

# Die bunte Welt der Gefahrenkarten bei Starkregen – Ein Methodenvergleich

H. Hürter<sup>1,\*</sup>, T. G. Schmitt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Technische Universität Kaiserslautern, Paul-Ehrlich-Str. 14,  
DE-67663 Kaiserslautern

\*Email des korrespondierenden Autors: hagen.huerter@bauing.uni-kl.de

**Kurzfassung** Die Identifizierung von Bereichen mit hoher starkregeninduzierter Überflutungsgefährdung rückt vor dem Hintergrund einer Häufung schadensträchtiger Ereignisse in den vergangenen Jahren in den Fokus der öffentlichen Diskussion. Ein zunehmender Bedarf an Aussagen zur lokalen Gefährdungslage ist die Folge. Methoden zur Durchführung entsprechender Gefährdungsanalysen existieren, eine Validierung stellt sich aufgrund der beschränkten „Messbarkeit“ der selten auftretenden Überflutungsereignisse jedoch als äußerst schwierig dar. Die vorliegende Untersuchung befasst sich mit der Durchführung einer solchen Validierung an einem Referenzmodell. Weiterhin werden Auswirkungen abweichender Modellvarianten auf die Aussage zur Gefährdungslage untersucht.

**Schlagwörter:** Modellierung, Überflutungsanalyse, Gefahrenkartierung, gekoppelte 1D/2D-Abflusssimulation, Methodenvergleich

## 1 EINLEITUNG

Die Lokalisierung und Bewertung urbaner Gefährdungsbereiche im Kontext überflutungsrelevanter Starkregenereignisse rückt vor dem Hintergrund einer Häufung schadensträchtiger Ereignisse in den letzten Jahren (GDV, 2015) in das Interesse von Kommunen und Fachwelt. Die mögliche Zunahme außergewöhnlicher Niederschlagsereignisse im Zusammenhang mit dem Klimawandel bekräftigt diese Entwicklung zusätzlich. Derzeit existieren unterschiedliche Methoden der Gefährdungsanalyse, die auch bereits im neuen Regelwerk DWA-M 119 (Gelbdruck) beschrieben werden (DWA, 2016). Es mangelt jedoch noch an konkreten Empfehlungen oder gar Festlegungen zur anwendungsspezifischen Auswahl und zur Aussagekraft dieser Methoden. Der Bedarf an Informationen zur Gefährdungslage einerseits und die methodische Unschärfe im Bereich der Gefährdungsanalyse andererseits führt zur Erzeugung „bunter“ Gefährdungskarten. Diese liefern je nach verwendetem Modellansatz und Detaillierungsgrad, je nach verwendeter Datengrundlage und Darstellungsart und letztlich auch je nach Bearbeiter unterschiedliche Aussagen zur Gefährdungslage. Eine Validierung ist aufgrund der fehlenden Messbarkeit und der Seltenheit von Überflutungsereignissen „im Betrachtungsraum“ oft nur sehr schwer bis gar nicht möglich. Erste vergleichende Untersuchungen mit unterschiedlichen Modellansätzen lassen auf eine nicht zu vernachlässigende Auswirkung der genannten Faktoren auf die Analyseergebnisse schließen (Fuchs et al., 2015).

Aus Sicht der Autoren ist es notwendig, die Auswirkungen verschiedener Methoden anhand definierter Indikatoren miteinander zu vergleichen und Effekte der Auslenkung einzelner Stellgrößen in der Modellierung zu analysieren. Der Schwerpunkt wird dabei auf die Betrachtung verschiedener Modellvarianten und Datengrundlagen innerhalb der gekoppelten 1D/2D-Abflussberechnung gelegt.

## 2 MATERIAL UND METHODEN

### 2.1 Vorgehensweise

Typischerweise wird ein Simulationsmodell anhand von Messdaten zum realen Systemverhalten kalibriert. Im Bereich der Analyse zur Überflutungsgefährdung bei Starkregen sind solche „Messdaten“ im relevanten Belastungsbereich in der Regel nicht vorhanden. Aus diesem Grund werden die verschiedenen Modellvarianten im Rahmen dieser Untersuchung mit einem hochdetaillierten

Referenzmodell verglichen, welches mithilfe von Daten zu historischen Überflutungsereignissen (Daten zum Niederschlagsgeschehen, Feuerwehrdaten sowie Videoaufnahmen zum Überflutungsgechehen) weitestmöglich validiert wurde.

