

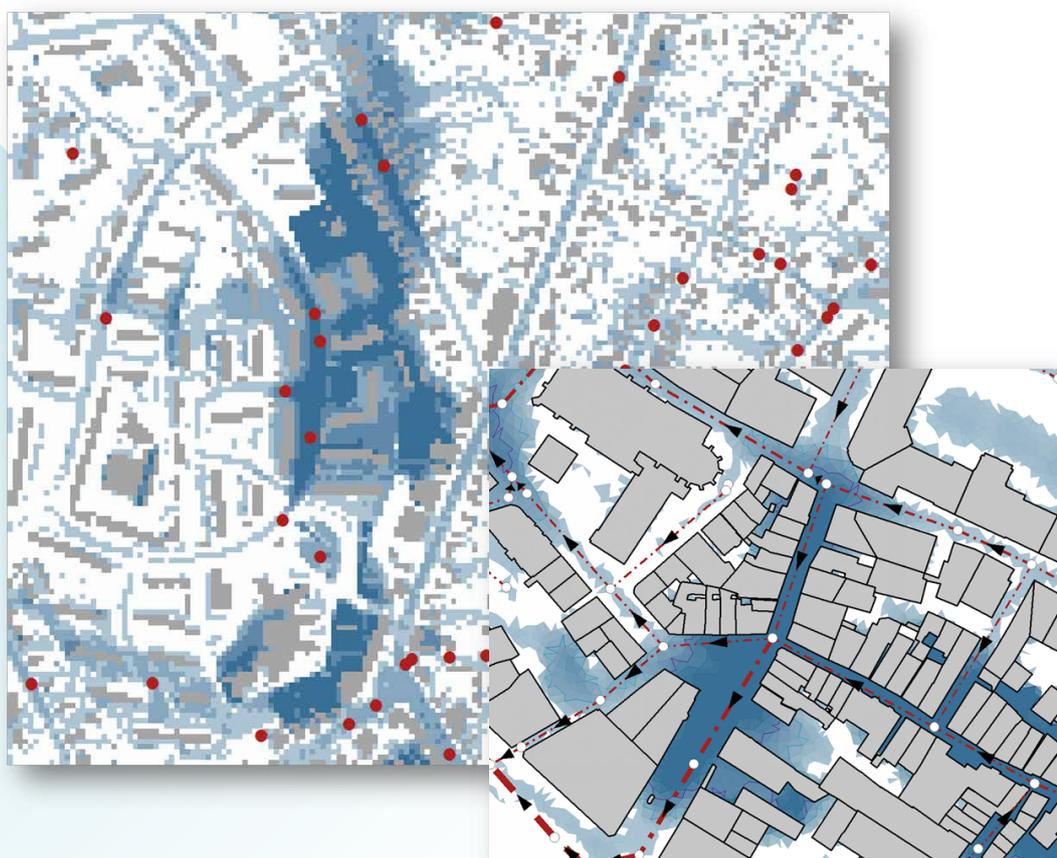
# Praxisleitfaden

Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten  
und detaillierten hydrodynamischen Modellen



# Praxisleitfaden

Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten und detaillierten hydrodynamischen Modellen



Der Praxisleitfaden wurde im Rahmen des Forschungsprojekts KLASII „Entwicklung einer neuen Methodik zur vereinfachten, stadtgebietsweiten Überflutungsprüfung nach Vorgaben des technischen Regelwerks und GIS-basierte Darstellung der Analyseergebnisse zur Berücksichtigung bei kommunalen Planungsprozessen im Rahmen eines zu entwickelnden Auskunftssystems“ erstellt ([www.klas-bremen.de](http://www.klas-bremen.de)).

Gefördert wurde das Projekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen AZ32372/01 von 2015 bis 2017.



# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	Seite 7
<b>1 Thematische Einordnung und Anwendungsbereich</b>	Seite 9
<b>2 Modelle zur hydrodynamischen Überflutungsberechnung</b>	Seite 12
<b>3 Erforderliche Grundlagendaten</b>	Seite 15
3.1 Kanalnetzmodell	Seite 15
3.2 Oberflächenmodell	Seite 15
3.3 Niederschlagsbelastung	Seite 15
<b>4 Auswirkungen wichtiger Einflussfaktoren</b>	Seite 18
4.1 Abflussbildung	Seite 18
4.1.1 Ansätze zur Abflussbildung	Seite 18
4.1.2 Die „kombinierte Methode“ im Vergleich zu anderen Berechnungsmethoden im Hinblick auf die Abflussbildung	Seite 24
4.2 Struktur des Oberflächenmodells	Seite 26
4.2.1 Aufbau des Rechnernetzes	Seite 26
4.2.2 Auflösung des Rechnernetzes	Seite 30
4.3 Straßeneinläufe	Seite 31
4.4 Schachtdeckelniveau	Seite 32
<b>5 Vorgehensweise zur Auswahl einer Berechnungsmethode</b>	Seite 34
<b>6 Aufwand von Überflutungsberechnungen</b>	Seite 41
<b>7 Berücksichtigung des Klimawandels</b>	Seite 43
7.1 Auswirkungen des Klimawandels auf Entwicklung lokaler Starkregenereignisse	Seite 43
7.2 Berücksichtigung des Klimawandels bei Überflutungsberechnungen	Seite 43
Literatur & weiterführende Literatur	Seite 48
Impressum	Seite 52

# Abkürzungen

---

**Abkürzungen**


---

1D	eindimensional
2D	zweidimensional
AIS	Auskunfts- und Informationssystem zur Starkregenvorsorge
ALK	Automatisierte Liegenschaftskarte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem
D	Dauer
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
DGM	Digitales Geländemodell
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
DWD	Deutscher Wetterdienst
GCM	globales Klimamodell (General Circulation Model)
Ge	gekoppeltes Modell
GeK	gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenmodell mit Abflussbildung über das Kanalnetzmodell
GEP	Generalentwässerungsplan
GeKO	gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenabflussmodell mit Abflussbildung über das Kanalnetzmodell und über das Oberflächenmodell
GeO	gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenmodell mit Abflussbildung über das Oberflächenmodell
GIS	Geografisches Informationssystem
GOK	Geländeoberkante
K	Kanalnetzmodell
KIS	Kanalinformationssystem
KLAS	KLimaAnpassungsStrategie Extreme Regenereignisse
KOSTRA	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung – Auswertung DWD
O	Oberflächenmodell
RCM	Regionales Klimamodell (Regional Climate Model)
T	Wiederkehrzeit
Un	ungekoppeltes Modell
UnK	ungekoppeltes Kanalnetzmodell mit Abflussbildung über das Kanalnetzmodell
UnO	ungekoppeltes Oberflächenmodell mit Abflussbildung über die Oberfläche

---

# 1

## Thematische Einordnung und Anwendungsbereich

# 1 Thematische Einordnung und Anwendungsbereich

Vor dem Hintergrund des Klimawandels und der prognostizierten Zunahme von Starkregenereignissen bedarf es kommunaler Anpassungsstrategien zur Vermeidung von Schäden durch Starkregenabflüsse in urbanen Gebieten. Im Forschungsprojekt KLAS (SUBV, 2015) wurden in diesem Zusammenhang drei Themenbereiche definiert, in denen die Entwicklung entsprechender Strategien sinnvoll ist (siehe Abbildung 1). Die Art der zu entwickelnden Strategien hängt je nach Themenbereich von der konkreten Aufgabenstellung ab und muss individuell abgestimmt werden. Allen drei Themenbereichen gemein ist jedoch das grundsätzliche Erfordernis umfassender Grundlagendaten zur Überflutungsgefährdung. Ohne diese Informationen ist die Ermittlung wirksamer Anpassungsstrategien nicht möglich.

Ansätze und Arbeitsschritte zur Ermittlung von Grundlagendaten zu Überflutungsgefahren sind im DWA-M 119 „Risikomanagement in der kommunalen

Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen“ (DWA, 2016) methodisch beschrieben. Eine Übersicht über die beschriebenen Ansätze zeigt Abbildung 2.

Im Bereich „2D Überflutungsberechnungen“ (hydrodynamische Berechnung) wird im DWA-M 119 bisher nur zwischen den Methoden „2D-Simulation des Oberflächenabflusses“ und „gekoppelten 1D/2D-Abflusssimulation“ unterschieden. Durch die fortschreitende Entwicklung der Modelltechnik gibt es jedoch mittlerweile verschiedenste Möglichkeiten, Überflutungsgefahren mittels hydrodynamischer Kanalnetzmodelle, Oberflächenabflussmodelle oder gekoppelter Kanalnetz- und Oberflächenabflussmodelle abzubilden. Da die Ergebnisse der einzelnen Methoden strukturell sehr unterschiedlich sind und von verschiedensten Faktoren beeinflusst werden, ist es wichtig, Unterschiede zu kennen und diese bewerten zu können.

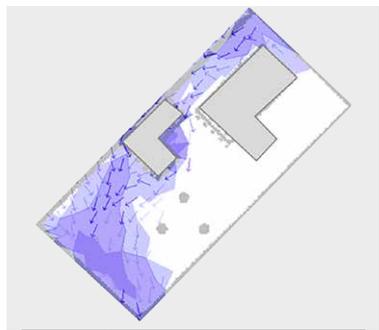
Überflutungsvorsorge und Risikomanagement	Wasser- und klimasensible Stadtentwicklung	Stärkung der Eigenvorsorge von Grundstückseigentümern
		
		
<p><b>kurz- bis mittelfristig</b></p>	<p><b>langfristig</b></p>	<p><b>begleitend</b></p>
<p>→ Vorsorgemaßnahmen für von Überflutung potenziell betroffene, öffentliche Bereiche und kritische Infrastrukturen</p>	<p>→ Strategie für die Berücksichtigung der Belange der Starkregenvorsorge bei öffentlichen Planungs- und Bauvorhaben</p>	<p>→ Information, Aufklärung und Sensibilisierung von Bürgern bzw. Grundstückseigentümer/-innen für Rückstau- und Objektschutzmaßnahmen sowie Klima-angepasste Grundstücke</p>

Abbildung 1 Themenbereiche zur Erstellung von Anpassungsstrategien im Rahmen der Überflutungsvorsorge

Der vorliegende Leitfaden knüpft daher an die Ausführungen des DWA-M 119 an und hat zum Ziel:

- eine Übersicht über Methoden zur hydrodynamischen Überflutungsberechnung zu geben und diese zu erklären,
- erforderliche Grundlagendaten zur Durchführung von Überflutungsberechnungen zu nennen,
- Unterschiede zwischen den jeweils zu erwartenden Ergebnissen zu beschreiben,
- den Einfluss wichtiger Berechnungsfaktoren auf die Ergebnisse darzustellen,
- den Aufwand von Überflutungsberechnungen abzuschätzen,
- Möglichkeiten zur Berücksichtigung des Klimawandels in Überflutungsberechnungen aufzuzeigen und
- die Auswahl einer geeigneten Methode in Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung zu unterstützen.

