

# Bewertung der Repräsentativität von Modellregen beim Überstauachweis mittels Simulation virtueller Kanalnetze

Kai Schroeder<sup>1)</sup>, Erika Pawlowsky-Reusing<sup>2)</sup> und Agnes Kummelt<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dr.-Ing. Pecher und Partner Ingenieurgesellschaft mbH, Sachsendamm 93 | Aufgang B, 10829 Berlin, Germany, kai.schroeder@pecherundpartner.de

<sup>2)</sup> Berliner Wasserbetriebe, 10864 Berlin, Germany, erika.pawlowsky-reusing@bwb.de

## Kurzfassung

Die europäische Norm DIN EN 752 gibt die Überflutungshäufigkeit als maßgebendes Kriterium für den gegebenen Überflutungsschutz vor. Da die modelltechnische Nachbildung der Überflutung nur mittels gekoppelter Kanalnetz-Oberflächenmodelle möglich ist, wird für den rechnerischen Nachweis von Entwässerungsnetzen heute in der Regel die Überstauhäufigkeit als Zielgröße verwendet. Der rechnerische Nachweis erfolgt unter Anwendung hydrodynamischer Berechnungsansätze mit den möglichen Niederschlagsbelastungen Einzelmodellregen, Modellregengruppe oder Starkregenserie. Mittels Simulation virtueller Kanalnetze wird gezeigt, dass die mit den Modellregen bestimmter Häufigkeit ermittelten Schachtüberstauungen bei der Starkregenseriensimulation mit vergleichbaren Wiederkehrzeiten auftreten. Lediglich die Modellregen mit höheren Wiederkehrdauern weisen teils geringere Sicherheiten auf. Auf Grundlage der Ergebnisse werden Empfehlungen für die Wahl des Berechnungsregens in Abhängigkeit vom Anwendungsfall ausgesprochen.

## Einleitung und Zielstellung

Die europäische Norm DIN EN 752 "Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden" (DIN 2008) gibt die Überflutungshäufigkeit als maßgebendes Kriterium für den gegebenen Überflutungsschutz vor. Dabei bezeichnet Überflutung den Überlastungszustand, bei dem "Schmutzwasser und/oder Regenwasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eintreten können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen". In der deutschen Entwässerungspraxis wird Überflutung mit auftretenden Schädigungen bzw. einer Funktionsstörung aufgrund des Wasseraustrittes in Verbindung gebracht. DIN EN 752 beinhaltet Anforderungen an den Entwurf neuer Entwässerungssysteme mit der Vorgabe von Regenhäufigkeiten zur Bemessung und Überflutungshäufigkeiten für die Nachweisführung, jeweils mit einer Differenzierung nach Siedlungsstruktur und Nutzung im Einzugsgebiet.

Da die modelltechnische Nachbildung der Überflutung nur mittels gekoppelter Kanalnetz-Oberflächenmodelle möglich ist (DWA 2013, Angermair et al. 2012), wird für den rechnerischen Nachweis von Entwässerungsnetzen heute in der Regel die Überstauhäufigkeit als Zielgröße verwendet. In Anlehnung an die Vorgaben der DIN EN 752 werden in DWA-A 118 (DWA 2006) und ÖWAV-RB 11 (ÖWAV 2009) für den rechnerischen Nachweis der Überstauhäufigkeit bei Neuplanungen bzw. nach Sanierungen Nachweisgrößen vorgegeben. Für die Nachrechnung bestehender Systeme werden in einem Arbeitsbericht der ATV Arbeitsgruppe 1.2.6 (ATV-DVWK 2004) Empfehlungen gegeben.

Der rechnerische Nachweis erfolgt unter Anwendung hydrodynamischer Berechnungsansätze mit den möglichen Niederschlagsbelastungen Einzelmodellregen, Modellregengruppe oder Starkregenserie. Beim Nachweis mittels Modellregen wird davon ausgegangen, dass die mit Modellregen bestimmter Häufigkeit ermittelten

---

Schachtüberstauungen bei der Seriensimulation mit vergleichbaren Wiederkehrzeiten auftreten (DWA 2006, Schmitt und Thomas 2000).

