

Außengebietsabflüsse bei Starkregen

Marc Illgen¹, Steven de Priest²

¹Hochschule Kaiserslautern; ²Dahlem Beratende Ingenieure, Darmstadt

Kurzfassung: Zukünftig wird es erforderlich sein, den potenziellen Außengebietszuflüssen zum Siedlungsgebiet eine stärkere Aufmerksamkeit zu schenken – insbesondere im Kontext des kommunalen Starkregenrisikomanagements. Die Quantifizierung der Abflüsse ist jedoch mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden. Es mangelt an u. a. Orientierungswerten zu Abflussbeiwerten, Abflussspenden und Parameterwerten für die unterschiedlichen Berechnungsansätze. Im Rahmen einer Simulationsstudie an realen und fiktiven Einzugsgebieten wurden diesbezügliche Empfehlungswerte erarbeitet, die Modellannwendern eine sehr gute Orientierungshilfe bei der praktischen Modellerstellung wie auch bei der Plausibilitätsprüfung von Berechnungsergebnissen bieten.

Key-Words: Abflussbeiwert, Abflussspenden, Hystem-Extran, SCS-Verfahren, Starkregen, TALSIM

1 Hintergrund und Gegenstand der Betrachtung

Niederschlagsabflüsse von überwiegend unbefestigten Außengebieten werden bei der urbanhydrologischen Modellierung oftmals unzureichend oder nur stark vereinfacht berücksichtigt. Dabei können bei Starkregen sehr große Regenabflüsse aus Außengebieten in Richtung des Siedlungsgebietes gelangen. Zahlreiche Sturzflutereignisse der vergangenen Jahre haben offenbart, dass vielerorts die Außengebietsabflüsse unterschätzt werden, nicht sachgerecht in die Entwässerungsplanung eingebunden und in hohem Maße für aufgetretene Überflutungsschäden innerhalb des Siedlungsgebietes verantwortlich sind [DWA, 2013; LUBW, 2016].

Sowohl bei der Generalentwässerungsplanung als auch im Kontext eines modernen Starkregenrisikomanagements [DWA, 2016] wird es zukünftig erforderlich sein, den Außengebietsabflüssen eine höhere Aufmerksamkeit zu schenken. Die betrifft sowohl die Berechnung belastungsabhängiger Regenabflüsse als auch die konkrete Planung und Dimensionierung von Rückhalteanlagen oder Einlaufbauwerken.

Die gängigen urbanhydrologischen Berechnungsprogramme verwenden i.d.R. vereinfachte Abflussbildungsansätze aus der allgemeinen Gewässerhydrologie, während Modellansätze, die speziell auf die Simulation der am Abflussgeschehen beteiligten

Prozesse in natürlichen Einzugsgebieten ausgerichtet sind, bei der Generellen Entwässerungsplanung urbaner Einzugsgebiete bisher kaum zum Einsatz kamen [DWA, 2008].

In der praktischen Anwendung ergibt sich stets die besondere Schwierigkeit, die notwendigen Parameter – mit Blick auf die jeweils vorliegende Aufgabenstellung und die zu betrachtende Regenhäufigkeit – sachgerecht abzuschätzen. In der Fachliteratur finden sich hierzu nur wenige Empfehlungswerte, bei denen zudem der Bezug zu konkreten Regen- bzw. Abflusshäufigkeiten weitgehend fehlt [DWA, 2008]. Hierdurch werden sowohl eine Abschätzung des Einflusses von Außengebietsabflüssen im Vorfeld von Kanalnetzberechnungen als auch die Möglichkeit einer anschließenden Plausibilitätsprüfung stark eingeschränkt.

Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen einer hydrologischen Simulationsstudie die gängigsten urban-hydrologischen Berechnungsansätze an realen und fiktiven Einzugsgebieten systematisch untersucht und sowohl untereinander als auch mit den Berechnungsergebnissen aus einem Niederschlag-Abfluss-Modell, unter Verwendung des SCS-Verfahrens, verglichen. Das SCS-Verfahren fand bisher primär in N-A-Modellen zur hydrologischen Modellierung von natürlichen Einzugsgebieten Anwendung. In der jüngsten Zeit wurden jedoch auch Kanalnetzberechnungsmodelle um dieses Verfahren erweitert, um speziell Abflüsse aus Außengebieten realitätsnäher als bisher modellieren zu können und die Berechnungsmodelle an die Bedürfnisse von immer häufiger durchgeführten Langzeitsimulationen anzupassen. Umfangreiche Erfahrungswerte über die (hydraulischen) Auswirkungen sowie zur Güte der modelltechnischen Umsetzung, insbesondere in Verbindung mit den in der Urbanhydrologie häufig eingesetzten Modellregen, lagen nicht vor.

