

# Topografische Gefährdungsanalyse für Starkregenüberflutungen am Beispiel der Stadt Saarbrücken

## - Methodische Abstufungen und Sensitivitätsanalysen

Christian Scheid<sup>1)</sup>, Theo G. Schmitt<sup>2)</sup> und Simone Stöhr<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> TU Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Paul-Ehrlich-Str. 14 67663 Kaiserslautern, christian.scheid@bauing.uni-kl.de

<sup>2)</sup> TU Kaiserslautern, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Paul-Ehrlich-Str. 14 67663 Kaiserslautern, theo.schmitt@bauing.uni-kl.de

<sup>3)</sup> Zentraler Kommunalen Entsorgungsbetrieb Saarbrücken, Gaschhübel 1, 66113 Saarbrücken, simone.stoehr@saarbruecken.de

### Kurzfassung

Das Werkzeug der GIS-basierten topografischen Gefährdungsanalyse eignet sich sehr gut zur Grobanalyse und Erstbewertung von Überflutungsgefährdungen infolge Starkregen und urbaner Sturzfluten und liefert bei vertretbarem Arbeitsaufwand einen vergleichsweise hohen Informationsgewinn zur Gefährdungs- und Risikolage eines Untersuchungsgebiets. Im Rahmen des Forschungsprojekts „Entwicklung einer Methodik zur Überflutungsvorsorge und Klimaanpassung im Saarland (UVoSaar)“ wurden methodische Ansätze der topografischen Gefährdungsanalyse und Risikoabschätzung weiterentwickelt und anhand diverser Sensitivitätsbetrachtungen bewertet. Zusätzlich wurden Einflüsse der verwendeten Datengrundlage untersucht. Der Beitrag liefert einen Überblick zur gewählten Gesamtmethodik der Gefährdungsanalyse und diskutiert ausgewählte methodische Ansätze und wesentliche Aspekte der Gefährungsklassifizierung im Bereich von Senken.

### Einleitung

Der Schutz und die Vorsorge vor urbanen Überflutungen, wie sie durch extreme und außergewöhnliche Starkregenereignisse hervorgerufen werden, sind angesichts des hohen Schadensaufkommens und der Diskussion um die negativen Auswirkungen des Klimawandels eine zentrale Herausforderung, der sich die Siedlungsentwässerung in interdisziplinärem Zusammenwirken mit weiteren kommunalen Akteuren stellen muss (vgl. [1]). Die damit verbundenen Aktivitäten zur Entwicklung geeigneter Lösungsstrategien lassen sich für Deutschland sowohl an den aktuellen Gremienarbeiten (u.a. [2] bis [4]) als auch an der Anzahl der inzwischen durchgeführten Fallstudien zur Gefährdungs- und Risikoanalyse belegen (u.v.a. [5] bis [7]).

In diesem Kontext stellt die Durchführung einer fundierten Gefährdungs- und Risikoanalyse eine unverzichtbare Arbeitsgrundlage zur Entwicklung eines kommunalen Risikomanagements für Starkregenüberflutungen und urbane Sturzfluten dar. Bei der Gefährdungsanalyse wird methodisch abgestuft unterschieden in vereinfachte Gefährdungsabschätzungen sowie in topografische und hydraulische Gefährdungsanalysen [3]. Je nach gewähltem Ansatz sind unterschiedliche Ansprüche an Arbeitsaufwand und Datenerfordernis zu stellen, aber auch unterschiedliche Ergebnisse und Aussagetiefen erzielbar.

Nach Einschätzung der Autoren kommt der topografischen Gefährdungsanalyse, die im Wesentlichen GIS-basiert und ohne hydraulische Modellierung durchgeführt wird, in den nächsten Jahren eine herausragende Bedeutung zu bei Grobanalysen und Erstbewertungen von Überflutungsgefährdungen und -risiken. Wesentliche Gründe hierfür sind, dass sowohl leistungsfähige GIS-Werkzeuge als auch die zugehörigen Datengrundlagen (Geodaten) auf kommunaler Ebene allgemein verfügbar sind und sich demnach mit begrenztem Arbeitsaufwand ein hoher Informationsgewinn zur Gefährdungs- und Risikolage eines Untersuchungsgebiets erzielen lässt.