Der Leitfaden richtet sich entsprechend dieser Ziele an Akteure der Überflutungsvorsorge, die mit der Bearbeitung von z.B. folgenden Aufgaben betraut sind:

- die Identifikation von Überflutungsschwerpunkten,
- die Erarbeitung urbaner Gefahren- und Risikokarten,
- detaillierte Überflutungsanalysen,
- Maßnahmenplanungen und
- die Information der Bürger.

Da der Leitfaden auf den Ausführungen des DWA-M 119 aufbaut, ist die Kenntnis der Inhalte des Merkblattes zum Verständnis sinnvoll.

Die zur Erstellung des Leitfadens erforderlichen Grundlagen wurden im Rahmen des Forschungsprojekts KLAS unter Mitarbeit des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr der Freien Hansestadt Bremen, der hanseWasser Bremen GmbH, der Hochschule Bremen und der Dr. Pecher AG erarbeitet.

Ein Schwerpunkt der Arbeiten stellte die „Entwicklung einer neuen Methodik zur vereinfachten, stadtgebietsweiten Überflutungsprüfung“ dar. Diese Methodik wurde mit den Ergebnissen etablierter Modelle verglichen und in den Leitfaden aufgenommen.

Gefördert wurde das Projekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen AZ32372/01 von 2015 bis 2017. Zur Gewährleistung softwareunabhängiger Projektergebnisse wurden im Projekt unterschiedliche Softwareprodukte verwendet.

#### Hydraulische Analyse Entwässerungssystem

- Ergebnisse Generalentwässerungsplanung
- Auswertung Überstauberechnung

#### Topografische Analyse Oberfläche

- Kartenauswertung Topografie, Infrastruktur etc.
- GIS-Analyse Fließwege und Senken

#### Vereinfachte Überflutungsberechnung

- Statische Volumenbetrachtung
- Straßenprofilmethode

#### 2D-Überflutungsberechnung

- 2D-Simulation des Oberflächenabflusses
- Gekoppelte 1D/2D-Abflusssimulation

#### Anwendungsbereich des Leitfadens

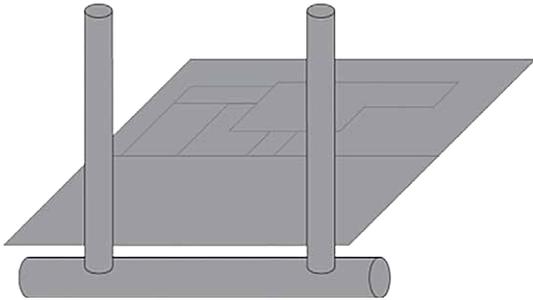
**Abbildung 2** Methoden und mögliche Arbeitsschritte der Analyse zur Überflutungsgefährdung nach Tabelle 2, DWA-M 119 (DWA, 2016)

# 2

## Modelle zur hydrodynamischen Überflutungs- berechnung

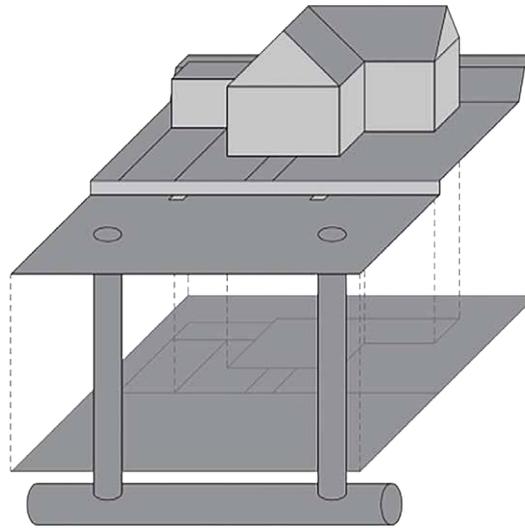
## 2 Modelle zur hydrodynamischen Überflutungsberechnung

Für die hydrodynamische Abbildung von Abflüssen im Kanalnetz und auf der Oberfläche können sowohl Kanalnetzmodelle, Oberflächenmodelle als auch gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodelle eingesetzt werden.



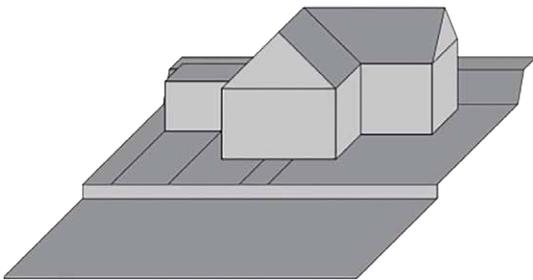
### Kanalnetzmodelle

Kanalnetzmodelle setzen sich aus Schächten, Haltungen, Sonderbauwerken und Teileinzugsgebieten zusammen. Während der Simulation wird für jedes Teileinzugsgebiet über hydrologische Ansätze ein Direktabfluss ermittelt und an die jeweils dem Gebiet zugeordnete Haltung übergeben. Die Berechnung der resultierenden Abflüsse im Kanal erfolgt anschließend hydrodynamisch.



### Gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodelle

Gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodelle sind eine Kombination aus einem Kanalnetzmodell und einem Oberflächenmodell, die über verschiedene Modellschnittstellen (z. B. über die Schächte) miteinander verbunden sind. Das Modell wird als „bidirektional“ gekoppelt bezeichnet, wenn sowohl der Eintritt von Wasser von der Oberfläche in das Kanalnetz als auch der Austritt aus dem Kanalnetz auf die Oberfläche simuliert werden kann.



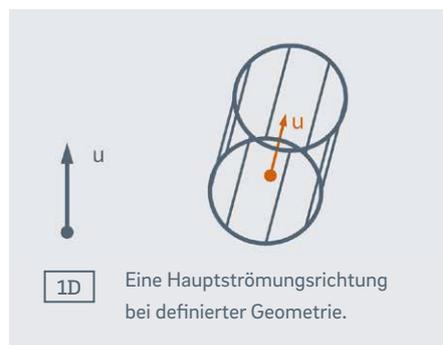
### Oberflächenmodelle

Die Grundlage jedes Oberflächenmodells bildet ein aus Geländepunkten (digitales Geländemodell) erzeugtes Rechnernetz. Jedem Netzelement (Dreieck oder Kachel) wird zeitdifferenziert eine Regenspende zugewiesen, aus der über hydrologische Ansätze ein Effektivniederschlag berechnet wird. Die Abflüsse auf der Oberfläche werden anschließend hydrodynamisch berechnet: Der Abflussvorgang ergibt sich durch die Bilanzierung der Wasserstände zwischen den einzelnen Oberflächenelementen.

Expertenwissen „Modellierung von Strömungsprozessen“

Je nach Modellart werden die Prozesse der Abflussbildung, der Abflusskonzentration, -translation und des Abflusstransports unterschiedlich im Modell abgebildet.

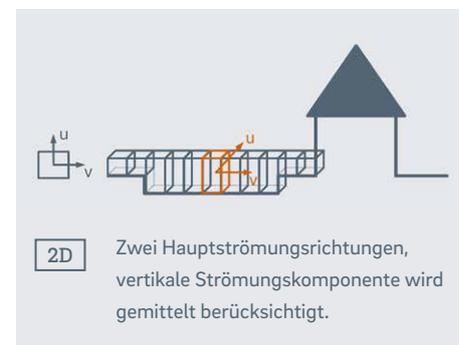
- Kanalnetzmodelle bilden den Abflusstransport im Kanal hydrodynamisch ab. Verwendet werden hierzu vereinfachte Strömungsgleichungen (z. B. die St. Venant-Gleichungen), die den Abfluss unter Annahme einer Hauptströmungsrichtung (eindimensional, 1D) berechnen (s. Abbildung 3). Abflussbildung und -konzentration werden ausgehend von den für die Teileinzugsgebiete festgelegten Parametern (Befestigungsgrad, Neigung, Versickerung, Muldenverluste, etc.) über hydrologische Modelle parallel zur hydrodynamischen Berechnung abgebildet und dienen als Eingangsparameter für die hydrodynamische Berechnung der Abflüsse im Kanal.



**Abbildung 3** 1D Strömungsmodell zur hydrodynamischen Berechnung der Abflüsse im Kanal, in Anlehnung an (DWA, 2015)

- Oberflächenmodelle bilden die Prozesse der Abflusskonzentration, -translation und des Abflusstransports hydrodynamisch unter Annahme zweier Hauptströmungsrichtungen (zweidimensional, 2D) über vereinfachte

Strömungsgleichungen (z. B. tiefengemittelte Flachwassergleichungen) ab (s. Abbildung 4). Als Grundlage für die Berechnung der Oberflächenabflüsse dient ein Rechennetz (i. d. R. Dreiecks- oder Raster-basiert), das als Abbild der Geländeoberfläche und anderer abflussrelevanter Strukturen konzipiert ist. Der Prozess der Abflussbildung wird parallel zur hydrodynamischen Berechnung über hydrologische Modelle in Abhängigkeit der für das Rechennetz bzw. die einzelnen Oberflächenelemente festgelegten Eigenschaften (Neigung, Rauheit, Versickerung, etc.) abgebildet.