Für die modelltechnischen Untersuchungen wurde ein breites Niederschlagsspektrum betrachtet (Regenhöhe, -dauer, -häufigkeit etc.). Es wurden sowohl Niederschlagshäufigkeiten, wie sie für die konventionelle Planung von Entwässerungssystemen maßgebend sind, als auch größere und für das Starkregenrisikomanagement relevante Wiederkehrzeiten analysiert. Ferner wurden Vergleichsrechnungen und Sensitivitätsanalysen für ein ausgesprochen breites Spektrum an Boden- und Gebietscharakteristika vollzogen (CN = 40 – 90, Flächengröße = 10 – 400 ha, Vorregenhöhe = 0 – 50 mm, Fließlängenänderung = 10 – 50 % etc.) sowie auch übergeordnete Simulationsparameter wie der Berechnungszeitschritt auf ihren Einfluss hin untersucht.

Auf Grundlage der durchgeführten Simulationen wurden schließlich Empfehlungswerte für gängige Parameterwerte, Abflussbeiwerte und Abflussspenden erarbeitet, die Modellanwendern eine sehr gute Orientierungshilfe bei der Modellerstellung wie auch bei der Plausibilitätsprüfung von Berechnungsergebnissen bietet. Diese Empfehlungen fließen aktuell in die Neufassung des DWA-Merkblattes M 165 "Anforderungen an Niederschlag-Abfluss- und Schmutzfrachtmodelle in der Siedlungsentwässerung" ein.

2 Methodik und Ergebnisanalyse

Im Rahmen der Studie wurden zunächst die unterschiedlichen methodischen Möglichkeiten bzw. Berechnungsansätze, mit denen Abflüsse aus Außengebietsflächen simuliert werden können, zusammengestellt und miteinander verglichen. Differenziert wurde hierbei auf Seiten der Abflussbildungsprozesse nach Ansätzen, wie sie (bisher) vorwiegend für durchlässig befestigte Flächen im Bereich der Kanalnetzbe-rechnung Anwendung finden (z.B. klassische Abflussbeiwertmethoden, Ansatz nach HORTON, Infiltrationsmodell nach NEUMANN) und Ansätzen, die bisher eher in Niederschlag-Abfluss-Modellen zur hydrologischen Modellierung von natürlichen Einzugsgebieten zum Einsatz kamen (hier im speziellen das SCS-Verfahren in unterschiedlichen Modifikationen). Die verschiedenen Ansätze wurde für fiktive "Einheitsgebiete", diverse Regenbelastungen und Randbedingungen angewendet (Abbildung 1).

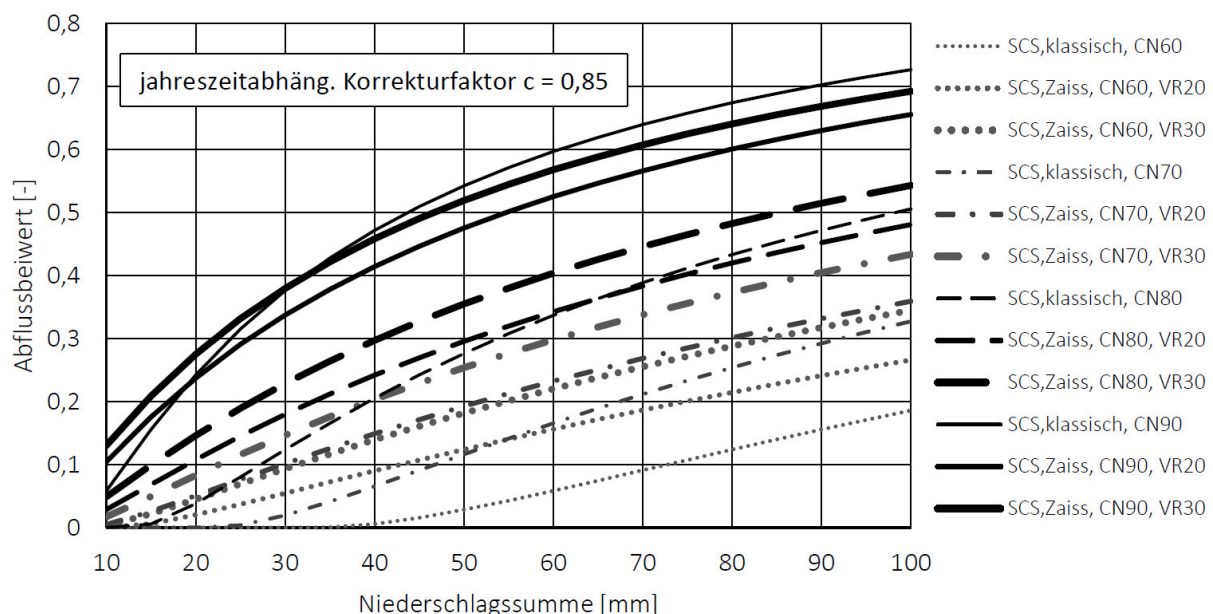


Abbildung 1: Ergebnisbeispiele für den ereignisspezifischen Abflussbeiwert aus den Vergleichsrechnungen zwischen klassischem SCS-Verfahren und der Modifikation nach ZAIß