Zielstellung der Arbeit ist, für Modellregen verschiedener Häufigkeit zu prüfen, ob die resultierenden Schachtüberstauungen bei der Seriensimulation mit vergleichbaren oder geringeren Wiederkehrzeiten auftreten, der Nachweis mittels Modellregen also ausreichende Sicherheiten bietet. Der Nachweis soll erbracht werden anhand von Kanalnetzen bzw. Kanalnetzeinzugsgebieten mit unterschiedlichen in Berlin vorherrschenden Entwässerungseigenschaften. Diese Eigenschaften (Gefälle, Überdeckung, Kanalnetzvolumen, etc.) wirken sich in verschiedener Weise auf das Abfluss- und Überstauverhalten aus und sollen in ihren Ausprägungen und Überlagerungen ausreichend erfasst werden. Basierend auf den Ergebnissen sollen Empfehlungen zum Einsatz von Modellregen beim Überstauachweis ausgesprochen werden.

## Methode

Um die Vielzahl der unterschiedlichen Eigenschaften von Kanalnetzen und Kanalnetzeinzugsgebieten zu berücksichtigen, wird ein Ansatz mittels Modellierung und Simulation von virtuellen Kanalnetzen gewählt. Die Verwendung virtueller Kanalnetze erlaubt die Abbildung von Systemzuständen, die im Gegensatz zu realen Fallstudien nicht auf spezifische Randbedingungen beschränkt bleiben und damit leichter generalisiert und übertragen werden können. Zudem kann eine große Zahl diverser Systemzustände bei zeitlich und wirtschaftlich geringem Aufwand betrachtet werden (Sitzenfrei et al. 2010).

Zunächst erfolgt die Festlegung der Parameter, mit denen die Eigenschaften der Kanalnetze beschrieben werden sollen. Übliche Parameter sind die Art des Entwässerungssystems, das Geländegefälle, der Befestigungsgrad und die Art der Landnutzung, das Gefälle der Sammler, die Länge des Kanalnetzes, die längste Fließzeit im Netz, die Form des Kanalnetzes in Bezug auf die Überlagerung einzelner Abflusswellen, Tiefenlage und Überdeckung der Kanäle, das Kanalnetzvolumen und der Einfluss bzw. Einstau durch Vorfluter. Die Parameter haben unterschiedliche Auswirkungen auf Abflussbildung, Abflusskonzentration und Abflusstransport und somit auf das Überstaugeschehen.

Die festgelegten Parameter werden für ausgewählte Berliner Kanalnetze und Einzugsgebiete ausgewertet (65 Regenwassernetze und 18 Mischwassernetze). Verwendet werden Ordnungs- und Stammdaten der Kanalnetze sowie Flächendaten aus Automatisierten Liegenschaftskarten (ALK) und Entgeltdateien. Die berücksichtigten Kanalnetze umfassen dabei das gesamte Spektrum der Eigenschaften, das später mit den virtuellen Kanalnetzen beschrieben werden soll. Vor Aufbau der Modelle wird festgelegt, welche Ausprägungen/Werte die oben beschriebenen Parameter in den verschiedenen virtuellen Kanalnetzen annehmen sollen und in welcher Kombination sie auftreten sollen.

Die Modellierung und Simulation der virtuellen Kanalnetze erfolgt mit der hydrologisch-hydrodynamischen Berechnungssoftware ++systems (Tandler 1994). Als Grundlage für den Modellaufbau dienen die Daten eines realen Berliner Kanalnetzes. Die unterschiedlichen virtuellen Netzvarianten werden durch Anpassung der Flächen-, Schacht- und Haltungsdaten mittels Datenbankabfragen und geeigneter Berechnungsalgorithmen generiert.