**Abbildung 4** 2D Strömungsmodell zur hydrodynamischen Berechnung von Oberflächenabflüssen, in Anlehnung an (DWA, 2015)

Weitergehende Informationen zur Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen können auch Abschnitt 3 des DWA-M 543-1 „Geodaten in der Fließgewässermodellierung – Teil 1: Grundlagen und Verfahren“ (DWA, 2015) entnommen werden.

# 3

## Erforderliche Grundlagendaten

## 3 Erforderliche Grundlegendaten

### 3.1 KANALNETZMODELL

Für die modelltechnische Abbildung des Kanalnetzes sind folgende Grundlegendaten erforderlich:

- Kanalstammdaten (Angaben zur Kanalgeometrie, möglichst mit georeferenzierten Lageinformationen)
- ggf. Sonderbauwerksdaten (Geometrie- und Abflusskennwerte zu Regenbecken, -überläufen, -rückhalteräumen, etc.)
- Einzugsgebietsdaten (abflusswirksame Flächenanteile der Teileinzugsgebiete, Anschlussgrade, Topografie (digitales Geländemodell))
- ggf. Trockenwetterdaten (Angaben zum häuslichen, gewerblichen und industriellen Schmutzwasser und Fremdwasser bei Mischsystemen)

Bei der obenstehenden Auflistung ist zu beachten, dass es sich lediglich um Basisdaten für den Aufbau eines Kanalnetzmodells handelt. Zur Abbildung der komplexen Abflussprozesse können in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse und ausgehend von der jeweiligen Aufgabenstellung weitere Informationen und Daten erforderlich sein.

Durch eine Kalibrierung des Kanalnetzmodells kann sichergestellt werden, dass das Kanalnetzmodell die Abflussprozesse im Kanal richtig abbildet. Zur Kalibrierung des Modells sind die Aufzeichnung des Niederschlags und die Messung von Abflüssen im Kanal für einen einheitlichen Zeitraum erforderlich.

Soll das Kanalnetzmodell später mit einem Oberflächenmodell gekoppelt und die Abflussbildung sowohl über das Kanalnetz- als auch das Oberflächenmodell vorgenommen werden (s. Abschnitt 4), ist es von Vorteil, wenn die Teileinzugsgebiete des Kanalnetzmodells möglichst detailliert vorliegen. Auf diese Weise kann der Ansatz zur Abflussbildung für jede Teileinzugsgebietsfläche individuell gewählt werden.

### 3.2 OBERFLÄCHENMODELL

Für die modelltechnische Abbildung der Oberfläche sind folgende Grundlegendaten erforderlich:

- digitales Geländemodell (Laserscan-Daten)
- Basisdaten zu abflussrelevanten Oberflächenstrukturen (insbesondere Gebäudeumringe)

Weitere relevante Grundlegendaten zur detaillierten Berechnung sind:

- detaillierte Daten zu Oberflächenstrukturen (z. B. Bordsteinkanten, Mauern, Hofdurchfahrten, Vermessungsdaten)
- Daten zur Oberflächenbeschaffenheit (Versiegelungskataster, Angaben zur Flächennutzung z. B. aus dem ALKIS, gemessene Versickerungsleistungen)
- Daten zu urbanen Gewässern

Bei der obenstehenden Auflistung ist zu beachten, dass es sich lediglich um Basisdaten für den Aufbau eines Oberflächenmodells handelt. Zur Abbildung der komplexen Abflussprozesse können in Abhängigkeit der örtlichen Verhältnisse und ausgehend von der jeweiligen Aufgabenstellung weitere Informationen und Daten erforderlich sein.

### 3.3 NIEDERSCHLAGSBELASTUNG

Die Auswahl einer geeigneten Niederschlagsbelastung sollte nicht allein vor dem Hintergrund der jeweiligen Aufgabenstellung, sondern auch in Abhängigkeit der verwendeten Modelle erfolgen. Da zur Durchführung von Überflutungsberechnungen unterschiedliche Modelle zur Verfügung stehen (s. Abschnitt 2), werden im Folgenden Hinweise zur Auswahl von Niederschlagsbelastungen für Überflutungsberechnungen gegeben. Zu verstehen sind diese als Hinweise und Ergänzung zu den Ausführungen des DWA-A 118 „Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen“ (DWA, 2006), der DIN EN 752 „Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden“ (DIN, 2008) und denen des DWA-M 119 (DWA, 2016).

#### → Ziel- und Nachweisgrößen (Überstau- und Überflutungshäufigkeiten)

Nach DWA-A 118 (DWA, 2006) müssen Entwässerungssysteme so konzipiert und bemessen werden, dass Schäden durch Überflutungen und Vernässung möglichst vermieden werden und die Nutzbarkeit von Siedlungsflächen unabhängig von den vorherrschenden Witterungsverhältnissen weitgehend erhalten bleibt. Entsprechende Ziel- und Nachweisgrößen für die Bemessung von Entwässerungssystemen können Kapitel 5 „Technische Regelungen zum Überflutungsschutz für Entwässerungssysteme“ des DWA-M 119 (DWA, 2016) entnommen werden. Kapitel 7.1.3 des DWA-M 119 enthält zudem konkrete Empfehlungen für die Auswahl einer geeigneten Niederschlagsbelastung bei dem Einsatz hydrodynamischer Modelle (belastungsanhängiger Methoden).

→ **Art der Niederschlagsbelastung (Modellregen/ Naturregen)**

Zur Durchführung hydrodynamischer Überflutungsberechnungen können sowohl Natur- als auch Modellregen eingesetzt werden. Zum Nachweis der zulässigen Überflutungshäufigkeiten sind nach DWA-M 119 (DWA, 2016) jedoch ausschließlich Modellregen zu verwenden, die auf Basis langjähriger Niederschlagskontinua ermittelt wurden. Berechnungen mit aufgezeichneten Naturregen können zusätzlich zur Überprüfung der Ergebnisse der Gefahrenanalyse durchgeführt werden. Die Art bzw. der Aufbau des Modellregens hat maßgeblichen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse und ist in Abhängigkeit der Gebietseigenschaften zu wählen. Möglich ist die Verwendung von einfachen (Blockregen, DVWK-Regen) bis hin zu komplexen Intensitätsverläufen (Euler-Regen). Die Erzeugung entsprechender Modellregen kann entweder auf Grundlage einer eigenen Niederschlagsstatistik oder den deutschlandweit verfügbaren Statistiken und Auswertungen des Deutschen Wetterdienstes (KOSTRA-Atlas 2010) erfolgen.

→ **Beregnung (gleich- und ungleichmäßig)**

Für den Nachweis von Entwässerungssystemen wird in der Regel eine gleichmäßige Beregnung der Einzugsgebietsflächen angenommen. Auf diese Weise kann die Überflutungsgefährdung flächendeckend für einen konkreten Lastfall abgebildet werden. Auch wenn eine Überschätzung der Gefährdung durch dieses Vorgehen nicht ausgeschlossen werden kann, wird die Überflutungsgefährdung bei einer ungleichmäßigen Beregnung hingegen nur für eine spezielle Wetterlage abgebildet. Die ungleichmäßige Beregnung eignet sich daher besser, um z. B. die Auswirkungen aufgezeichneter Starkregen modelltechnisch nachzuvollziehen. In diesem Zuge unterstützen einige Softwareprodukte mittlerweile auch den Einsatz von Radar-Daten.

→ **Regendauer**

Gemäß DWA-A 118 (DWA, 2006) sollte die Regendauer eines Modellregens mindestens dem Zweifachen der längsten maßgebenden Fließzeit im Entwässerungsnetz entsprechen. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Regendauer je nach Modell auch Einfluss auf die Berechnungsdauer haben kann. Dies gilt vor allem für Berechnungen unter Einsatz eines Oberflächenmodells (gekoppelt oder ungekoppelt). Je mehr Oberflächenelemente in der Berechnung benetzt werden, desto länger dauert die Berechnung. Regendauern von  $D = 30$  min bis  $D = 120$  min haben sich in diesem Kontext als geeignet erwiesen.

Bei der Berechnung von Oberflächenabflüssen ist zudem zu berücksichtigen, dass die Regendauer in der Regel kürzer ist als die Ereignisdauer. Es sollte daher sichergestellt sein, dass bei der Berechnung eine genügend lange Nachlaufzeit gewählt wird, damit oberflächlich abfließendes Wasser auch nach Beregnungsende noch weiter abfließen kann. Wird die Simulation vorzeitig beendet, führt dies im Ergebnis zu einer Unterschätzung der Gefährdung in Tiefpunkten, in denen sich sonst Wasser sammeln würde.

Im Hinblick auf die erforderlichen Rechenkapazitäten und -zeiten wird empfohlen, immer nur einen Lastfall bzw. einen Einzelmodellregen pro Berechnung zu betrachten. Berechnungen mit Niederschlagsserien, wie bei Überstaunachweisen mit Kanalnetzmodellen üblich, sind hier aufgrund extremer Rechenzeiten nicht zielführend. Zudem ist das Ergebnis aus der Überlagerung der maximal während der einzelnen Berechnungen ermittelten Wasserstände nur schwer zu interpretieren. Tabelle 1 fasst dies nochmals zusammen.