Grundsätzliche Anwendungsempfehlungen und Hinweise zum Datenbedarf bei der topografischen Gefährdungsanalyse finden sich in [3]. Darüber hinaus ist jedoch noch umfassend zu untersuchen,

- wie sich eine abgestufte Verwendung vorhandener Datengrundlagen und deren methodische Implementierung auf die Aussagegüte und Ergebnistiefe der topografischen Gefährdungsanalyse auswirken,
- in welchem Umfang methodische Defizite der topografischen Gefährdungsanalyse (u.a. keine bzw. nur grob pauschalierte Abbildung hydrologischer Zusammenhänge, rein stationäre Betrachtung des Oberflächenabflusses, keine adäquate Berücksichtigung des Einflusses der Kanalisation) hinsichtlich der Aussagekraft der Ergebnisse kompensierbar sind, und
- in welchem Ausmaß die Ergebnisse der Gefährdungsanalyse von einzelnen Einflussfaktoren beeinflusst werden (Sensitivitätsanalyse).

Im Rahmen des Forschungsprojekts „Entwicklung einer Methodik zur Überflutungsvorsorge und Klimaanpassung im Saarland (UVoSaar)“ wurden im Auftrag des Zentralen Kommunalen Eigenbetriebs der Stadt Saarbrücken und mit Förderung des Ministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz des Saarlandes einzelne Aspekte der vorgenannten Fragestellungen anhand ausgewählter methodischer Details untersucht.

## Methodik und Sensitivitätsbetrachtungen

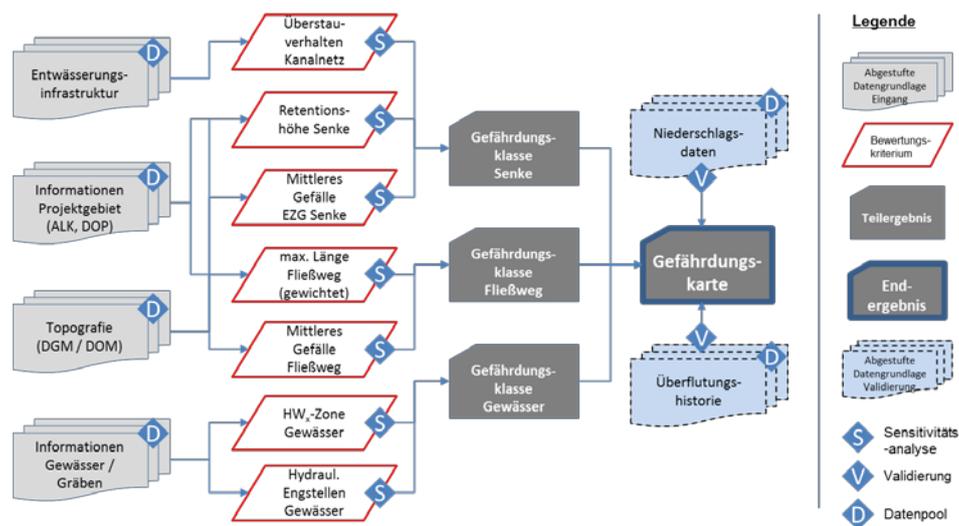


Abbildung 1: Abgestufte Methodik zur topografischen Gefährdungsanalyse

Grundsätzlich werden bei der topografischen Gefährdungsanalyse die unterschiedlichsten Einflussfaktoren zur Überflutungsgefährdung untersucht, die anhand verschiedener Eingangsdaten aus den vier Datenpools zum Projektgebiet, zur Entwässerungsinfrastruktur, zur Topografie und zu Fließgewässern und Gräben definierbar sind. Einzelne Einflussfaktoren werden bei entsprechend hoher Relevanz und guter Datenverfügbarkeit als Bewertungskriterien quantifiziert und zur Klassifizierung einzelner Gefährdungsbeiträge (von Senken, oberirdischen Fließwegen und Fließgewässern) herangezogen. Aus deren räumlicher Überlagerung resultiert dann eine Gesamtgefährdung, die als Gefährdungskarte visualisiert und anschließend anhand von Informationen zu historischen Überflutungsereignissen (Niederschlagsdaten, Einsatz- und Betriebsdaten) validiert wird.