Auf Abflusskonzentrationsseite wurden ebenfalls unterschiedliche Berechnungsansätze untersucht und miteinander verglichen, die einerseits primär den urbanhydrologischen Modellen (Standard-Einheitsganglinie, Linearspeicherkaskade) und andererseits der Simulation von Abflüssen in natürlichen Einzugsgebieten (hier vor allem die Parallelspeicherkaskade) zugeordnet werden können.

Anhand von Sensitivitätsanalysen wurden hierauf aufbauend die zentralen Parameter des SCS-Verfahrens in der Modifikation nach ZAIß herausgearbeitet, welches im Bereich von N-A-Modellen große Verbreitung gefunden hat und mittlerweile auch in

gängigen Kanalnetzrechnungsmodellen zum Einsatz kommt. In diesem Zuge wurde ebenfalls die modelltechnische Umsetzung dieses modifizierten SCS-Verfahrens in Verbindung mit einer Abflusskonzentrationsberechnung anhand einer Parallelspeicherkaskade mitsamt einer Modifikation für sehr kleine Gebietsausdehnungen (orohydrografische Faktoren $L/J^{0,5} < 0,5$ km), analysiert (s. Abbildung 2).

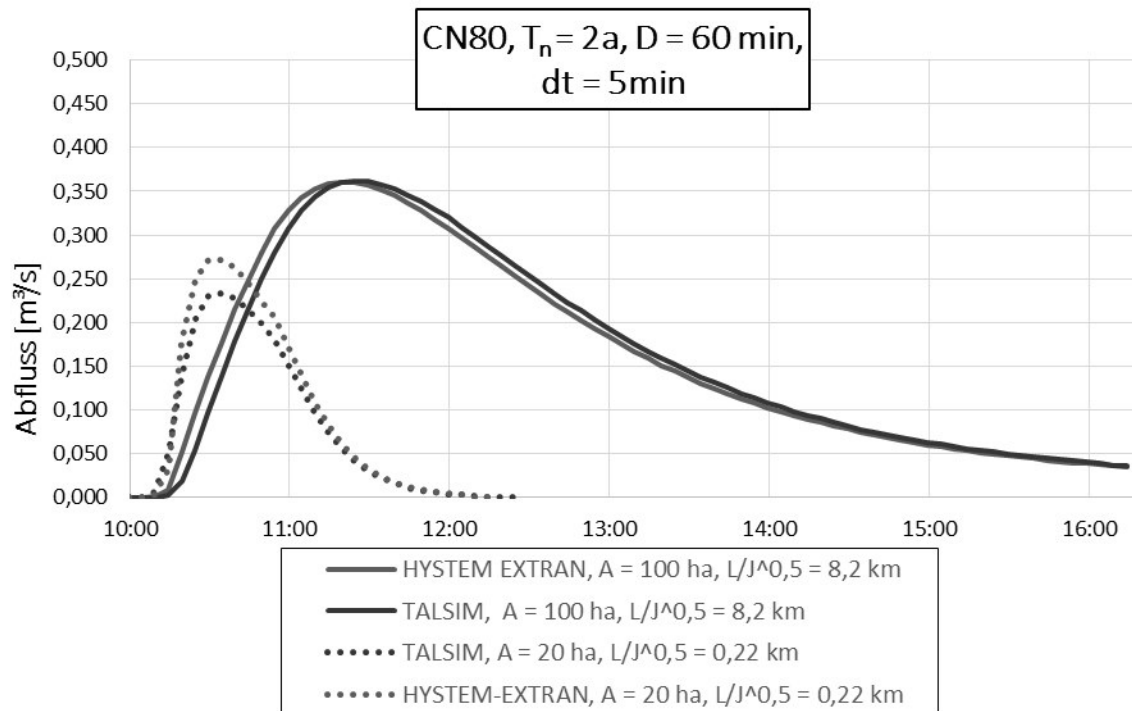


Abbildung 2: Exemplarischer Vergleich von Berechnungsergebnissen des SCS-Verfahrens in unterschiedlichen Modellen (hier: HYSTEM-EXTRAN und TALSIM)