	Kanalnetzmodell	Oberflächenmodell	gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenmodell
<b>Einzelregen</b>	möglich	empfohlen	empfohlen
<b>Regendauer</b>	beliebig	$D = 30$ min bis $120$ min, Berücksichtigung einer genügend großen Nachlaufzeit	$D = 30$ min bis $120$ min, Berücksichtigung einer genügend großen Nachlaufzeit
<b>Regenserie</b>	möglich	nicht empfohlen	nicht empfohlen

**Tabelle 1** Übersicht über mögliche Regenbelastungen in Abhängigkeit des Modellansatzes

# 4

## Auswirkungen wichtiger Einflussfaktoren

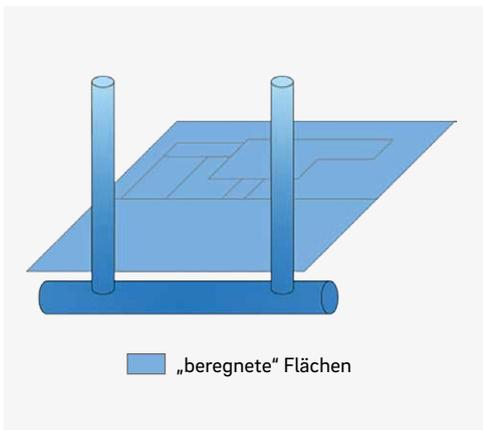
# 4 Auswirkungen wichtiger Einflussfaktoren

## 4.1 ABFLUSSBILDUNG

### 4.1.1 ANSÄTZE ZUR ABFLUSSBILDUNG

Sowohl Kanalnetz- als auch Oberflächenmodelle beinhalten eigene Ansätze zur Abflussbildung. Werden beide Modell miteinander gekoppelt, muss vor der Berechnung entschieden werden, über welches Modell der effektive bzw. abflusswirksame Niederschlagsanteil berechnet werden soll. Im Folgenden werden Unterschiede zwischen den Ergebnissen der möglichen Modellkombinationen ausgehend vom Ansatz zur Abflussbildung benannt. Zur eindeutigen Bezeichnung der Kombinationsmöglichkeiten wird eine Nomenklatur eingeführt, die sich aus den Elementen „Un“ für „ungekoppelt“, „Ge“ für „gekoppelt“, „K“ für „Kanalnetzmodell“ und „O“ für „Oberflächenmodell“ zusammensetzt.

#### → Kanalnetzmodell mit Abflussbildung über das Kanalnetzmodell (UnK)



Alle Abflüsse werden mit Hilfe des Kanalnetzmodells berechnet. Die zum Abfluss gelangenden Effektivniederschläge werden über hydrologische Ansätze (z. B. Abflussbeiwerten, Speicherkaskaden, etc.) für jedes Teileinzugsgebiet ermittelt und in das Kanalnetz eingeleitet.

Wird die Abflusskapazität des Kanalnetzes überschritten, wird überstauendes Wasser virtuell zwischengespeichert, bis wieder ausreichend Abflusskapazität im Kanalnetz vorhanden ist.

#### Ergebnisse:

- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Kanal
- Überstauvolumina

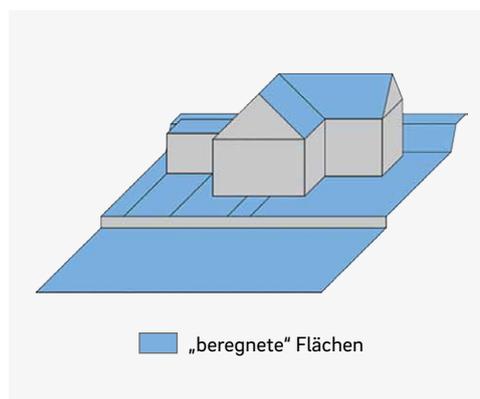
#### Hinweise:

- Die Abschätzung der Wasserstände auf der Oberfläche ist nur auf Grundlage der ermittelten Überstauvolumina möglich.
- Überflutungen, die auf oberflächige Direktabflüsse zurückzuführen sind, werden nicht abgebildet.
- Da alle berechneten Direktabflüsse in das Kanalnetz eingeleitet werden, wird der Abfluss im Kanal tendenziell überschätzt.



- Haltung
- Schacht mit Überstau
- Schacht ohne Überstau

#### → Oberflächenmodell mit Abflussbildung über das Oberflächenmodell (UnO)



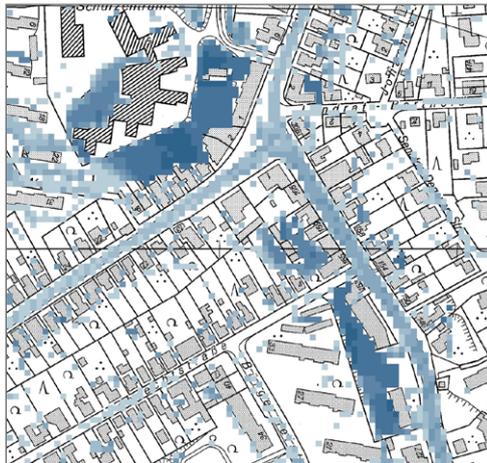
Alle Abflüsse werden über das Oberflächenmodell berechnet. Jedem Oberflächenelement wird zeitdifferenziert eine Regenspende zugewiesen, die über die für das Element eingestellten Verlustansätze zu einem Effektivniederschlag bzw. Abfluss umgerechnet wird.

**Ergebnisse:**

→ Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände auf der Oberfläche

**Hinweise:**

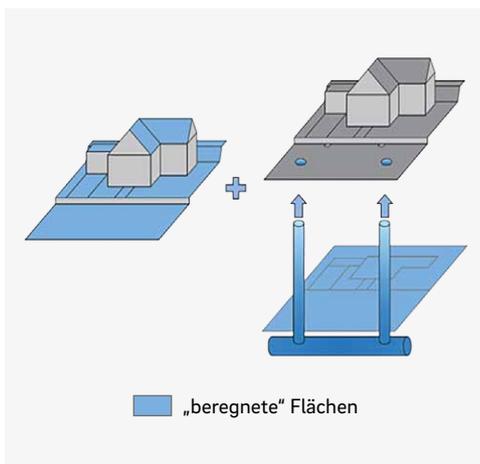
→ In Bereichen, in denen das Kanalnetz Auswirkung auf die Überflutungsvorgänge hat, kann die Überflutungsgefahr ggf. überschätzt (durch fehlende Aufnahme und Ableitung von Wasser durch das Kanalnetz) oder unterschätzt werden (Oberflächenabfluss durch Überstau aus einem überlasteten Kanalnetz wird nicht berücksichtigt).



Wasserstand ü. GOK



→ **Überflutungsberechnung mit der kombinierten Methode nach (SUBV, 2015)**



Als „kombinierte Methode“ wird die im Forschungsprojekt KLASI (SUBV, 2015 und Gatke et al., 2015) entwickelte Vorgehensweise zur vereinfachten, stadtgebietsweiten Ermittlung von Überflutungsgefahren eingeführt. Unter Einsatz eines ungekoppelten Oberflächenmodells werden sowohl

Direktabflüsse auf der Oberfläche als auch oberflächige Abflüsse durch Überstau aus dem Kanalnetz abgebildet. Hierzu werden zwei Berechnungen mit dem Oberflächenmodell durchgeführt:

- 1) Abbildung der Direktabflüsse auf der Oberfläche unter Verwendung des Abflussbildungsansatzes des Oberflächenmodells (UnO)
- 2) Abbildung oberflächiger Abflüsse infolge von Überstau aus dem Kanalnetz. Der Überstau wird hierbei durch Quellen im Oberflächenmodell abgebildet, deren Spende jeweils aus den maximalen Überstauvolumina einer im Vorfeld durchgeführten Kanalnetzberechnung (UnK) berechnet wird. Zur Ermittlung einer Intensität in [l/s] werden die maximalen Überstauvolumina gleichmäßig auf die ursprüngliche Ereignisdauer verteilt.

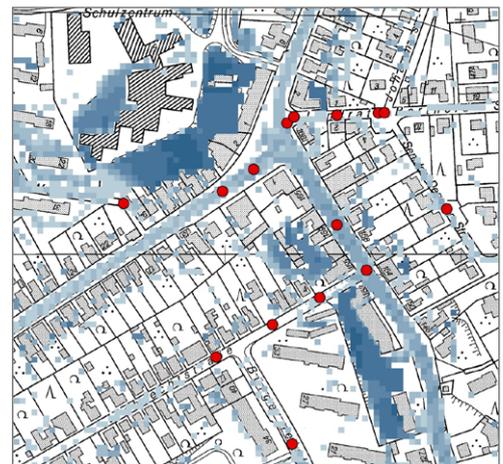
Als Ergebnis wird für jedes Oberflächenelement der jeweils höchste Wasserstand aus beiden Berechnungen ermittelt.

**Ergebnisse:**

→ Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände auf der Oberfläche

**Hinweise:**

- Die abschließende Auswertung (Überlagerung) der Berechnungsergebnisse führt tendenziell zu einer Überschätzung der Oberflächenabflüsse.
- Zudem sind die Hinweise zu UnK und UnO zu beachten.

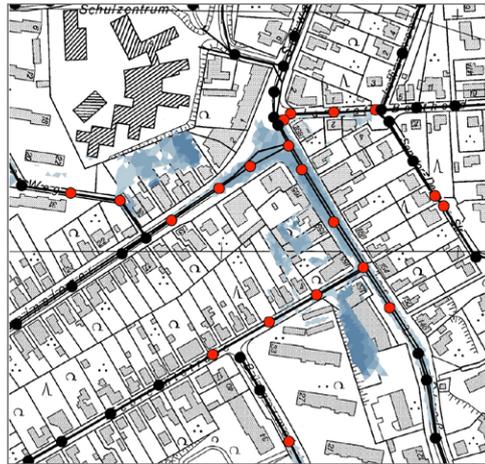
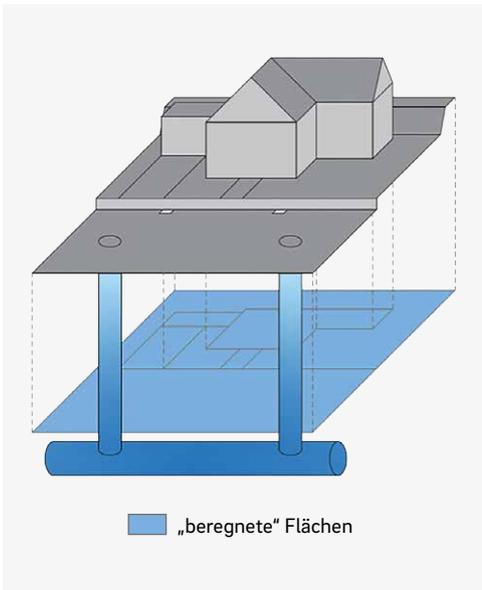


● überstauer Schacht als Quelle im Oberflächenmodell

Wasserstand ü. GOK



→ gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenmodell mit Abflussbildung über das Kanalnetzmodell (GeK)



- Haltung
- Schacht mit Überstau
- Schacht ohne Überstau
- Wasserstand ü. GOK
  - gering
  - hoch

→ gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenmodell mit Abflussbildung über das Oberflächenmodell (GeO)

Alle Abflüsse werden über das Kanalnetzmodell berechnet. Die zum Abfluss gelangenden Effektivniederschläge werden über hydrologische Ansätze (z. B. mit Spitzenabflussbewertungen, Speicherkaskaden, etc.) für jedes Teileinzugsgebiet ermittelt und in das Kanalnetz eingeleitet.