Abbildung 1 stellt die im Rahmen von UVoSaar entwickelte Methodik zur topografischen Gefährdungsanalyse dar. Wesentlichen Einfluss auf das Analyseergebnis haben die Güte und Verfügbarkeit der Eingangsdatenpools (D) sowie die methodische Umsetzung der Bewertungskriterien, zu denen Sensitivitätsbetrachtungen (S) erforderlich sind. Der vorliegende Beitrag beschreibt folgende, ausgewählte Sensitivitätsbetrachtungen zur Umsetzung von Bewertungskriterien für Senken:

- Geländevorglättung und Senken-Vorauswahl
- Gefährdungsklassifizierung von Senken
- Senkenfüllung (partieller Senkeneinstau und -überlauf)

Die Untersuchungen wurden an einem Teilgebiet von Saarbrücken (Größe ca. 30 km<sup>2</sup>) durchgeführt, das sich über den Innenstadtbereich nördlich der Saar erstreckt (i. W. die Stadtteile Malstatt, Jägersfreude, Teile von St. Johann und Alt-Saarbrücken). Das Gebiet weist sowohl aus der Vergangenheit bekannte Überflutungsschwerpunkte als auch eine ausreichend heterogene Siedlungs- und Bebauungsstruktur auf, um neben gebietsspezifischen Bewertungen auch allgemeingültige Aussagen zur methodischen Übertragbarkeit treffen zu können.

## Ergebnisse und Diskussion

### Sensitivitätsbetrachtungen zur DGM-Vorglättung

Ein obligatorischer Arbeitsschritt zur Aufbereitung des digitalen Geländemodells (DGM) besteht in einer Vorglättung, bei der GIS-gestützt kleinste oder nicht relevante Mulden, z.B. solche, die unterhalb der Höhengenaugigkeitsschwelle des DOM liegen, virtuell aufgefüllt werden, was zu einer reduzierten, überschaubaren Senkenanzahl und einer ausgeprägteren Fließweggenerierung führt. Umgekehrt gehen mit jeder Glättungsprozedur auch topografische Informationsverluste und eine Abweichung von tatsächlichen Gegebenheiten einher, die die Aussagegüte der Senken- und Fließweganalyse lokal verschlechtern können (vgl. [8]). Die DGM-Glättung wird anhand eines oder mehrerer Parameter vorgenommen, deren Grenzwerte Sensitivitätsbetrachtungen zu unterziehen sind. Im vorliegenden Fall wurden am Beispiel Saarbrücken vier Varianten untersucht, bei denen die Glättung des DGM1 (Rasterauflösung 1m) über die Festlegung unterschiedlicher Mindestgrößen der Senkeneinzugsgebiete (1.000 m<sup>2</sup>, 2.000 m<sup>2</sup>, 3.500 m<sup>2</sup> und 5.000 m<sup>2</sup>) erfolgte.

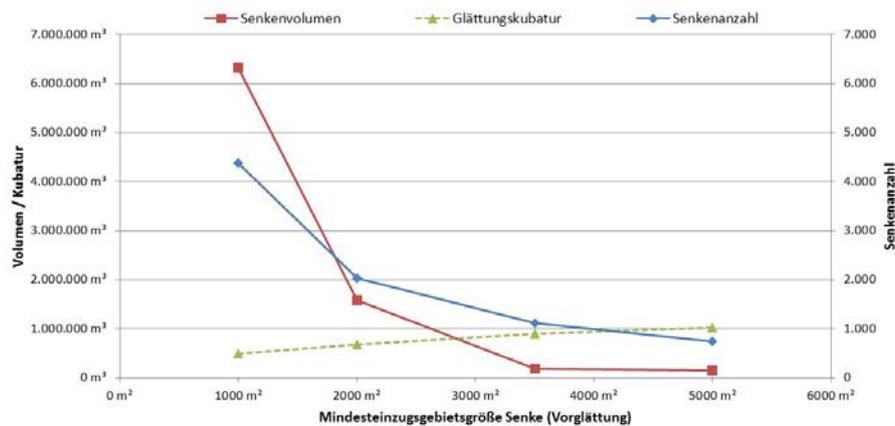


Abbildung 2: Sensitivitätsbetrachtung zur DGM-Vorglättung anhand der Senkeneinzugsgebietsgröße, Beispiel Saarbrücken