Als Niederschlagsbelastung werden Einzelmodellregen der Häufigkeiten  $n=1 \text{ a}^{-1}$ ,  $n=0.5 \text{ a}^{-1}$ ,  $n=0.33 \text{ a}^{-1}$ ,  $n=0.2 \text{ a}^{-1}$ ,  $n=0.1 \text{ a}^{-1}$  und  $n=0.05 \text{ a}^{-1}$  und der Dauern  $D=45 \text{ min}$ ,  $D=60 \text{ min}$  und  $D=90 \text{ min}$  sowie eine Starkregenserie verwendet. Datengrundlage der Modellregen und der Starkregenserie ist die kontinuierliche 48-jährige Niederschlagsreihe der Messstation Berlin-Neukölln (1960-2007). Die Modellregen (Berliner Modellregen, BWB 2014) basieren auf einer Starkregenstatistik nach DWA-A 531 (DWA 2012) und entsprechen leicht modifizierten Euler Typ II Modellregen (DWA 2006). Die Starkregenserie ist erstellt entsprechend den Empfehlungen in DWA-A 118 (DWA 2006) mit einer Ereignistrennzeit von drei Stunden und einer maximalen Niederschlagshäufigkeit von  $n=4 \text{ a}^{-1}$ .

Die Auswertung der Berechnungsergebnisse erfolgt durch Vergleich der bei den Modellregen und bei der Starkregenserie überstauten Schächte. Die bei der Starkregenserie überstauten Schächte werden nach ihrer Überstauhäufigkeit absteigend sortiert (Rangbildung). Die bei der Modellregenserie überstauten Schächte werden markiert. Schächte, die bei der Modellregenserie überstauen, weisen bei der Serienberechnung naturgemäß hohe Überstauhäufigkeiten auf und stehen in der Rangliste somit in den obersten Rängen. An diesen Schächten kann nun die mit der Modellregenserie korrespondierende rechnerische Überstauhäufigkeit abgelesen werden.

## Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit werden zur Beschreibung der Kanalnetze die folgenden drei Parameter gewählt:

- **Gefälle der Nebensammler:** Der Parameter beschreibt das Abflussvermögen der Nebensammler des Kanalnetzes. Es werden Haltungen mit Nennweite kleiner oder gleich DN 400 berücksichtigt. Der Parameter gibt den Anteil der Haltungen an, die ein geringeres Gefälle als 90 % von 1/DN aufweisen.
- **Nutzbares spezifisches Kanalnetzvolumen:** Der Parameter beschreibt die Retentionswirkung des Kanalnetzes. In den Regenwassernetzen wird das Kanalnetzvolumen oberhalb des Vorfluter-Wasserstands bis zum Rohrscheitel der Haltungen aufsummiert, in den Mischwassernetzen das gesamte Kanalnetzvolumen bis Rohrscheitel. Das so ermittelte Volumen wird auf die angeschlossene befestigte Fläche bezogen.
- **Überdeckung:** Der Parameter beschreibt die Sicherheit vor Überstau/Überflutung bei Überschreiten der Vollfülleleistung der Kanalhaltungen. Angegeben wird der Anteil der Kanalnetzlänge mit einer Überdeckung geringer als 1,5 m.