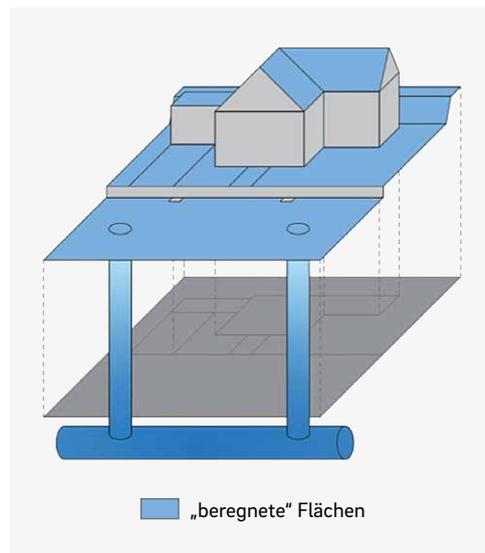
Wird die hydraulische Leistungsfähigkeit des Kanalnetzes überschritten, kann überstauendes Wasser über Modellschnittstellen (Schächte, Straßeneinläufe) austreten, oberflächlich abfließen (hydrodynamische Abflussberechnung über das Oberflächenmodell) und über Modellschnittstellen auch wieder dem Kanalnetz zufließen (bidirektionale Kopplung).

**Ergebnisse:**

- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Kanal und auf der Oberfläche
- Überstauvolumina (beeinflusst durch Oberflächenabflüsse)

**Hinweise:**

- Da die für die Teileinzugsgebietsflächen des Kanalnetzmodells ermittelten Direktabflüsse zunächst vollständig in das Kanalnetz eingeleitet werden, resultieren oberflächige Abflüsse nur aus Überstau.
- Überflutungen, die allein auf oberflächige Direktabflüsse zurückzuführen sind, werden nicht abgebildet.
- Der Abfluss im Kanalnetz wird tendenziell überschätzt.



Alle Abflüsse werden über das Oberflächenmodell erzeugt. Jedem Oberflächenelement wird zeitdifferenziert eine Regenspende zugewiesen, die über die für das Element eingestellten Verlustansätze zu einem Effektivniederschlag umgerechnet wird. Das mit dem Oberflächenmodell verbundene Kanalnetzmodell fungiert als Transport- und Speichermedium. Über die Modellschnittstellen (Schächte, Straßeneinläufe) kann oberflächlich abfließendes Wasser dem Kanalnetz zufließen und im Falle einer hydraulischen Überlastung wieder auf die Oberfläche austreten (bidirektionale Kopplung).

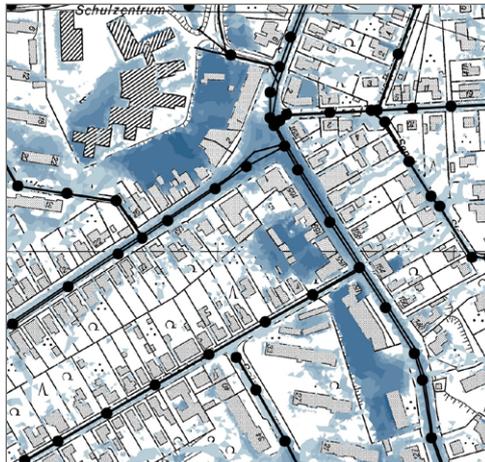
**Ergebnisse:**

- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände auf der Oberfläche und im Kanal

→ Überstauvolumina (beeinflusst durch Oberflächenabflüsse)

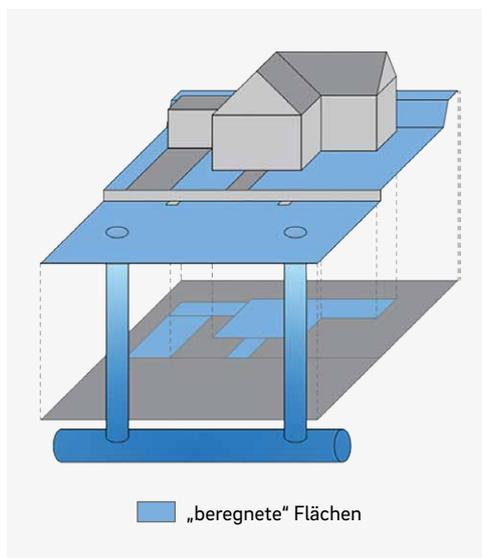
**Hinweise:**

→ Da alle Direktabflüsse über das Oberflächenmodell berechnet werden, werden die Abflüsse auf der Oberfläche tendenziell über- und die Abflüsse im Kanalnetz tendenziell unterschätzt.



— Haltung  
 • Schacht ohne Überstau  
 Wasserstand ü. GOK  
 gering  
 hoch

→ gekoppeltes Kanalnetz- und Oberflächenmodell mit Abflussbildung über das Kanalnetz- und das Oberflächenmodell (GeKO)



Abflüsse werden sowohl über das Kanalnetz- als auch über das Oberflächenmodell berechnet. Der Direktabfluss von Flächen, die am Kanalnetz angeschlossen sind (Dachflächen, Zuwege, Terrassen, etc.), wird über die Abflussbildungsansätze des Kanalnetzmodell berechnet. Der Direkt-

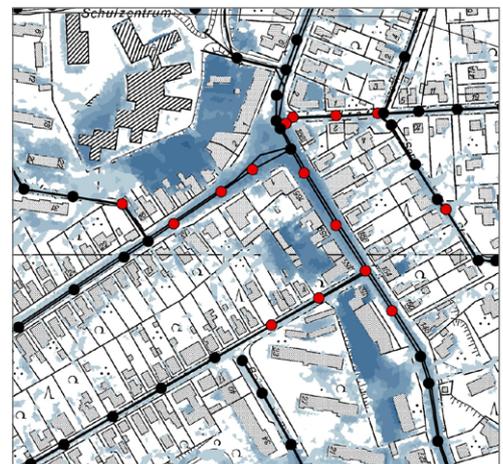
abfluss von allen anderen Flächen wird über die Abflussbildungsansätze des Oberflächenmodells berechnet und gelangt oberflächlich zum Abfluss. Über die Modellschnittstellen (Schächte, Straßeneinläufe) ist ein bidirektionaler Austausch zwischen den Abflüssen im Kanalnetz und auf der Oberfläche möglich.

**Ergebnisse:**

- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände auf der Oberfläche und im Kanal
- Überstauvolumina (beeinflusst durch Oberflächenabflüsse)

**Hinweise:**

→ Aufgrund des flächendifferenzierten Ansatzes zur Abflussabbildung kommt dieser Ansatz den realen Verhältnissen am nächsten.



— Haltung  
 • Schacht mit Überstau  
 • Schacht ohne Überstau  
 Wasserstand ü. GOK  
 gering  
 hoch

Aus der Gegenüberstellung der einzelnen Modellkombinationen wird deutlich, dass der Ansatz zur Abflussbildung maßgeblich Einfluss auf die Ergebnisse der Überflutungsberechnung hat. Es ist daher wichtig, die Wahl der Modellkombination und des Abflussbildungsansatzes auf die jeweilige Fragestellung und die vorhandene Datengrundlage abzustimmen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass der Ansatz zur Abflussbildung Auswirkungen auf die erforderliche Rechenleistung hat. Je mehr Netzelemente des Oberflächenmodells in der Berechnung benetzt werden, desto mehr Rechenleistung und Rechenzeit ist erforderlich. Die Auflösung des Rechnetzes (Oberflächenmodell) spielt hier eine wesentliche Rolle (s. auch Abschnitt 4.2.2).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die einzelnen Berechnungsmethoden und nennt grundsätzliche Anwendungsmöglichkeiten.