Aufbauend auf den hier gewonnenen Erkenntnissen wurden umfangreiche Vergleichsrechnungen an fiktiven Einzugsgebieten durchgeführt. Diese hatten primär zum Ziel, die potenzielle Beeinflussung von Außengebietszuflüssen auf Kanalnetze aufzuzeigen und zu quantifizieren. Durch weitere Vergleichsrechnungen zweier repräsentativer Verfahren wurden die zu erwartenden Unterschiede bei der Modellierung von Außengebietsabflüssen zwischen Verfahren, wie sie bisher primär in Kanalnetzrechnungsmodellen Anwendung fanden und Verfahren, die speziell für natürliche Einzugsgebiete entworfen wurden, aufgezeigt.

Im letzten Bearbeitungsschritt wurden weitere Vergleichsrechnungen anhand eines realen Projektgebiets durchgeführt, an dessen Kanalisation sehr große Außengebietsflächen (rd. 170 ha) angeschlossen sind.

3 Zentrale Ergebnisse der Untersuchungen

Die durchgeführten Sensitivitätsanalysen hatten zunächst zum Ergebnis, dass der CN-Wert erwartungsgemäß den entscheidenden Parameter darstellt. Für dessen Ermittlung liegen heute umfangreiche Erfahrungen in Form von Tabellenwerten vor. Gleichwohl wurde festgestellt, dass auch weitere, von Anwendern häufig weniger beachtete Parameter wie der Simulationszeitschritt oder die maximale Fließlänge im Einzugsgebiet signifikante Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse haben können und daher sorgfältig gewählt bzw. bestimmt werden sollten (s. Abbildung 3).

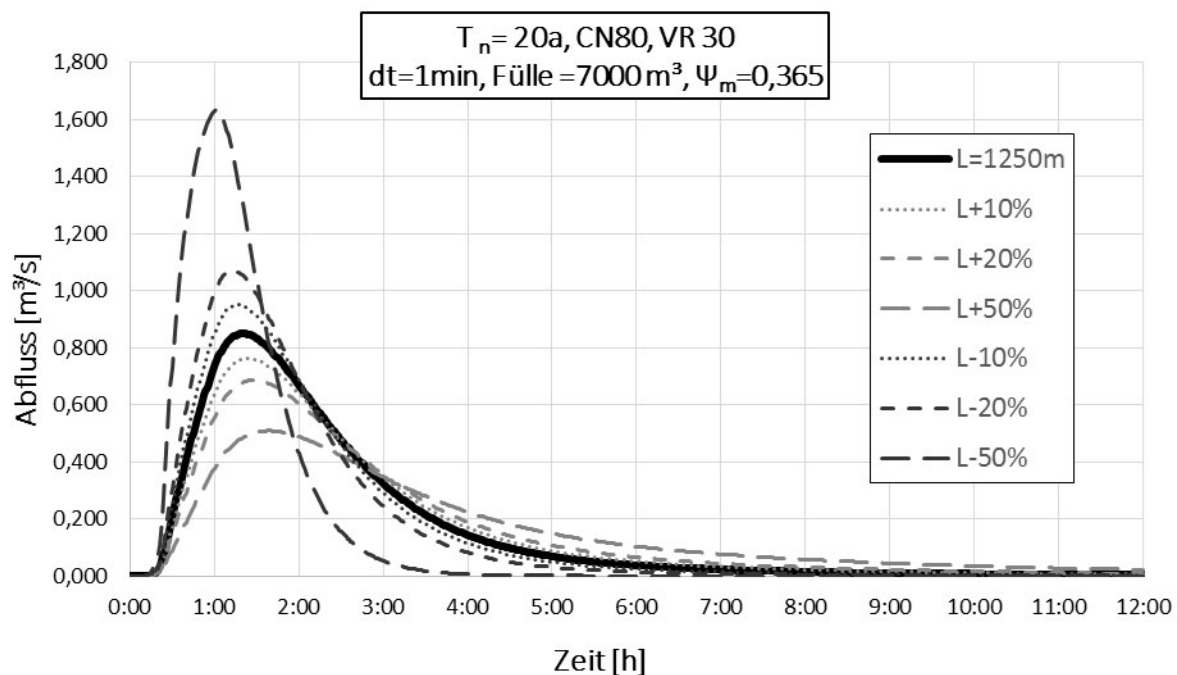


Abbildung 3: Auswirkungen einer Änderung der max. Fließlänge in einem fiktiven Außengebiet ($A = 50 \text{ ha}$)