## 2.2 Beschreibung des Referenzmodells

Zur Durchführung der Untersuchungen stehen ein kalibriertes Kanalnetzmodell mit hoher Teilflächenschärfe sowie ein hochaufgelöstes digitales Geländemodell zur Verfügung. Zusätzlich sind Informationen zur abflussbeeinflussenden Kubatur wie Bordsteinkanten und Gebäudedurchlässe verfügbar, die in die Modellierung des Oberflächenmodells mit eingeflossen sind. Das Abflussverhalten im Referenzmodell wird durch eine gekoppelte 1D/2D-Abflusssimulation berechnet. Hierbei wird das Abflussgeschehen im Kanalnetz (1D) und das Abflussgeschehen an der Oberfläche (2D) simultan berechnet. Oberirdisches und unterirdisches Modell sind über Kopplungspunkte verbunden, wodurch ein Austausch zwischen den beiden Modellen in beide Richtungen und in jedem Zeitschritt möglich ist (bidirektionale Kopplung). Im Referenzmodell findet die Kopplung sowohl über eigens modellierte Straßeneinläufe sowie über die Schächte statt. Der Abfluss von der Oberfläche in das Kanalnetz wird über die Überfallformel nach Poleni abgebildet ( $2D \rightarrow 1D$ ). Bei Austritt von Wasser aus der Kanalisation an die Oberfläche ( $1D \rightarrow 2D$ ) wird der hydraulische Zusammenhang über die Energieformel abgebildet. Die Oberflächenrauheit wurde flächenspezifisch abgebildet. Hinsichtlich der Abflusskonzentration wurde im Referenzmodell der Ansatz gewählt, dass Dachflächenabflüsse direkt dem 1D-Kanalnetzmodell zugeordnet werden. Im Bereich von Straßen-, Hof-, und Grünflächen wird dagegen eine direkte Berechnung des 2D-Oberflächenmodells angesetzt. Ein Eintritt des von diesen Flächen abfließenden Wassers in die Kanalisation kann nur über die o.g. 1D/2D-Kopplungspunkte erfolgen.

Tabelle 1: Modellkonfiguration des Referenzmodells

Stellgröße	Festlegung
allg. Modellansatz	gekoppeltes 1D/2D-Modell
Oberflächenmodell	Oberflächentriangulation nach Shewchuk auf Basis eines DGM1, Maximale Elementgröße: 1m <sup>2</sup>
Oberflächenrauheit	Abbildung entsprechend Flächenart (Hof, Straße, Grünfläche)
Kopplungspunkt	Schächte und Straßeneinläufe, Kopplung über Wehrüberfallformel bzw. Energieformel
Abflusskonzentration	Dachflächenabfluss $\rightarrow$ 1D-Kanalnetzmodell, Abfluss von Straßen-, Hof- und Grünfläche $\rightarrow$ 2D-Oberflächenmodell
Abflussbeeinflussende Strukturen	Abbildung von Bordsteinkanten als Bruchkanten, Modellierung von Innenhofzufahrten und sonstigen Gebäudeunterführungen

## 2.3 Validierung des Referenzmodells anhand historischer Daten

Zur Validierung des 1D/2D-Referenzmodells existieren Niederschlagsdaten zu einem überflutungsrelevanten Starkregenereignis. Aus Dokumentationen von zeitgleich stattgefundenen Feuerwehrinsätzen und überflutungsbezogenem Videomaterial konnten Wasserstände auf der Straße abgeschätzt und für die Validierung des Referenzmodells georeferenziert werden.

Das Niederschlagsereignis wurde an einem nur 300 Meter entfernten Regenschreiber registriert. Es handelt sich um ein Ereignis von 105 Minuten Dauer und einer Niederschlagssumme von 54 mm, was einer statistischen Wiederkehrzeit von ca. 30 Jahren entspricht. Das Niederschlagsereignis wurde in seinem originären zeitlichen Verlauf als flächige Niederschlagsbelastung im Modell angesetzt. Abbildung 1 zeigt die mit dem Referenzmodell berechneten Wasserstände (links) im Vergleich zu den aus dem Video abgeleiteten Wasserständen (rechts, dargestellt als Verschneidung mit dem digitalen Geländemodell). Eine gute Übereinstimmung von simulierten mit beobachteten Wasserständen ist erkennbar.