ungekoppelte Berechnung

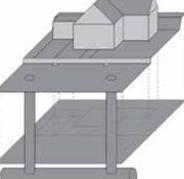
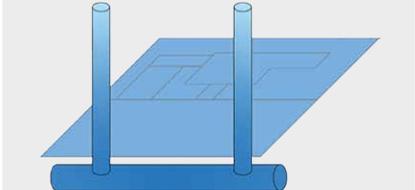
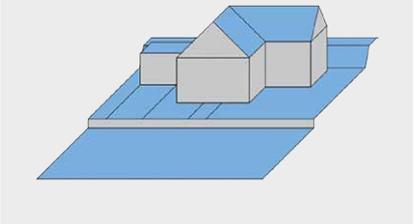
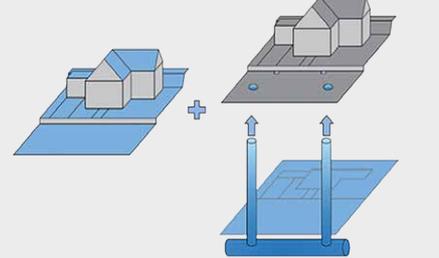
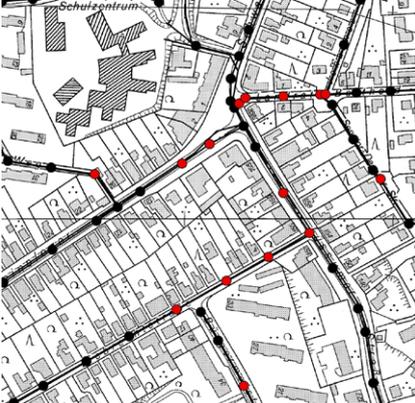
Abflussbildung über	Kanalnetzmodell (UnK)	Oberflächenmodell (UnO)	kombinierte Methode
	 <p style="text-align: center;">■ „beregnete“ Flächen</p>	 <p style="text-align: center;">■ „beregnete“ Flächen</p>	 <p style="text-align: center;">■ „beregnete“ Flächen</p>
<p><b>Zeichenerklärung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Haltung</li> <li>● Schacht mit Überstau</li> <li>● Schacht ohne Überstau</li> </ul> <p>Wasserstand ü. GOK</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ gering</li> <li>■ hoch</li> </ul>			
<p><b>Ergebnisse</b></p>	<p>→ Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Kanal</p> <p>→ Überstauvolumina</p>	<p>→ Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände auf der Oberfläche</p>	<p>→ Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände auf der Oberfläche</p>
<p><b>Hinweise</b></p>	<p>→ Überstauendes Wasser wird virtuell zwischengespeichert, bis wieder genügend Abflusskapazität im Kanalnetz vorhanden ist</p> <p>→ Da alle berechneten Direktabflüsse in das Kanalnetz eingeleitet werden, wird der Abfluss im Kanal tendenziell überschätzt</p> <p>→ Die Abschätzung der Wasserstände auf der Oberfläche ist nur auf Grundlage der ermittelten Überstauvolumina möglich</p>	<p>→ In Bereichen, in denen das Kanalnetz Auswirkungen auf die Überflutungsvorgänge hat (z.B. durch Überstau oder Aufnahme von Wasser und Ableitung), wird die Überflutungsgefahr ggf. unter- oder überschätzt.</p>	<p>→ Die abschließende Auswertung (Überlagerung) der Berechnungsergebnisse führt tendenziell zu einer Überschätzung der Oberflächenabflüsse</p> <p>→ Zudem sollten die Hinweise zu UnK und UnO beachtet werden</p>
<p><b>Anwendung</b></p>	<p>→ Dimensionierung von Kanalnetzen (Generalplanung)</p> <p>→ Abbildung von Überflutungsprozessen nicht möglich</p>	<p>→ Abbildung von Überflutungsprozessen, falls keine Informationen zum Kanalnetz bzw. zum Überstauverhalten vorliegen</p>	<p>→ Abbildung von Überflutungsprozessen, falls das Einzugsgebiet für eine gekoppelte Berechnung zu groß ist, aber Informationen zum Überstauverhalten vorliegen</p>

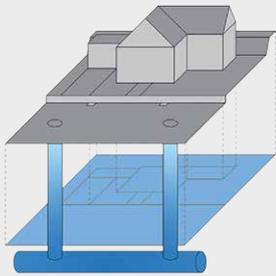
Tabelle 2 Übersicht über mögliche Berechnungsmethoden in Abhängigkeit der Abflussbildung

gekoppelte Berechnung

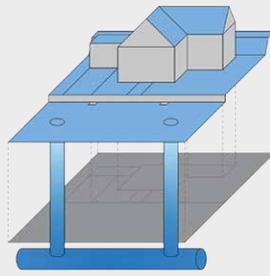
Kanalnetzmodell (GeK)

Oberflächenmodell (GeO)

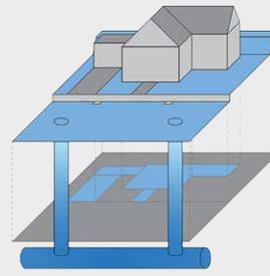
Kanalnetz- und Oberflächenmodell (GeKO)



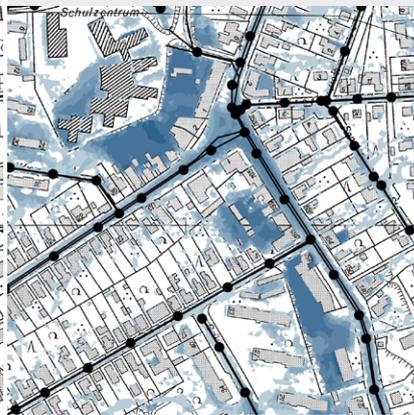
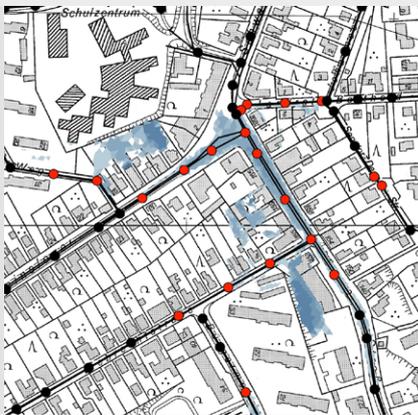
„beregnete“ Flächen



„beregnete“ Flächen



„beregnete“ Flächen



- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Kanal und auf der Oberfläche
- Überstauvolumina (beeinflusst durch Oberflächenabflüsse)

- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Kanal und auf der Oberfläche
- Überstauvolumina (beeinflusst durch Oberflächenabflüsse)

- Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände im Kanal und auf der Oberfläche
- Überstauvolumina (beeinflusst durch Oberflächenabflüsse)

- Da alle berechneten Direktabflüsse in das Kanalnetz eingeleitet werden, wird der Abfluss im Kanal tendenziell überschätzt
- Überflutungen resultieren nur aus überstauendem Wasser. Überflutungen, die allein auf oberflächige Direktabflüsse zurückzuführen sind, werden nicht abgebildet

- Da alle Direktabflüsse über das Oberflächenmodell berechnet werden, werden die Abflüsse auf der Oberfläche tendenziell über- und die Abflüsse im Kanalnetz tendenziell unterschätzt

- Aufgrund des flächendifferenzierten Ansatzes zur Abflussabbildung kommt dieser Ansatz den realen Verhältnissen am nächsten

- Abbildung von Überflutungsprozessen für mittlere bis kleine Einzugsgebiete

- Abbildung von Überflutungsprozessen für mittlere bis kleine Einzugsgebiete

- Abbildung von Überflutungsprozessen für mittlere bis kleine Einzugsgebiete

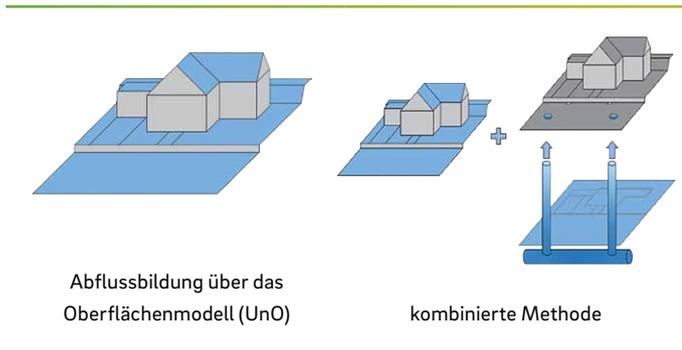
### 4.1.2 DIE „KOMBINIERTE METHODE“ IM VERGLEICH ZU ANDEREN BERECHNUNGSMETHODEN IM HINBLICK AUF DIE ABFLUSSBILDUNG

Als Transport- und Speicherelement kann das Kanalnetz maßgeblich Einfluss auf Überflutungsprozesse haben und sollte daher bei der Ermittlung von Über-

flutungsgefahren berücksichtigt werden (SUBV, 2015; Fuchs, 2015). Ist das zu untersuchende Gebiet für eine gekoppelte Berechnung zu groß, ist die modelltechnische Abbildung eines interaktiven Kanalnetzes nicht mehr möglich.

Um dennoch etwaige Einflüsse abbilden zu können, wurde im Projekt KLAS (SUBV, 2015) ein Verfahren

Vergleich mit der Abflussbildung über das Oberflächenmodell (UnO)



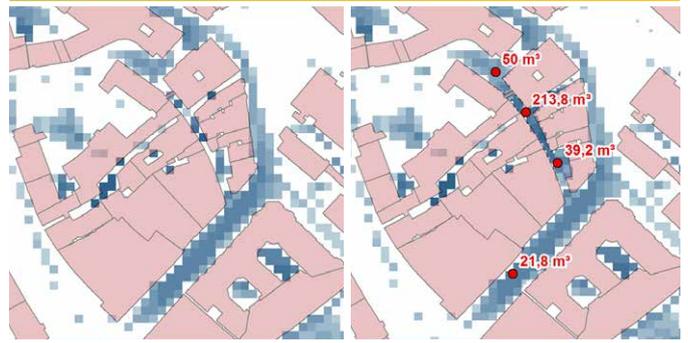
Abflussbildung über das Oberflächenmodell (UnO)

kombinierte Methode

**Zeichenerklärung**

- |                    |   |                                     |
|--------------------|---|-------------------------------------|
| Wasserstand ü. GOK | ● Schacht mit Überstau, Angabe des maximalen Überstauvolumens | (jeweils linke und rechte Grafiken) |
| gering             |   |                                     |
| hoch               |   |                                     |

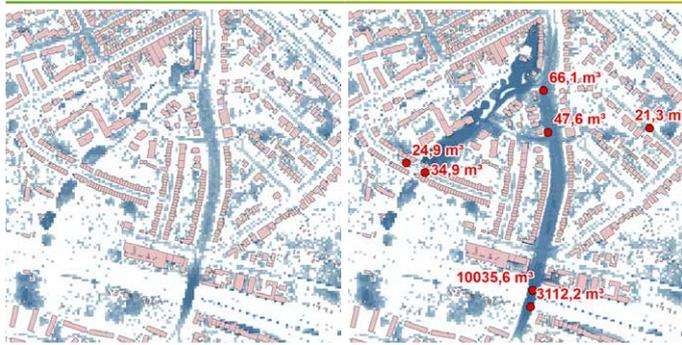
**Beispiel 1**



**Ergebnisvergleich**

Die wesentlichen Überflutungsschwerpunkte sind in den Ergebnissen für UnO bereits sichtbar. Durch die zusätzliche Abbildung von Überstau aus dem Kanalnetz werden diese mit Hilfe der kombinierten Methode noch deutlicher. Gerade im Bereich von größerem Überstau ergeben sich mit der kombinierten Methode höhere Wasserstände und eine größere Ausdehnung der Überflutungsflächen.