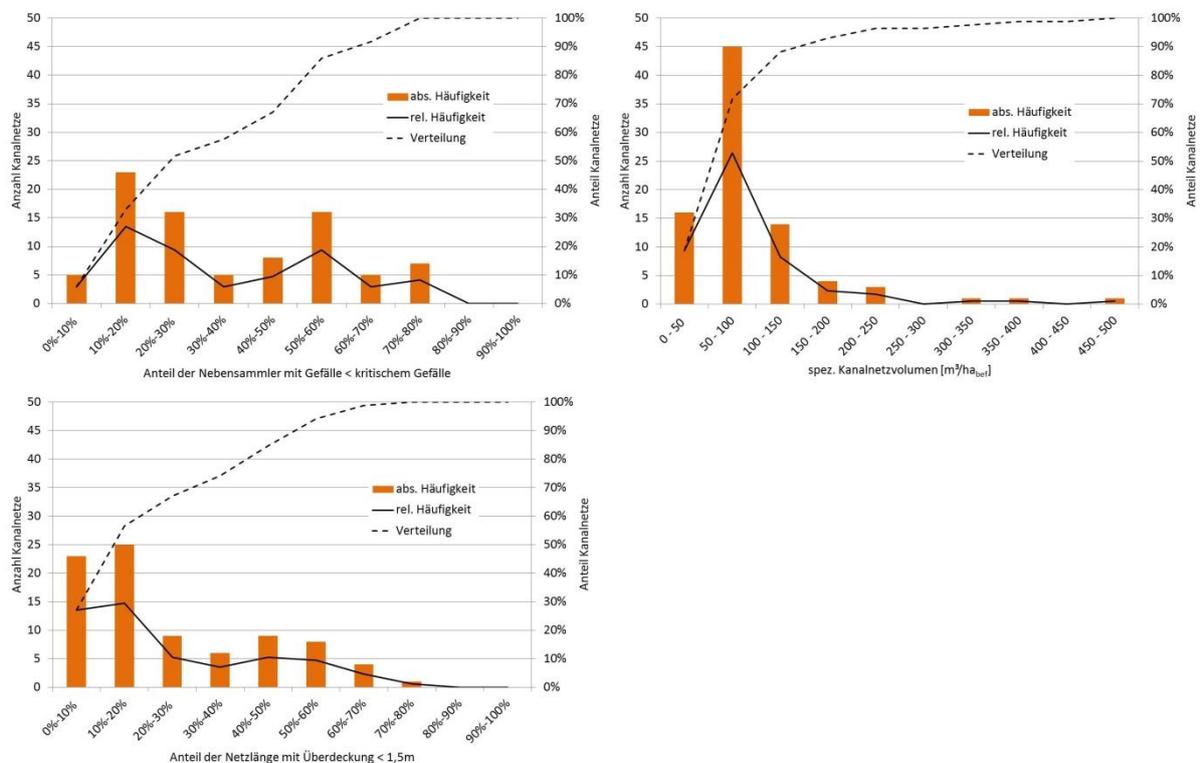


Abbildung 1: Statistische Beschreibung der untersuchten Kanalnetze

Abbildung 1 zeigt die statistische Verteilung der für die 83 untersuchten Kanalnetze ermittelten Parameterausprägungen. Für jeden der drei Parameter wird als Grundlage für den Aufbau der virtuellen Kanalnetze der Median, das 10%-Quantil und das 90%-Quantil ermittelt.

Basierend auf dem Modell eines realen Berliner Kanalnetzes und unter Verwendung der Medianwerte wird zunächst ein virtuelles Kanalnetz generiert, das die „mittleren“ Eigenschaften der Berliner Kanalnetze repräsentiert. Die weiteren virtuellen Netze werden durch Anpassung jeweils eines einzelnen der drei Parameter an a) das 10%-Quantil und b) das 90%-Quantil erzeugt. Durch Ansatz eines Vorfluters mit Einstau in das Kanalnetz entstehen weitere Netzvarianten.

Die Berechnungsergebnisse für die virtuellen Kanalnetze zeigen, dass die Häufigkeiten der Modellregen in etwa im Bereich der rechnerischen Überstauhäufigkeiten nach Starkregenseriensimulation liegen (Abbildung 2). Der Nachweis für die Häufigkeiten  $n=1 \text{ a}^{-1}$ ,  $n=0,5 \text{ a}^{-1}$  und  $n=0,33 \text{ a}^{-1}$  liegt überwiegend auf der sicheren Seite. Der Nachweis für die Häufigkeiten  $n=0,2 \text{ a}^{-1}$  und  $n=0,1 \text{ a}^{-1}$  liegt in Abhängigkeit von den Netzeigenschaften teils auf der sicheren und teils auf der unsicheren Seite. Der Nachweis für die Häufigkeit  $n=0,05 \text{ a}^{-1}$  liegt überwiegend auf der unsicheren Seite.

Der Vergleich zwischen den drei Modellregen ( $D=45 \text{ min}$ ,  $D=60 \text{ min}$  und  $D=90 \text{ min}$ ) zeigt, dass der Nachweis mit den Modellregen der Dauer 90 min die höchsten Sicherheiten aufweist. Die größten Übereinstimmungen zwischen Niederschlagshäufigkeit und korrespondierender Überstauhäufigkeit zeigen die Modellregen der Dauer 60 min.