Im Vergleich der vier Glättungsvarianten bestätigt sich der bekannte Sachverhalt, dass mit zunehmender Mindesteinzugsgebietsgröße rasch sowohl die verbleibende Senkenanzahl als auch deren Volumen abnimmt (Abbildung 2). Viel bedeutsamer ist jedoch die Größenordnung der Volumenreduktion: Je nach Festlegung des Grenzwerts resultieren teils erhebliche Glättungskubaturen durch den virtuellen Auffüllprozess, die sogar die Größenordnung des Gesamtvolumens der verbleibenden Senken überschreiten können, im vorliegenden Fall bereits bei einer Mindesteinzugsgebietsgröße von 3.000 m<sup>2</sup>. Die Auswertung zeigt, wie gravierend die DGM-Manipulationen durch Vorglättung sein können und wie sensitiv dieser Prozess die Ergebnisse beeinflusst. Im Übrigen erwies sich für das Fallbeispiel Saarbrücken eine Vorglättung über eine Mindestsenkentiefe von 10 cm (in Orientierung an der Höhengenaugigkeit des DGM1) als der bestgeeignete Ansatz.

### Sensitivitätsbetrachtungen zur Gefährdungsklassifizierung von Senken

Zur Gefährdungsklassifizierung von Senken wurden drei unterschiedlich detaillierte Ansätze am Fallbeispiel Saarbrücken untersucht und miteinander verglichen. Bei Ansatz 1 erfolgt keine Klassifizierung im eigentlichen Sinne, alle Senken werden als einheitliche Gefährdungsbereiche ohne Differenzierung gesehen. Dieser Ansatz reicht nur für kleinere Untersuchungsgebiete aus, wenn eine Anzahl relevanter Senken vorliegt, die per se in der weiterführenden Risikoabschätzung bewertet werden. Ansatz 2 nimmt eine Gefährdungsklassifizierung der gesamten Senkenausdehnung anhand eines festgelegten Parameters vor. Hierfür hat sich insbesondere die Retentionshöhe  $h_{Ret}$  einer Senke, bewährt. Sie entspricht dem flächenspezifischen Senkenvolumen (Quotient

aus topografisch maximal möglichem Senkenvolumen und der angeschlossenen, abflusswirksamen Einzugsgebietsfläche), ist jedoch aufgrund der Dimension [mm] äquivalent zu der für eine vollständige Volumenaktivierung erforderlichen Niederschlagsabflusshöhe eines Starkregenereignisses (vgl. [9]).

Die Verwendung der Retentionshöhe erlaubt Rückschlüsse auf die statistische Wahrscheinlichkeit einer Überflutungsgefährdung im Gesamtbereich der Senke und ist als Klassifizierungsparameter anderen, geometrischen Senkenparametern (max. Einstautiefe, max. Volumen) vorzuziehen. Naturgemäß weisen die Senken eines Untersuchungsgebiets eine breite Wertespanne von  $h_{Ret}$  auf und die Festlegung der Klassengrenzen erfolgt gebietsspezifisch z.B. anhand einer statistischen Auswertung (Verteilungsfunktion). Für das Projektgebiet wurden vier Gefährdungsklassen mit Retentionshöhen von 2mm, 10mm und 40mm als sinnvolle Klassengrenzen festgelegt. Dieser Ansatz ermöglicht zwar einen Gefährdungsvergleich der Senken untereinander, jedoch nur bezogen auf die maximale Senkenausdehnung. Für große, ausgedehnte Senken ist dies zu ungenau. Da die Senkenfüllung immer am Senkentiefpunkt einsetzt, herrscht dort grundsätzlich eine größere potenzielle Überflutungsgefahr als in den Senkenrandbereichen. Ansatz 3 berücksichtigt dies, indem zu den definierten Klassengrenzen  $h_{Ret}$  der Teileinstau einer Senke berechnet und eine Differenzierung des Gefährdungspotenzials in Senkenzonen vornimmt. Zusätzlich wird empfohlen, eine Obergrenze für  $h_{Ret}$  über den praxisrelevanten Extremwert des Niederschlags (PEN) nach [10] einzuführen, um Randbereiche von Senken, die physikalisch bedingt aufgrund des zu geringen Einzugsgebiets praktisch nie geflutet werden können, als Gefährdungsbereiche auszuschließen.