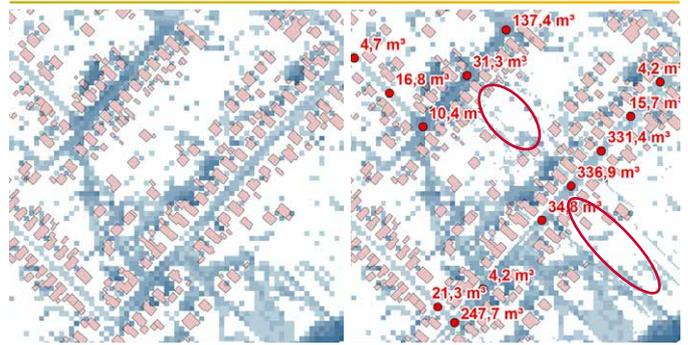
**Beispiel 2**



**Ergebnisvergleich**

Erst durch die Berücksichtigung von Überstau aus dem Kanalnetz wird der dargestellte Überflutungsschwerpunkt in vollem Umfang sichtbar. Bei alleiniger Berücksichtigung oberflächiger Direktabflüsse (UnO) wird das Ausmaß der Überflutungsgefahr deutlich unterschätzt.

**Beispiel 3**



**Ergebnisvergleich**

Die Ergebnisse beider Ansätze weisen nur geringe Unterschiede auf. Lediglich in den rot markierten Bereichen sind zusätzliche Abflusswege in Richtung des Gefälles zu erkennen. In diesem Gebiet überwiegt der Einfluss des Oberflächenabflusses.

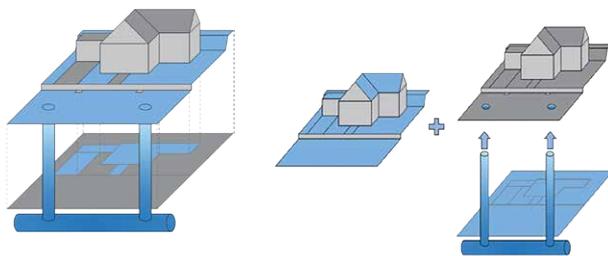
Tabelle 3 Vergleich der kombinierten Methode mit der Abflussbildung über das Oberflächenmodell

entwickelt, mit dem das Kanalnetz auch für große Einzugsgebiete vereinfacht berücksichtigt werden kann. Im vorliegenden Leitfadens wurde dieser Ansatz als „kombinierte Methode“ eingeführt.

Vergleiche zwischen der kombinierten Methode und anderen Abflussbildungsansätzen durchgeführt. Beispiele für die entsprechenden Vergleiche können Tabelle 3 und Tabelle 4 entnommen werden.

Um beurteilen zu können, inwiefern sich diese Methodik zur Ermittlung von Überflutungsgefahren eignet, wurden im Anschlussprojekt KLASII umfangreiche

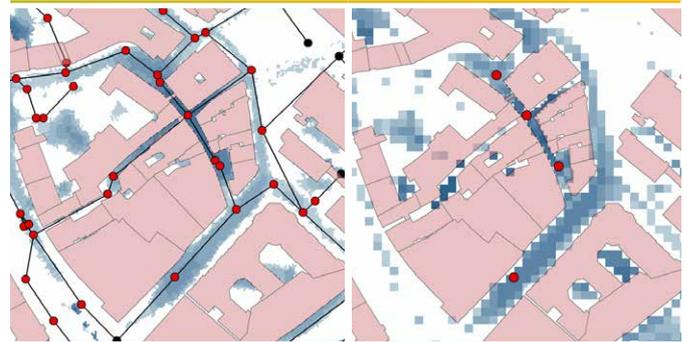
Vergleich mit der Abflussbildung über das Kanalnetz- und Oberflächenmodell (GeKO)



Abflussbildung über das Kanalnetz- und Oberflächenmodell (GeKO)

kombinierte Methode

Beispiel 1



Ergebnisvergleich

Die Ergebnisse beider Methoden stimmen grundsätzlich gut überein. Es fällt jedoch auf, dass sich bei der gekoppelten Berechnung (GeKO) ein differenziertes Überstaubild ergibt. Aus diesem resultieren weitere Überflutungsflächen, die von der kombinierten Methode nicht abgebildet werden.

Zeichenerklärung

- |                    |                         |                 |
|--------------------|-------------------------|-----------------|
| Wasserstand ü. GOK | ● Schacht ohne Überstau | (jeweils linke  |
| gering             | ● Schacht mit Überstau  | Grafiken)       |
| hoch               | — Haltung               |                 |
| Wasserstand ü. GOK | ● Schacht mit Überstau  | (jeweils rechte |
| gering             | aus Kanalnetzber-       | Grafiken)       |
| hoch               | rechnung                |                 |

Beispiel 2



Ergebnisvergleich

Die Ergebnisse beider Methoden stimmen sehr gut überein. Zurückzuführen ist dies vor allem auch auf die Abbildung des Überstaus in der kombinierten Methode.

Beispiel 3



Ergebnisvergleich

Die Ergebnisse weichen teilweise von einander ab. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die in der kombinierten Methode berechneten Direktabflüsse auf der Oberfläche. Durch die Berücksichtigung des Kanalnetzes als Ableitungs- und Transportelement und den flächendifferenzierten Ansatz zur Abflussbildung fallen diese in der GeKO-Berechnung weitaus geringer aus. Im Überflutungsschwerpunkt wird jedoch eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Berechnungsmethoden erreicht. Dies ist vor allem auf die zusätzliche Abbildung des Überstaus in der kombinierten Methode zurückzuführen.

Tabelle 4 Vergleich der kombinierten Methode mit der Abflussbildung über das Kanalnetz- und Oberflächenabflussmodell

Im Ergebnis stellt die „kombinierten Methode“ eine gute Möglichkeit dar, Überflutungsgefahren auch für große Einzugsgebiete ( $> 50 \text{ km}^2$ ) und unter Berücksichtigung des Kanalnetzes zu ermitteln.

Aus den Vergleichen mit anderen Ansätzen zur Abflussbildung (UnO, GeKO) geht hervor, dass die kombinierte Methode deutlich besser zur Identifizierung von Überflutungsschwerpunkten geeignet ist, als eine reine Abbildung oberflächiger Direktabflüsse (UnO). Da Überstau aus dem Kanalnetz maßgeblich Einfluss auf das Ausmaß der Überflutungsgefährdung haben kann, sollte Kanalnetzüberstau möglichst bei der Berechnung von Überflutungsgefahren berücksichtigt werden.

Für Detailuntersuchungen sollte der Einsatz von gekoppelten Methoden geprüft werden. Durch die interaktive Abbildung des Kanalnetzes und die Möglichkeit zur flächendifferenzierten Abbildung der Abflussbildung, werden Überflutungsprozesse in einer gekoppelten Berechnung realitätsnäher abgebildet.

Da im Zuge der kombinierten Methode auf die modelltechnische Abbildung des Kanalnetzes verzichtet werden kann, ist der zeitliche und finanzielle Aufwand begrenzt (s. hierzu auch Abschnitt 6).

Die mit der „kombinierten Methode“ ermittelten Überflutungsgefahren können Grundlage

- für die Erstellung urbaner Gefahrenkarten,
- die Durchführung von Risikoanalysen,
- oder die Bereitstellung und Veröffentlichung von Informationen zu Überflutungsgefahren, z. B. über ein Auskunftssystem und Informationssysteme, sein.

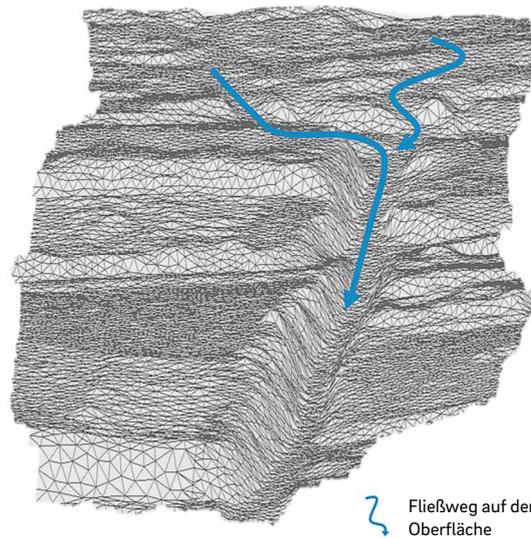
## 4.2 STRUKTUR DES OBERFLÄCHENMODELLS

### 4.2.1 AUFBAU DES RECHENNETZES

Die Grundlage jedes Oberflächenmodells stellt ein aus Geländepunkten (digitales Geländemodell) erzeugtes Rechennetz (dreiecks- oder rasterbasiert) dar (s. Abbildung 5). Die Geländepunkte fungieren hierbei als Stützpunkte der einzelnen Netzelemente. Da Fließhindernisse wie z. B. Gebäude, Mauern oder Bordsteine im digitalen Geländemodell meist nur unzureichend berücksichtigt werden, besteht die Möglichkeit, entsprechende Strukturen über die Implementierung von Bruchkanten oder die Modellierung des Geländemodells im Oberflächenmodell zu ergänzen. Als Grundlage kann auf Daten aus dem Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) oder auch auf Vermessungsdaten oder anderweitig erhobene Geodaten zurückgegriffen

werden. Die Auswirkungen entsprechender Anpassungen sind im Folgenden für ausgewählte Elemente beschrieben.

Weiterführende Informationen zur Erfassung und Modellierung von Oberflächen finden sich auch im DWA-M 543 1-3 „Geodaten in der Fließgewässermodellierung“ (DWA, 2015).