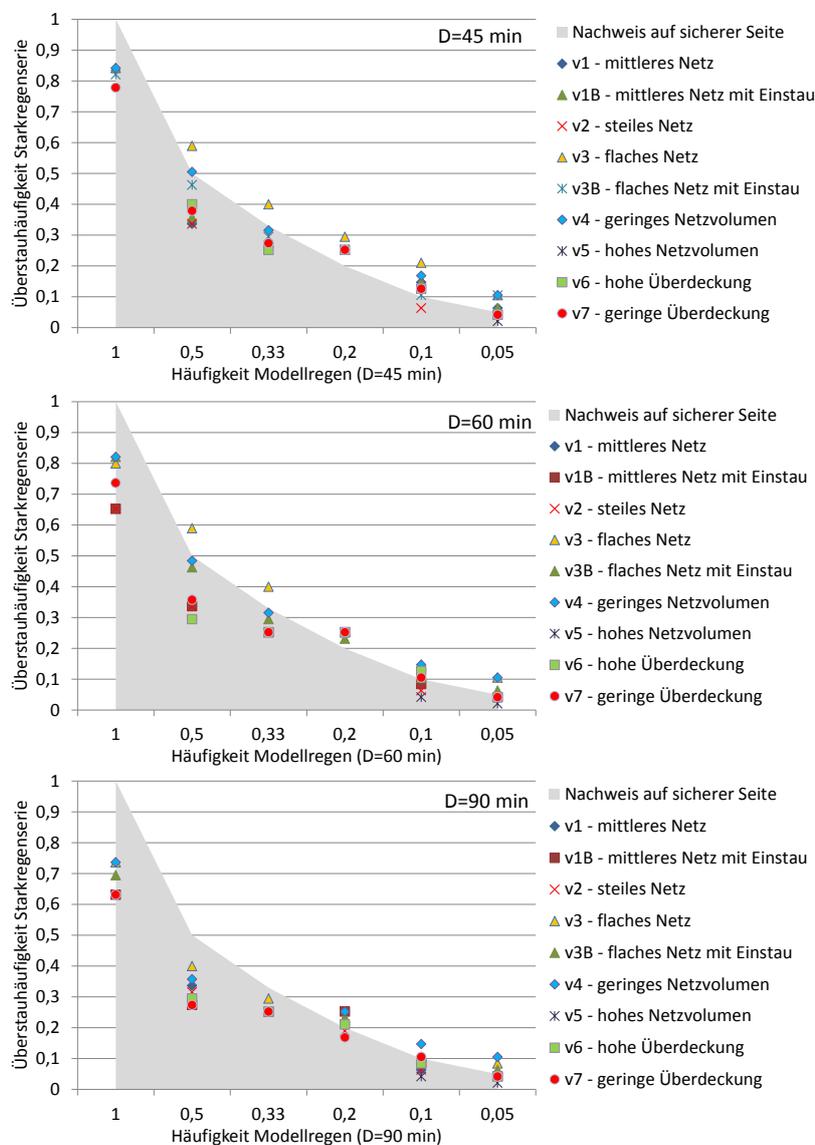


Abbildung 2: Rechnerische Überstauhäufigkeiten nach Starkregenseriensimulation gegenüber Regenhäufigkeit Berliner Modelregen der Dauern  $D=45 \text{ min}$  (oben),  $D=60 \text{ min}$  (Mitte) und  $D=90 \text{ min}$  (unten) aus Berechnung mit virtuellen Kanalnetze

---

## Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Berechnung der virtuellen Kanalnetze unter Ansatz von a) Berliner Modellregen und b) Starkregenserie haben gezeigt, dass die mit den Modellregen bestimmter Häufigkeit ermittelten Schachtüberstauungen bei der Starkregenseriensimulation mit vergleichbaren Wiederkehrzeiten auftreten. Somit kann die Aussage in DWA-A 118, dass „die Einschätzung der Überstauhäufigkeit nach beiden Methoden in weiten Bereichen gut übereinstimmt“ (DWA 2006, S.22), für Berliner Verhältnisse bestätigt werden.