Je nach Klassifizierungsansatz ergeben sich gravierende Unterschiede bei der Gefährdungseinstufung (Abbildung 3). Die erweiterte Bewertung anhand von Einstauzonen (Ansatz 3) führt zu einer klaren Verschärfung der Gefährdungsverteilung gegenüber Ansatz 2, weil damit auch die größeren, gemäß Definition nach Ansatz 2 „ungefährlicheren“ Senken einen Teilbereich in Gefährdungszone 4 aufweisen. Der Klassifizierungsansatz 3 ist trotz des erhöhten Berechnungsaufwands zu präferieren, weil er eine differenzierte Gefährdungsbewertung ermöglicht. Alternativ kann bei entsprechender Datenverfügbarkeit eine analoge Einstufung von Gefährdungszonen auch über die Niederschlagsabflusshöhen ausgewählter Referenzereignisse der Vergangenheit erfolgen.

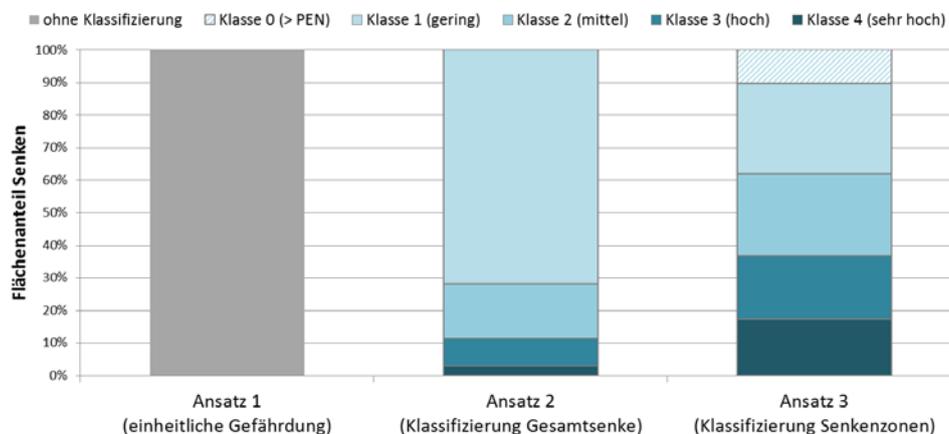


Abbildung 3: Flächenanteile der Senkengefährdungsklassen je Klassifizierungsansatz, Beispiel Saarbrücken

## Sensitivitätsbetrachtungen zur Senkenfüllung

Bei der methodischen Umsetzung des Ansatzes 3 muss die Berechnung verschiedener Senkenfüllstände als gesonderter GIS-Arbeitsschritt in Form einer Volumenintegration durchgeführt werden. Da entsprechende Routinen oftmals nicht standardmäßig zur Verfügung stehen, bedient man sich als Näherung einer definierten empirischen Speicherinhaltslinie  $S(H) = a \cdot H^b$  mit  $S(H)$  als Speicherinhalt  $S$  für die Füllhöhe  $H$ ,  $a$  als Anpassungsfaktor (hier  $a = 1$ ) und  $b$  als Exponent zur Beschreibung der räumlichen Geometrie der Senke (Wertespektrum bei Hochwasserrückhaltebecken zwischen  $b = 1,0$  und  $b = 4,5$ ) [11].

