, ISBN-10: 3-86068- 283-0
- [7] [Ostrowski et al.; 2013]
- [8] [Tandler DYNA; 2014] Handbuch des Programmsystems DYNA, Komplexes Parallelschrittverfahren: Verfahrensbeschreibung, 2014
- [9][Baumgartner et al.; 1975] Die Weltwasserbilanz. Niederschlag, Verdunstung und Abfluß über Land und Meer sowie auf der Erde im Jahresdurchschnitt, R. Oldenbourg Verlag München, München, 1975, ISBN-10: 3-486-34751-9
- [10] [Wagner,2014] Herkömmliche hydrologische Berechnungsmethoden zur Simulation des Niederschlagsabflusses auf der Oberfläche und Darstellung eines alternativen Verfahrens und dessen Parametrisierung als Grundlage moderner Kanalnetz- und Gewässereinzugsgebietsberechnungen
- [11][R.Tandler,2011] "Reduzierung von Schmutzfrachtausträgen mit einfachen Einbauten und deren ökologischer und sicherheitstechnischer Nachweis"
- Artikel in "KA Korrespondenz Abwasser, Abfall" 58. Jahrgang, Nr.3, März 2011, Seite 226-236

[12][ATV-DVWK-M 165, 2004] Anforderungen an Niederschlag-Abfluss-Berechnungen in der Siedlungsentwässerung

[13] [Brandt; 1981] Kontinuierliche Abflussgangliniensimulation, Wasser und Boden, Heft 1, 1981