Lediglich die seltenen Modellregen weisen teils geringere Sicherheiten auf. Das spricht dafür, bei Anlagen mit hohem Gefährdungs- und Schadenspotenzial, die auf entsprechend geringe Überstauhäufigkeiten zu bemessen sind, den Nachweis nicht mit Modellregen sondern unter Ansatz von Starkregenserien zu führen.

Die Gebiets- und Kanalnetzeigenschaften haben nur einen geringen Einfluss. Im Allgemeinen zeigen sich geringe Abweichungen zwischen den korrespondierenden Überstauhäufigkeiten der Netzvarianten. Dies spricht gegen den Ansatz gebiets- bzw. kanalnetzspezifischer Modellregen.

Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeiten wird empfohlen, den verwendeten Berechnungsregen nach dem Anwendungsfall zu wählen. Der Ansatz von Modellregen bietet sich an bei der Ermittlung der Leistungsfähigkeit bestehender Kanalnetze, bei Variantenuntersuchungen und bei der Bemessung temporärer Umleitungen. Aufgrund der dargestellten Unsicherheiten sollten Modellregen im Nachweisverfahren jedoch nur bei einfachen Kanalnetzen verwendet werden. Bei der Verwendung von Modellregen wird empfohlen, die Regenhäufigkeit entsprechend der geforderten Überstauhäufigkeit nach DWA-A 118 zu wählen. In der Regel sollten Modellregen der Dauer  $D=60$  min, im Fall von besonders langgestreckten Netzen mit hohen Fließzeiten Modellregen höherer Dauer ( $D=90$  min) verwendet werden.

Der Ansatz von Starkregenserien wird empfohlen für den Nachweis von Sanierungs- und Neubauplanungen bei komplexen Systemgegebenheiten, insbesondere in Verbindung mit ausgeprägten Speicherwirkungen und bei Anlagen mit hohem Gefährdungs- und Schadenspotenzial, wie unterirdischen Verkehrsanlagen.

## Literatur

- Angermaier, G., Braunschmidt, St. Und Obermayer, A. (2012). Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Führung eines Überflutungsnachweises in urbanen Gebieten. GeoCPM: Geowissenschaftliche Simulation städtischer Abflussvorgänge. Korrespondenz Abwasser, Abfall (59), Nr. 5, 2012
- ATV-DVWK (2004). Bewertung der hydraulischen Leistungsfähigkeit bestehender Entwässerungssysteme. Arbeitsbericht der ATV-DVWK Arbeitsgruppe ES 2.1 „Berechnungsverfahren“. Korrespondenz Abwasser (51) Nr. 1, 2004
- BWB (2014). Aktualisierung der Berechnungsregen für die Durchführung hydraulischer Nachweise in der Misch- und Regenwasserkanalisation. Berliner Wasserbetriebe. Interner Bericht. 2014
- DIN (2008). DIN EN 752. Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. 2008
- DWA (2006). DWA Arbeitsblatt 118: Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- DWA (2012). DWA-A 531. Starkregen in Abhängigkeit von Wiederkehrzeit und Dauer. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef
- DWA (2013). Methoden der Überflutungsberechnung. Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 „Abfluss- und Schmutzfrachtsimulation“. Korrespondenz Abwasser, Abfall (60) Nr. 6, 2013
- ÖWAV (2009). ÖWAV-RB 11. Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- Schmitt, T.-G. und Thomas, M. (2000). Rechnerischer Nachweis der Überstauhäufigkeit auf der Basis von Modellregen und Starkregenserie. Korrespondenz Abwasser, (47) Nr. 1, 2000, S. 63
- Sitzenfrei, R., Fach, S., Kinzel, H. and Rauch, W. (2010). A multi-layer cellular automata approach for algorithmic generation of virtual case studies: VIBe. Water Science & Technology. Vol 61, No 1, pp 37–45
- Tandler, R. (1994). Ansätze für eine parallele Überstauberechnung von Kanalnetzen. Korrespondenz Abwasser, (41), Nr. 10, 1994, S. 1750-1761