Am Fallbeispiel Saarbrücken wurde anhand der größten Senken (Gesamtanzahl 215) untersucht, mit welchem Exponent  $b$  die beste Näherung in Bezug auf den maximalen Fehler bei der Einstauhöhe erreicht wird und in welcher Größenordnung dieser Fehler liegt. Abbildung 4 zeigt, dass in den meisten Fällen mit Werten zwischen  $b = 1,7$  und  $b = 2,7$  die besten Annäherungen erreicht wurden. Generell liegen jedoch die Abweichungen gegenüber einer Volumenintegration in den meisten Fällen im Bereich von 1-2 dm bei Extremwerten von bis zu 1,1m bei einer Einzelsenke. Daraus folgt, dass insbesondere bei größeren Senken auf eine Volumenintegration trotz des erhöhten Arbeitsaufwands nicht verzichtet werden sollte.

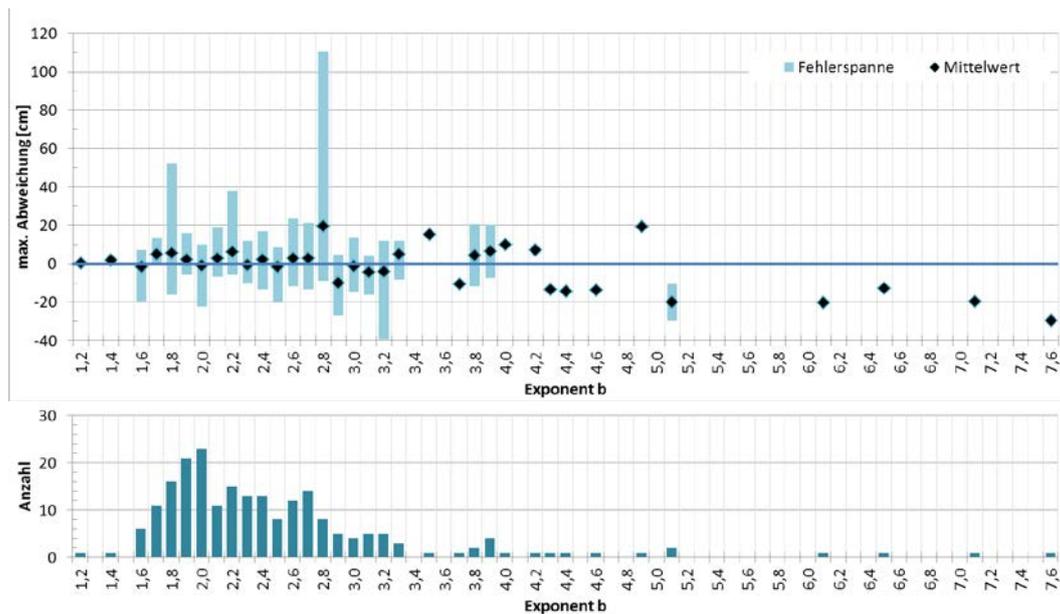


Abbildung 4: Häufigkeiten (unten) unterschiedlicher Exponenten  $b$  und Fehlerbereiche (oben) bei der näherungsweise Berechnung von Teilfüllungsvolumen von Senken, Beispiel Saarbrücken

Bei der Ergebnisvalidierung werden häufig historische Starkregenereignisse in ihrer Überflutungsausprägung, die sich anhand geleisteter Feuerwehreinsätze und Medienberichte nachvollziehen lassen, als Überflutungskarte GIS-basiert erzeugt. Dazu werden grobe hydrologische Abschätzungen des Niederschlagsabflussprozesses vorgenommen und einfache Volumenbilanzen erstellt (vgl. [3], [5]). Es ist dabei ereignisspezifisch auch zu entscheiden, ob und in welchem Umfang der Abflussbeitrag der Kanalisation zur Reduktion des Überflutungsvolumens beiträgt. Methodisch wird je nach Fragestellung der Einfluss der Kanalisation vernachlässigt [5], oder es werden hierzu entweder konstante bzw. an entsprechenden Wiederkehrzeiten ausgerichtete Abflusshöhen abmindernd in Ansatz gebracht (u.a. [12]). Im Fallbeispiel Saarbrücken wurde für alle Senken mit kanalisiertem Einzugsgebieten vereinfacht ein Abzug von 15 mm in Ansatz gebracht, was ungefähr der Niederschlagshöhe eines 1-jährlichen Ereignisses einer Stunde Dauer entspricht.