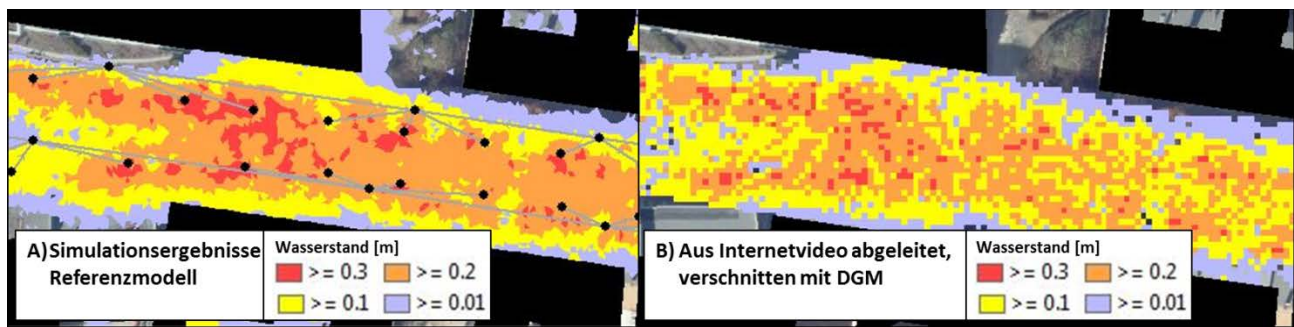


Abb. 1: Berechnete (A) und beobachtete (B) Wasserstände für das historische Ereignis

## 2.4 Vergleichsindikatoren

Der Vergleich zwischen den verschiedenen Modellvarianten und dem Referenzmodell erfolgt anhand von definierten Indikatoren. Diese sollen zum einen eine hohe Empfindlichkeit hinsichtlich feiner Modellunterschiede ermöglichen und zum anderen anwendungsrelevante Aussagen zur Gefährdungslage erlauben. Tabelle 2 zeigt eine Auswahl der angewendeten Vergleichsindikatoren.

Tabelle 2: Vergleichsindikatoren (Auswahl)

Indikator	Beschreibung	Einheit
gebäudescharfe Gefährdungsklassifizierung	Anzahl Gebäude je Gefährdungsklasse	[Anzahl Geb. · GK]
gebäudescharfe Wasserstände	Maximaler Wasserstand je Gebäude	[m]
Überflutungsvolumen	maximales Volumen auf der Oberfläche (Gesamtgebiet)	[m <sup>3</sup> ]
Kopplungspunkt Kanalnetz (jeweils für Schächte/Straßeneinläufe)	Gesamtes ein- bzw. austretendes Volumen am Kopplungspunkt (Gesamtgebiet)	[m <sup>3</sup> ]

## 2.5 Betrachtete Modellkonfigurationen

Ziel der Untersuchung ist die Bewertung des Einflusses verschiedener Modellierungsstellgrößen auf das Simulationsergebnis und damit auf die Aussagen hinsichtlich der Überflutungsgefährdung. Dazu wurden die jeweils betrachteten Stellgrößen in einzelnen Modellvarianten im Vergleich zum Referenzmodell ausgelenkt und die Simulationsergebnisse mit denen des Referenzmodells verglichen. Als Niederschlagsbelastung wurde jeweils ein Modellregen der Dauer 60 min mit einer Niederschlagshöhe von 57 mm angesetzt, was in dem betrachteten Gebiet einer statistischen Wiederkehrzeit von 50 Jahren entspricht. Diese Niederschlagsbelastung entspricht einem nach DWA-M 119 definierten außergewöhnlichen Starkregen und ist damit für die Durchführung von Gefährdungsanalysen anwendungsrelevant. Tabelle 3 zeigt eine Auswahl der betrachteten Modellvarianten.