Die nähere betrachtete modelltechnische Umsetzung des SCS-Verfahrens (Modifikation nach ZAIß) kann darüber hinaus dazu führen, dass die in Verbindung mit Modellregen häufig empfohlenen Vorregenhöhen (häufig 20 – 30 mm) zu tendenziell hohen Abflüssen führen und daher nicht grundsätzlich verwendet werden sollten. Der Ansatz nach ZAIß mit variablem Abflussbeiwert generiert für sich genommen bereits höhere Scheitelwerte und Wellenföllen als das klassische SCS-Verfahren mit konstantem Verlustbeiwert. Die zusätzliche „Belastung“ aus einem Vorregen kann daher dazu führen, dass vergleichsweise hohe Wellenscheitel und –füllen berechnet werden.

Der repräsentative Modellvergleich hatte zum Ergebnis, dass übliche, bisher in Kanalnetzrechnungsmodellen zur Anwendung kommende Ansätze tendenziell deutlich frühere sowie höhere Abflussspitzen berechnen, als Ansätze, die speziell für natürliche Einzugsgebiete entworfen wurden. Hierdurch können sich die Teilwellen ungünstiger mit den schnellen Abflussanteilen aus den Siedlungen überlagern. Gleichzeitig

generiert das SCS-Verfahren im Allgemeinen deutlich größere Abflussvolumina. Dies kann sich insbesondere auf Retentions- bzw. Entlastungsbauwerke sowie auf dauerhaft hochgradig ausgelastete Netzbereiche negativ auswirken.

Die ermittelten Abflussscheitel lagen in den durchgeführten Untersuchungen auf urbanhydrologischer Seite (HORTON/Standard-Einheitsganglinie) in etwa zwischen 20 % und 400 % höher als jene, die mit Hilfe des SCS-Verfahrens in Verbindung mit einer Parallelspeicherkaskade ermittelt wurden. Umgekehrt sah es bei den spezifischen Abflussvolumina aus. Hier ermittelte der urbanhydrologische Ansatz Ergebnisse, die bis ca. 350 % unterhalb der korrespondierenden Berechnungen des SCS-Verfahrens lagen. Das SCS-Verfahren ermittelte insgesamt deutlich plausiblere mittlere Abflussbeiwerte der betrachteten Regenereignisse in einem Spektrum von ca. 0,10 bis 0,40.

Die berechneten Zeitpunkte der Wellenscheitel beider Verfahren lagen rd. 30 bis 60 Minuten auseinander.

Die Ergebnisse beider Verfahren ließen sich innerhalb der durchgeführten Studie durch Parameteranpassung nicht vereinheitlichen. Eine Anpassung des Endabflussbeiwertes machte für ausgewählte Regenereignisse zwar eine Annäherung der Abflussscheitelwerte möglich, führte aber zu noch größeren Diskrepanzen bei den ermittelten Abflussvolumina (größer Faktor 4).

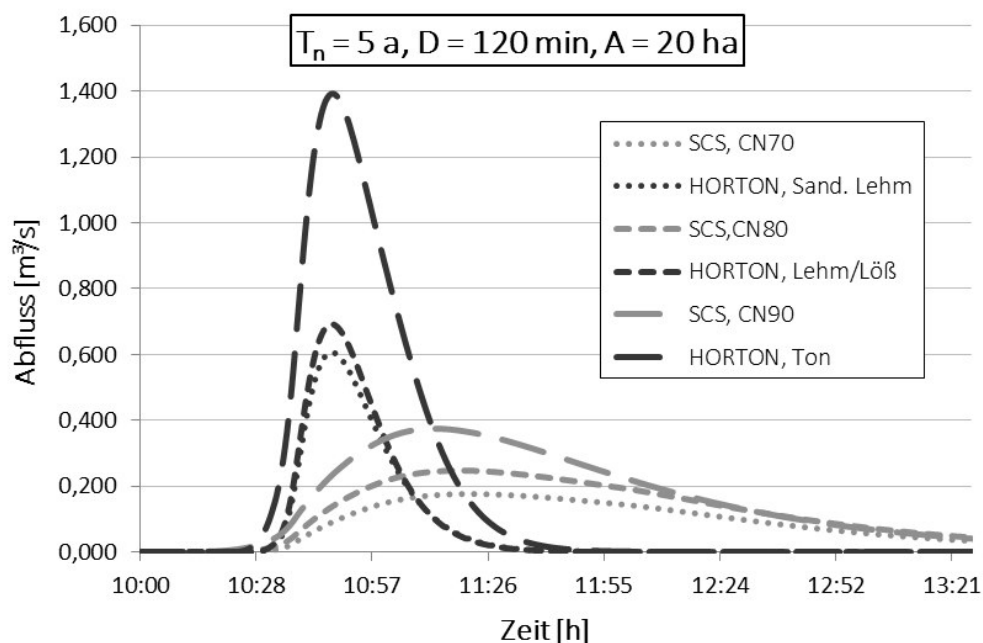


Abbildung 4: Exemplarischer Vergleich von Abflussganglinien auf Basis unterschiedlicher Modellansätze (hier SCS-ZAIß/Parallelspeicherkaskade und HORTON/Standard-Einheitsganglinie)