Als weiterer Aspekt ist zu bewerten, in welchem Maße nach einer Vollfüllung einer Senke durch das angesetzte Abflussvolumen des Ereignisses ein Überlauf in unterhalb liegende Senkeneinzugsgebiete bewertungsrelevant ist. Eine Untersuchung im Fallbeispiel Saarbrücken zeigte für 11 ausgewählte historische Starkregenereignisse unterschiedlichster Wiederkehrzeiten, dass mit steigendem Ableitungsbeitrag der Kanalisation zwar das gesamte Überlaufvolumen der Senken deutlich abnimmt, jedoch der Überlaufanteil sich deutlich schwächer reduziert und keinesfalls vernachlässigt werden sollte. Für die durchgeführten Sensitivitätsbetrachtungen mit Kanalabflussbeiträgen zwischen 0 mm und 25 mm (entspricht etwa einem 2-jährlichen Ereignis von zwei Stunden Dauer) reduzierten sich die Überlaufanteile von ca. 53% auf ca. 37% (siehe Abbildung 5).

Insgesamt ist zu beachten, dass mit solchen überschlägigen Volumenbilanzen und stationären Ansätzen von Niederschlagshöhen die Aussagegrenzen der topografischen Gefährdungsanalyse bzgl. der Abbildung von Niederschlagsabflussprozessen erreicht sind.

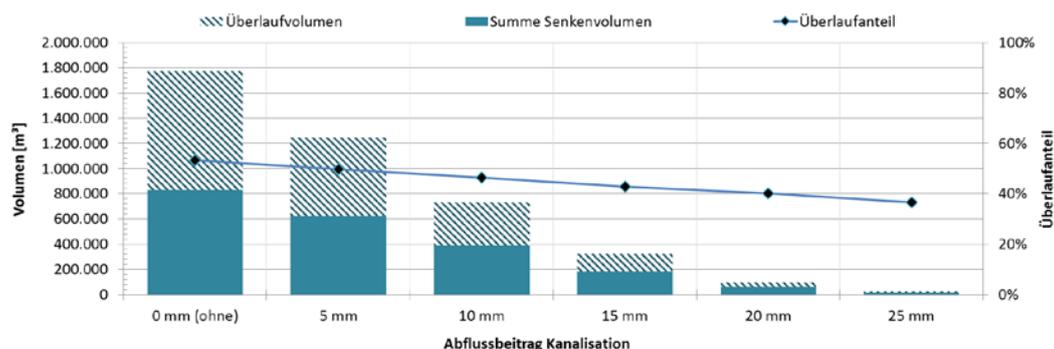


Abbildung 5: Veränderung von Senkenvolumina, Überlaufvolumina und -anteile je Ansatz zum Abflussbeitrag der Kanalisation, Beispiel Saarbrücken mit 11 ausgewählten Starkregenereignissen

## Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegend erläuterten Sensitivitätsbetrachtungen zur topografischen Gefährdungsanalyse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Neben der Auflösung des eingesetzten DGM hat insbesondere dessen Aufbereitung durch Vorglättung einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Da vorgefüllte Senken in den weiteren Analyseschritten i.d.R. nicht mehr als Gefährdungsbereiche lokalisiert werden, sollten die Vorglättung mit großer Sorgfalt und die Grenzparameter entsprechend defensiv gewählt werden. Das Fallbeispiel Saarbrücken hat gezeigt, dass die Mindestsenkentiefe besser als Vorglättungsparameter geeignet ist als die Mindesteinzugsgebietsgröße. So wurden bereits bei moderaten Schwellwerten der Einzugsgebietsgröße Glättungskubaturen erzeugt, die das verbleibende Senkenvolumen überstiegen.
- Zur Gefährdungsklassifizierung im Bereich der Senken sollte eine qualitative Abstufung anhand von Einstauzonen vorgenommen werden, damit insbesondere bei größeren, ausgedehnten Senken eine Gefährdungsdifferenzierung möglich ist. Die Retentionshöhe  $h_{Ret}$  oder das flächenspezifische Senkenvolumen sind dabei einzelnen geometrischen Parametern vorzuziehen. Es wird zudem eine Abgrenzung des Gefährdungspotenzials „nach oben“ anhand des PEN empfohlen. Alternativ können Referenzereignisse der Vergangenheit zur abgestuften Klassifizierung herangezogen werden.
- Bei der Visualisierung von Gefährdungskarten und von Überflutungskarten historischer Ereignisse sollte trotz des erhöhten Bearbeitungsaufwands eine Integration des jeweiligen Einstauvolumens anhand der exakten Senkengeometrie vorgenommen werden. Das Fallbeispiel Saarbrücken hat gezeigt, dass Näherungsberechnungen mit Speicherinhaltslinien vor allem bei großen Senken zu große Unschärfen produzieren. Zusätzlich ist der Aspekt des Überlaufens von Senken nicht zu vernachlässigen und sollte vereinfachend bei der Volumenbilanzierung von Niederschlagsereignissen berücksichtigt werden.

## Literatur

- [1] Schmitt, T.G.: Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen – Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz? KA-Korrespondenz Abwasser Abfall, Jahrgang 58 (2011), Nr. 1, 40-49
- [2] DWA: Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge – Analyse der Überflutungsgefährdung und Schadenspotenziale zur Bewertung von Überflutungsrisiken, DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 119, Entwurf, (in Bearbeitung), GFA, Hennef
- [3] DWA/ BWK: Starkregen und urbane Sturzfluten – Praxisleitfaden zur Überflutungsvorsorge. DWA-Themen T1/2013, August 2013, Hennef sowie BWK-Fachinformation 1/2013, Juli 2013, Stuttgart
- [4] Schmitt, T.G. und Worreschk, S.: KRisMa - Kommunales Risikomanagement „Überflutungsschutz“. Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz und des Wasserwirtschaftsverbandes Baden-Württemberg, Mai 2011 (unveröffentlicht)
- [5] Nichler, T., Niemann, A., Illgen, M.: Risikobewertung von Starkregenereignissen – Vorgehensweise und Lösungsansätze, in: 9. DWA-Regenwassertage, 08./09.06.2010, Bremen
- [6] Niemann, A., Illgen, M.: Urbane Überflutungsvorsorge – Was die Siedlungsentwässerung vom gewässerseitigen Hochwasserschutz lernen kann, in: 10. DWA-Regenwassertage, 10./11.05.2011, Bremen
- [7] Hoppe, H. und Graf-van Riesenbeck, G.: Von der Hochwasserkarte zur urbanen Gefährdungsanalyse – Methodik und Projekterfahrungen. DWA-Tagung „GIS und GDI in der Wasserwirtschaft“, 25./26.01.2012, Kassel
- [8] Nichler, T., Illgen, M. und Schäfer, E.: Risikobewertung von Starkniederschlägen am Beispiel der Stadt Stuttgart, in: Tagungsband zur 44. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 23.-25.03.2011, Aachen. Schriftenreihe GWA der Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, Band 223, ISBN 978-3-938996-29-4
- [9] Scheid, C.; Schmitt, T.G.; Bischoff, G.; Hüffmeyer, N.; Krieger, K.; Waldhoff, A. und Günner, C.: GIS-based methodology for pluvial flood risk analysis in Hamburg. Proceedings 8th international conference NOVATECH 2013, planning and technologies for sustainable urban water management, June 23-27, 2013
- [10] Verworn, H.-R. und Kummer, U.: Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau Leibniz Universität Hannover, Schlussbericht Februar 2006
- [11] Maniak, U. (2010): Hydrologie und Wasserwirtschaft: eine Einführung für Ingenieure. Springer-Verlag, ISBN 3642053963
- [12] Czickus, S.: Stadtgebietsweite Risikoanalysen auf Basis von Fließwegen und Senken. 13. DWA-Regenwassertage, 01. - 02. Juli 2014, Dresden