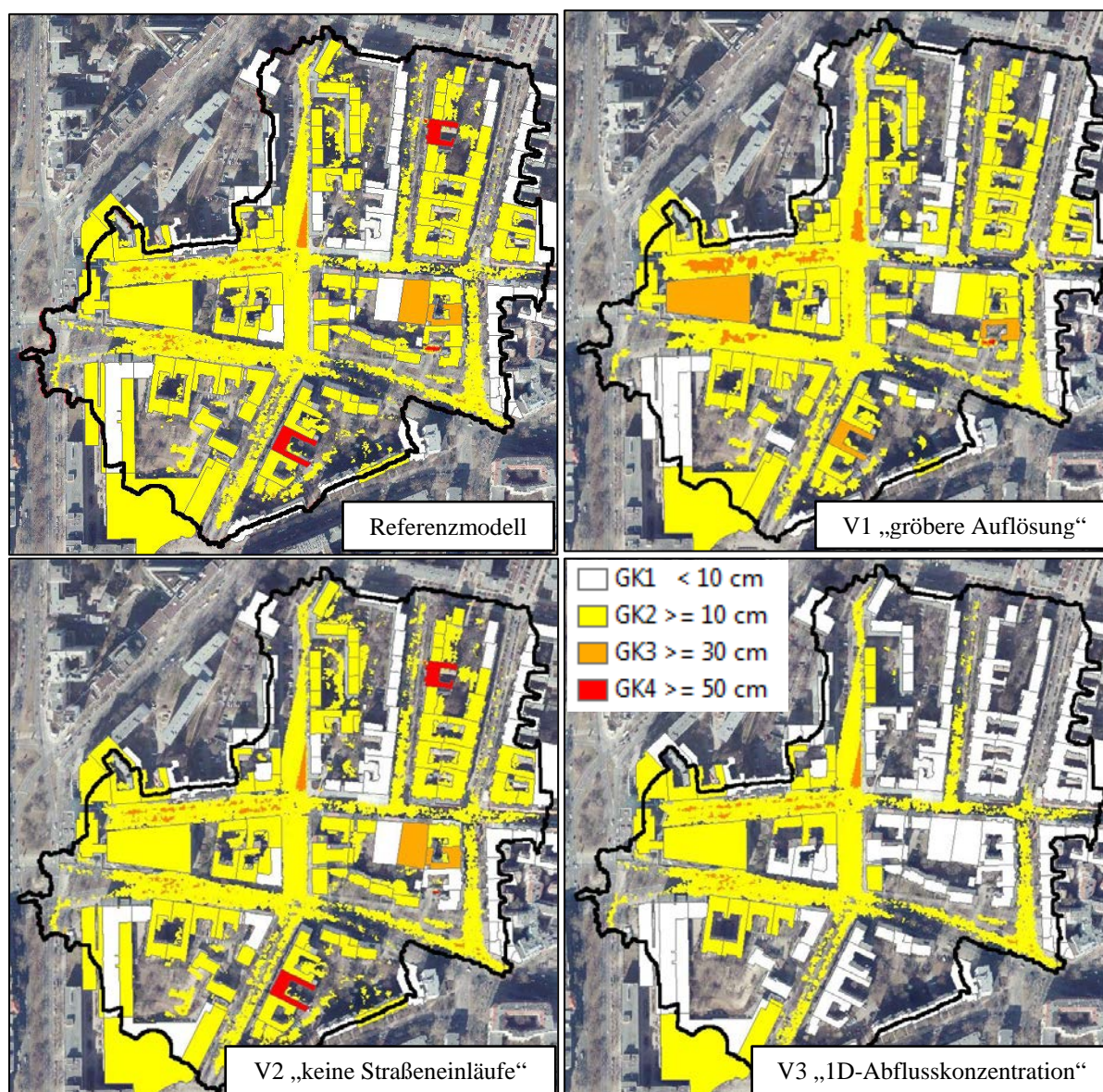
Tabelle 3: Modellvarianten (Auswahl)

Variante	Beschreibung und Begründung
1., „gröbere Auflösung“	Untersuchung einer gröberen Auflösung (Elementgröße min/max = 1m <sup>2</sup> /10m <sup>2</sup> ). Oftmals ist eine hohe Auflösung aufgrund unzureichender Datengrundlage oder begrenzter Rechenleistung nicht möglich.
2., „keine Straßeneinläufe“	Keine Abbildung von Straßenabläufen, die Kopplung findet allein über die Schächte statt. Georeferenzierte Straßeneinläufe und deren Integration im Kanalnetzmodell ist in den meisten Kommunen nicht vorhanden.
3., „1D-Abflusskonzentration“	Der komplette Oberflächenabfluss wird zunächst dem 1D-Kanalnetzmodell zugeordnet. Oberflächiger Abfluss im 2D-Oberflächenmodell findet erst nach Wassersaustritt aus der Kanalisation statt.



### 3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Gefährdungsanalyse für Referenzmodell und Varianten. Diese sind in Tabelle 4 quantifiziert. Dargestellt sind maximale Wasserstände in der Fläche sowie Gebäude im Modellgebiet. Die farbliche Abstufung richtet sich entsprechend der in DWA-M 119 (Gelbdruck) vorgeschlagenen Gefährdungsklassifizierung nach dem anstehenden Wasserstand (siehe Legende Abbildung 2). Maßgebend für die Klassifizierung eines Gebäudes ist der maximale Wasserstand, der sich in einem Abstand von 10 cm rund um das Gebäude einstellt.