Die an den fiktiven Einzugsgebieten gewonnenen Erkenntnisse konnten durch Berechnungen an realen Einzugsgebieten vollständig validiert werden. Ein Vergleich mit den (wenigen) Größenangaben in der Literatur ergab, dass die vom SCS-Verfahren in Verbindung mit der Parallelspeicherkaskade ermittelten spezifischen Scheitelabflüsse insgesamt gut korrelierten. Die berechneten Werte bewegten sich grundsätzlich innerhalb von plausiblen Größenordnungen.

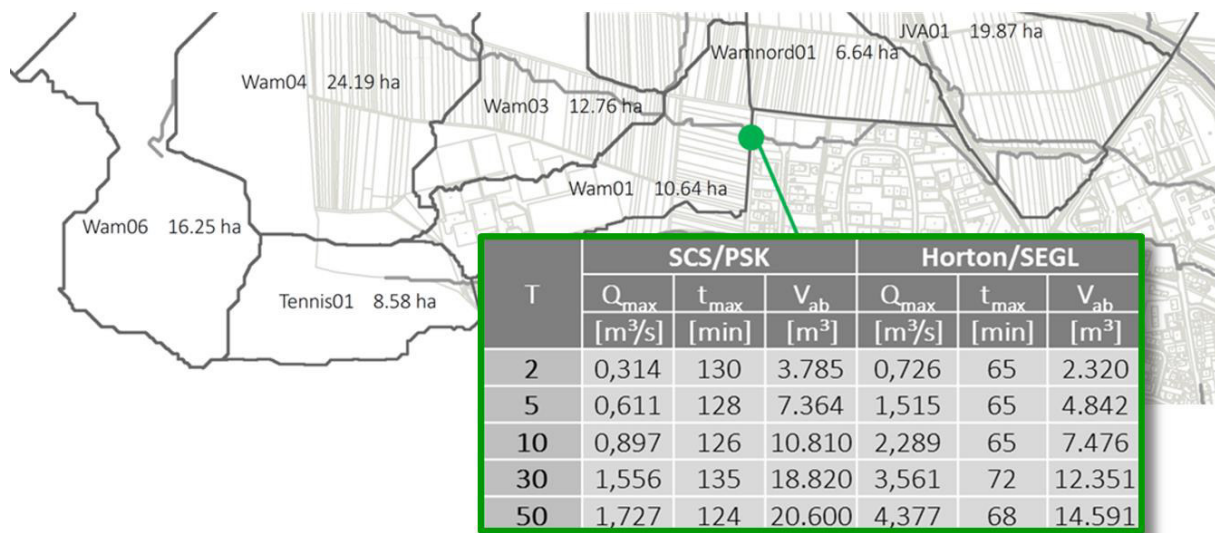


Abbildung 5: Exemplarischer Vergleich von Scheitelwerten und Volumina unterschiedlicher Modellansätze (hier SCS-ZAIß/Parallelspeicherkaskade und HORTON/Standard-Einheitsganglinie) an einem realen EZG

Die für die siedlungswasserwirtschaftliche Praxis wesentlichen Ergebnisse und Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Klassische, aus dem Bereich der Kanalnetzhydraulik stammende Berechnungsansätze ermitteln im Allgemeinen deutlich frühere sowie höhere Abflussspitzen als das speziell für Außengebiete und kleinere natürliche Einzugsgebiete angepasste SCS-Verfahren.
- Das SCS-Verfahren ermittelt deutlich größere Abflussvolumina bzw. realistischere mittlere Abflussbeiwerte in Größenordnungen zwischen 0,10 und 0,40.
- Neben der zu erwartenden Sensitivität von Parametern wie dem CN-Wert nimmt die untersuchte modelltechnische Umsetzung des SCS-Verfahrens ebenfalls nicht zu vernachlässigenden Einfluss durch den Simulationszeitschritt. Größere Zeitschritte resultieren hier grundsätzlich in höheren Wellenscheiteln und -füllen. Empfohlen wird ein kleiner Zeitschritt von 1 Minute.
- Die modelltechnische Umsetzung kann darüber hinaus zu einem überproportionalen Einfluss der Vorregenhöhe in Verbindung mit Modellregen führen. Ent-

gegen der üblichen Empfehlungen wird in Kanalnetzrechnungsmodellen daher vom Ansatz eines Vorregens bei Simulationen mit Modellregen abgeraten.

- Der hydraulische Einfluss der Außengebietsabflüsse nimmt mit steigender statistischer Wiederkehrzeit des Niederschlages zu.
- Deutliche hydraulische Belastungen sind spätestens ab einem Flächen-Verhältniswert von 0,5 (Außengebietsfläche / direkt betroffenes urbanes Einzugsgebiet) zu erwarten.
- Bei Außengebieten unter 10 ha Größe ist meist keine nennenswerte hydraulische Belastung der örtlichen Kanalisation zu erwarten.

Die Ergebnisse der durchgeführten Simulationen dienten darüber hinaus der Erstellung eines tabellarischen Hilfsmittels zur Abschätzung bzw. Plausibilisierung der Höhe von Außengebietsabflüssen in Abhängigkeit einiger wesentlicher Gebietsparameter sowie der statistischen Wiederkehrzeit von Niederschlagsereignissen (Tabelle 1). Anstatt der ausgewiesenen Abflussspenden lassen sich gleichermaßen zugehörige Abflussbeiwerte zuordnen (de Priest, 2015). Mit Hilfe der erarbeiteten Tabellen soll die eingangs erwähnte Lücke innerhalb der Fachliteratur ein Stück weit geschlossen werden.

Da aufgrund der großen Anzahl an abflussbeeinflussenden Parametern und der heterogenen Verhältnisse in natürlichen Einzugsgebieten sowie dem Fehlen von großmaßstäblichen Abflussmessungen in Außengebieten (als Kalibrierungsgrundlage der Modellwerkzeuge) kaum exakte Prognosen über Abflusshöhen möglich sind, wurden die spezifischen Abflüsse in Spektren angegeben, die unter den beschriebenen Bedingungen realistisch erscheinen und durch die Simulationsergebnisse gestützt sind. Einflussgrößen wie Vorregenhöhe, Jahreszeit und Größe des Einzugsgebiets (bis ca. 20 ha ist eine Einstufung als „klein“ realistisch) sind nicht explizit erfasst, können aber dazu verwendet werden, die zu erwartenden spezifischen Abflüsse dem höheren respektive niedrigeren Ende des jeweiligen Abflussspektrums zuzuordnen.

Zur Anwendung genügt die Kenntnis einiger wesentlicher Gebietsparameter, die sich bereits mit Hilfe von Luftbildern, Topografischen Karten sowie Bodenkarten bestimmen lassen.

Tabelle 1: Spezifische Abflussspenden in Abhängigkeit von Gebiets- und Niederschlagscharakteristik

Boden- und Gebietscharakteristika [-]	flächengewichteter CN-Wert (ca.) [-]	orographische Merkmale [-]	mittl. Geländegefälle [%]	T _n [a]	spez. Abfluss [l/s-ha]
großes bis durchschnittliches Versickerungsvermögen des Bodens (z.B. Sand-, Kies- und Lößböden), mittlerer bis starker Bewuchs oder Waldanteil, großer Wiesen- bzw. Weideanteil, wenig landwirtschaftliche Nutzung, kaum befestigte Flächen (Feldwege, Betriebshöfe etc.)	60 - 70	Flachland	≤ 1	1–2	0–2
				5–10	3–6
				10–20	4–10
				20–50	7–14
		leicht abschüssig	1–5	1–2	0–2
				5–10	3–7
				10–20	5–11
				20–50	8–15
		ausgeprägtes Gefälle	5–10	1–2	1–3
				5–10	4–10
				10–20	6–12
				20–50	10–19
durchschnittliches Versickerungsvermögen des Bodens (z.B. (lehmmige) Sand- und Lößböden), durchschnittlicher Bewuchs oder Waldanteil, durchschnittlicher Wiesen- und Weideanteil, landwirtschaftliche Nutzung vorhanden, wenig befestigte Flächen (Feldwege, Betriebshöfe etc.)	70 - 80	Flachland	≤ 1	1–2	1–3
				5–10	4–9
				10–20	6–11
				20–50	8–13
		leicht abschüssig	1–5	1–2	2–5
				5–10	5–10
				10–20	7–13
				20–50	10–20
		ausgeprägtes Gefälle	5–10	1–2	3–6
				5–10	7–11
				10–20	10–18
				20–50	14–25
geringes bis sehr geringes Versickerungsvermögen des Bodens (z.B. Feinsande, lehmige Böden, Tonböden oder kaum durchlässige Aufschüttungen), kaum Bewuchs oder Waldflächen (Ödland), viel Getreideanbau, größerer Anteil an befestigten Flächen	80 - 90	Flachland	≤ 1	1–2	2–5
				5–10	5–10
				10–20	7–13
				20–50	9–18
		leicht abschüssig	1–5	1–2	4–9
				5–10	6–12
				10–20	9–19
				20–50	12–23
		ausgeprägtes Gefälle	5–10	1–2	5–10
				5–10	7–15
				10–20	10–21
				20–50	14–30
		Gebirge	> 10	1–2	5–12
				5–10	9–20
				10–20	15–23
				20–50	17–35