**Abb. 2: Gefährdungsdarstellung für Referenzmodell und Varianten – max. Wasserstand/Gefährdungsklassen**

Tabelle 4: Aussagerelevante Indikatoren

Variante	Gebäudescharfe Gefährdungsklassifizierung [Anzahl Gebäude je Gefährdungsklasse]				Gebäudescharfer Wasserstand [m]		
	GK1	GK2	GK3	GK4	Maximum	Median	Summe
Referenzmodell	62	74	2	2	0,66	0,12	17,55
1 „größere Auflösung“	64	73	3	0	0,41	0,12	16,91
2 „keine Straßeneinläufe“	66	70	2	2	0,66	0,11	17,04
3 „1D-Abflusskonzentration“	120	20	0	0	0,25	0,00	4,44

Im Variantenvergleich fällt eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen von Variante 2 „keine Straßeneinläufe“ und des Referenzmodells auf. Die Abbildung von Straßenabläufen scheint bei der Gefährdungsanalyse für außergewöhnliche Ereignisse ( $T_n = 50a$ ) eine untergeordnete Rolle zu spielen. In weiteren Untersuchungen mit geringeren Intensitäten wurde jedoch ein deutlicher Einfluss auf die Simulationsergebnisse erkannt. Die Abbildung von Straßeneinläufen verbessert generell die hydraulische Kopplung der beiden Systeme (1D und 2D) und führt vor allem zu einer zeitlich direkteren Wechselwirkung, was sich in Ganglinienvergleichen erkennen lässt.

Die Ergebnisse aus Variante 1 „größere Auflösung“ lassen auf eine geringere Gefährdung im Gebiet schließen. Auffallend ist der deutlich niedrigere maximale Gebäudewasserstand (siehe Tabelle 4). Die geringere Auflösung führt zu einer stärkeren Glättung des Oberflächenmodells, besonders im Gebäudekantenbereich. Geringere Wasserstände in der Nähe der Gebäude sind die Folge.

Auffallend bei Variante 3 „1D-Abflusskonzentration“ ist die gegenüber dem Referenzmodell abweichende Aussage zur gebäudespezifischen Gefährdung. Da in Variante 1 der Abfluss aller Flächen zunächst dem Kanalnetz zugeht, ergeben sich keine nennenswerten Wasserstände in den Innenhofbereichen. In den übrigen Varianten stellen sich hier relevante Wasserstände ein, die zu einer entsprechenden Einstufung der angrenzenden Gebäude führen. Generell neigt die Variante zu einer vergleichsweise hohen Belastung des Kanalnetzes. Eine zeitlich frühere Überlastung des Kanalnetzes ist die Folge, was vor allem in Simulationen mit geringeren Niederschlagsbelastungen zu beobachten ist.

#### **4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK**

Die hier dargestellten Modellvarianten führen zu unterschiedlich starken Abweichungen hinsichtlich der Gefährdungslage im betrachteten Gebiet. Die Modellierung von Straßeneinläufen scheint in topografisch flachen Gebieten und für hohe Niederschlagsbelastungen nur einen geringen Einfluss auf die Aussage zur Überflutungsgefährdung zu haben. In steileren Gebieten ist davon auszugehen, dass der Einfluss höher ist, was noch zu untersuchen bleibt.

Um eine gebäudespezifische Gefährdungsanalyse durchzuführen sollte die maximale Elementgröße im Oberflächenmodell von 1 m<sup>2</sup> nicht überschritten werden.

Der Ansatz, dass sämtlicher abflusswirksamer Niederschlag von den angeschlossenen Flächen zunächst in den Kanal gelangt (Var. 3), führt insbesondere bei geringeren Intensitäten zu vergleichsweise früher Überlastung des Kanalnetzes. Nennenswerte Wasserstände außerhalb des Straßenraumes sind nicht zu verzeichnen. Hier sollte ein Vergleich mit einer Variante mit modellierten Einläufen auf privaten (Hof-)Flächen erfolgen.

Wie stark sich die Ergebnisse der Varianten voneinander unterscheiden scheint maßgeblich von der Höhe der Niederschlagsbelastung abzuhängen. Vermutlich spielen auch die topografischen Gebietseigenschaften eine Rolle. Weitergehende Untersuchungen an einem topografisch steileren Gebiet sowie mit weiteren Maßnahmenvarianten sind geplant. Darüber hinaus soll das Referenzmodells um Einlaufschächte auf privaten (Hof-)Flächen erweitert werden.

#### **5 REFERENZEN**

- DWA-M 119 (2016): Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen (Entwurf), DWA-Merkblatt 119, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Abfall (DWA), Hennef.
- Fuchs, L., Schmidt, N. (2015): Vergleich von 2-dimensionalen Berechnungsansätzen für die Gefährdungsanalyse in urbanen Gebieten. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 5-6, S.187-196.
- GDV (2015): Naturgefahrenreport 2015 – Die Schadens-Chronik der deutschen Versicherer in Zahlen, Stimmen und Ereignissen. GDV Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.