4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Zuge der Studie wurden die deutlichen Unterschiede zwischen modelltechnischen Ansätzen, die aus dem Bereich der Urbanhydrologie kommen und jenen Ansätzen, die ursprünglich aus dem Bereich der N-A-Modellierung natürlicher Einzugsgebiete stammen, aufgezeigt und bewertet. In Bezug auf die hydraulische Belastung von Kanalnetzen kann davon ausgegangen werden, dass gerade bei tendenziell kleinen Außengebietsanteilen (bei geeigneter Parameterwahl) nicht zwingend der Einsatz eines spezialisierten Ansatzes wie dem SCS-Verfahren erforderlich ist. Die Ergebnisse sind in diesem Fall (zumindest hydraulisch) als „auf der sicheren Seite“ zu bewerten.

Sofern jedoch ein großer Einfluss von Außengebietsabflüssen auf das Kanalnetz vorhanden ist, der z.B. anhand des vorgestellten tabellarischen Hilfsmittels abgeschätzt werden kann, sollte über einen Einsatz entsprechender Modelle nachgedacht werden. Entscheidend sind hier insbesondere die Flächenausdehnung in Relation zum unmittelbar betroffenen kanalisierten Einzugsgebiet sowie die Boden- und Gebietscharakteristika der Außengebietsflächen.

Darüber hinaus konnten durch die umfangreichen Vergleichsrechnungen an fiktiven sowie realen Einzugsgebieten sowie großzügige Parametervariationen schlussendlich Empfehlungen für gängige bzw. realistische Parameterwerte, Abflussbeiwerte und Abflussspenden erarbeitet werden, die Modellanwendern eine sehr gute Orientierungshilfe bei der Modellerstellung wie auch bei der Plausibilitätsprüfung von Berechnungsergebnissen bieten. Diese Empfehlungen fließen aktuell in die Neufassung des DWA-Merkblattes M 165 „Anforderungen an Niederschlag-Abfluss- und Schmutzfrachtmodelle in der Siedlungsentwässerung“ ein.

Im Zuge der Fortführung der Studie werden die erarbeiteten Empfehlungswerte aktuell an verschiedenen Einzugsgebieten geprüft. Hierzu werden Abflussberechnungen für reale Außengebiete in Baden-Württemberg vollzogen und mit den vorliegenden Oberflächenabflusswerten verglichen, die durch räumlich hochaufgelöste Berechnungen der Universität Freiburg mit dem detaillierten hydrologischen Modell RoGer bundeslandweit ermittelt wurden [Steinbrich et al., 2015; LUBW, 2016].

5 Literatur

- de Priest, S. (2015): Modelltechnischer und planerischer Umgang mit Außengebietsabflüssen am Beispiel eines städtischen Einzugsgebiets; Studie in Zusammenarbeit mit der Hochschule Darmstadt, unveröffentlicht (wird auf Anfrage zur Verfügung gestellt).
- DWA (2016): Merkblatt DWA-M 119, Risikomanagement in der kommunalen kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen, DWA, Hennef, November 2016.
- DWA (2013): Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), DWA-Themen T1/2013, ISBN 978-3-944328-14-0.
- DWA (2008): Abflüsse aus Außengebieten der Kanalisation: Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 „Abfluss- und Schmutzfrachtsimulation“ (inkl. Anhang), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), KA - Korrespondenz Abwasser, Abfall, Jahrg. 55, Nr. 8, 850-854.
- LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg, Anhang 2-5, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), www.lubw.baden-wuerttemberg.de.
- Steinbrich, A., Weiler, M., Leistert, H. (2015): Alles RoGeR? Modellierung von Sturzfluten aufgrund von Starkniederschlägen, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 2015; 35 (15) : 115-125.

Korrespondenz an:

Prof. Dr.-Ing. Marc Illgen
Hochschule Kaiserslautern
FB Bauen und Gestalten
Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft
Tel.: 0631 | 3724-4526
E-Mail: marc.illgen@hs-kl.de