**Abbildung 5** Das Rechennetz als Abbildung der Geländeoberfläche – hier: Dreiecksbasiert

→ **Gebäudestrukturen**

Gebäude beeinflussen maßgeblich das Abflussgeschehen auf der Oberfläche und sollten daher bei der Simulation von Überflutungsereignissen berücksichtigt werden. Entsprechende Strukturen (Gebäudeumringe) können aus dem ALKIS bezogen und mit Hilfe von Gebäudebruchkanten im Oberflächenmodell abgebildet werden. Wie das untenstehende Beispiel zeigt (s. Tabelle 5),

empfeht es sich, die zugrunde gelegten Daten vor der Verwendung auf Durchfahrten an überbauten Verkehrswegen, Durchfahrten in Gebäuden, auskragende Geschosse und unterirdische Gebäude zu prüfen. Entsprechende Strukturen können maßgeblich Einfluss auf das Abflussgeschehen haben. Um aktuelle, bauliche Veränderungen im Stadtgebiet abzubilden, sollte zudem auf die Aktualität der Datengrundlage geachtet werden.



**Tabelle 5** Überarbeitung von Gebäudestrukturen

→ **Bordsteinkanten**

Bordsteinkanten können Einfluss auf das Abflussgeschehen haben und mit Hilfe von Bruchkanten im Modell abgebildet werden. Durch die Implementierung von Bruchkanten werden die im DGM oftmals nur unscharf abgebildeten Bordsteinstrukturen deutlicher profiliert. Für die Abbildung von

Bruchkanten kann vereinfacht auf Daten aus dem ALKIS (Verkehrsflächen) oder auch auf detaillierte Vermessungsdaten zurückgegriffen werden. Die untenstehenden Beispiele beschreiben mögliche Einflüsse von Bordstein-Bruchkanten auf die Berechnungsergebnisse (s. Tabelle 6).



Tabelle 6 Einflüsse von Bordstein-Bruchkanten auf Berechnungsergebnisse

→ **Mauern**

Mauern können Einfluss auf das Abflussgeschehen haben und mit Hilfe von Bruchkanten im Modell abgebildet werden. Da Mauern meist nicht im ALKIS erfasst sind, ist die Erhebung entsprechen-

der Daten (Lage und Höhe) mit hohem Aufwand verbunden. Die untenstehenden Beispiele beschreiben mögliche Einflüsse von Mauer-Bruchkanten auf die Berechnungsergebnisse (s. Tabelle 7).



**Tabelle 7** Einflüsse von Mauer-Bruchkanten auf Berechnungsergebnisse

### 4.2.2 AUFLÖSUNG DES RECHENNETZES

Zusätzlich zur Berücksichtigung abflussrelevanter Strukturen hat auch die Auflösung des Rechnernetzes Einfluss auf die Ergebnisse. Da die Lösung der Strömungsgleichungen numerisch oder vollständig für jedes Netzelement erfolgt, entspricht die Auflösung der Berechnungsergebnisse immer der des Rechnernetzes. Je nachdem, ob das Rechnernetz grob oder fein

gewählt wird, stellen sich die Abflussprozesse und Fließwege anders dar (s. Tabelle 8). Die Auflösung des Rechnernetzes sollte daher immer auch in Abhängigkeit der jeweiligen Aufgabenstellung gewählt werden. Während eine grobe Auflösung für eine stadtgebietsweite Ermittlung von Überflutungsschwerpunkten ausreichen kann, empfiehlt sich für Detailbetrachtungen auf der Ebene von Straßenzügen, Grundstücken und Gebäuden eine möglichst hohe Auflösung.

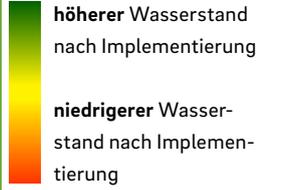


Tabelle 8 Einfluss der Auflösung des Rechnernetzes auf die Berechnungsergebnisse

### 4.3 STRASSENEINLÄUFE

Als Schnittstellen zwischen Kanalnetz- und Oberflächenmodell werden bei gekoppelten Berechnungen standardmäßig die Schächte des Kanalnetzmodells definiert. Zudem können auch Straßeneinläufe als Austauschelemente im Modell abgebildet werden. Die Möglichkeiten zur Implementierung von Straßeneinläufen sind jedoch stark softwareabhängig. Neben dem Ansatz, Straßeneinläufe und Anschlussrohre detailliert als eigenständige Netzelemente (verlustangepasste Schächte und Haltungen) abzubilden,

existiert eine Vielzahl vereinfachter Ansätze. Da in der Regel jedoch die erforderliche Datengrundlage für eine detaillierte Abbildung fehlt und eine entsprechende Implementierung mit hohem Aufwand verbunden ist, wird in der Praxis überwiegend auf vereinfachte Ansätze zurückgegriffen. Für vereinfachte Ansätze genügt die Information über die Lage der zu berücksichtigenden Straßeneinläufe. Die untenstehenden Beispiele beschreiben mögliche Einflüsse von vereinfacht berücksichtigten Straßeneinläufen auf die Berechnungsergebnisse (s. Tabelle 9).

Einflüsse von Mauer-Bruchkanten auf die Berechnungsergebnisse		
		
<ul style="list-style-type: none"> <li>im Modell berücksichtigte Straßeneinläufe</li> </ul>	<p>Durch die berücksichtigten Straßeneinläufe wird der Wasserstand sowohl leicht erhöht, als auch leicht vermindert. Die Einflüsse beschränken sich nicht allein auf den Straßenraum.</p>	<p>Durch die berücksichtigten Straßeneinläufe wird der Wasserstand im Straßenbereich deutlich vermindert.</p>
<p>Änderung des Wasserstands durch Berücksichtigung von Straßeneinläufen</p>  <p><b>höherer</b> Wasserstand nach Implementierung</p> <p><b>niedrigerer</b> Wasserstand nach Implementierung</p>		
<b>Erläuterungen</b>		
<p>Die Berücksichtigung von Straßeneinläufen bedeutet zusätzliche Schnittstellen zwischen Kanalnetz- und Oberflächenmodell. Hierdurch kann sowohl das Abflussgeschehen auf der Oberfläche als auch im Kanalnetz beeinflusst werden. Diese Einflüsse können je nach örtlicher Begebenheit (Gefälle, Straßenprofil), Implementierung und Auflösung des Rechnernetzes unterschiedlich sein.</p>		
<b>Fazit</b>		
<p>Ob Straßeneinläufe berücksichtigt werden sollten, hängt stark vom Genauigkeitsanspruch der jeweiligen Aufgabenstellung, der Datengrundlage und dem bevorzugten Ansatz zur modelltechnischen Umsetzung ab. Kosten und Nutzen sollten daher fallspezifisch bewertet und gegeneinander abgewogen werden.</p>		

**Tabelle 9** Einflüsse von vereinfacht berücksichtigten Straßeneinläufen auf die Berechnungsergebnisse

#### 4.4 SCHACHTDECKELNIVEAU

Die im Kanalinformationssystem (KIS) hinterlegten Schachthöhen stimmen selten mit den Höhen des digitalen Geländemodells überein. Mögliche Gründe sind z. B. veraltete Daten, Vermessungsfehler, Ungenauigkeiten bei der lasergestützten Erfassung der Geländeoberfläche oder eine zu grobe Auflösung

des DGM. Bei gekoppelten Modellen kann daher in der Regel festgelegt werden, ob die Angaben aus dem KIS oder die Höhen des DGM als Deckelhöhen verwendet werden sollen. Die untenstehenden Beispiele zeigen auf, welchen Einfluss die entsprechenden Einstellungen auf die Berechnungsergebnisse haben können (s. Tabelle 10).



Tabelle 10 Einfluss des Schachtdeckelniveaus auf die Berechnungsergebnisse

## 5

Vorgehensweise  
zur Auswahl  
einer Berechnungs-  
methode

# 5 Vorgehensweise zur Auswahl einer Berechnungsmethode

Die vorangegangenen Abschnitte vermitteln einen Überblick über mögliche Methoden zur hydrodynamischen Berechnung von Überflutungsgefahren, geben Auskunft über die erforderlichen Grundlagendaten und weisen auf wichtige Einflussfaktoren für die Berechnung hin. Es wird deutlich, dass die Ermittlung von Überflutungsgefahren durch verschiedene Faktoren beeinflusst ist, die bei der Entscheidung für eine konkrete Berechnungsmethode berücksichtigt werden müssen. Im Folgenden wird daher ein schrittweises Vorgehen empfohlen, um ausgehend von der jeweiligen Fragestellung eine geeignete Methode auszuwählen.

### Schritt 1

Der erste Schritt zur Auswahl Berechnungsmethode besteht in der Festlegung der Ziele der angestrebten Überflutungsberechnung. Mit der Beantwortung der folgenden Fragen lässt sich ein erstes Anforderungsprofil für die Berechnung erstellen.

→ **Was ist die Aufgabenstellung?**

(z. B. Erarbeitung einer urbanen Gefahren- und Risikokarte, Identifikation von Überflutungsschwerpunkten, detaillierte Überflutungsanalysen, Maßnahmenplanungen, Informationen von Bürgern)

→ **Welche Berechnungsergebnisse werden benötigt?**

(Überstauvolumina, Wasserstände im Kanalnetz,

Wasserstände auf der Oberfläche, Fließgeschwindigkeiten)

→ **Welche Grundlagen(daten) liegen vor?**

(Kanalnetzmodell, DGM, ALKIS, Versiegelungskataster, etc.)

→ **Welche Abflussprozesse sollen abgebildet werden?**

(Überstau, Abflüsse auf der Oberfläche, Außengebietsabflüsse, Abflüsse urbaner Gewässer)

→ **Wie groß ist das zu betrachtende Gebiet?**

→ **Wie hoch sollen die Ergebnisse der Oberflächenabflussberechnung aufgelöst sein?**

### Schritt 2

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus Schritt 1 sollte im zweiten Schritt die Auswahl einer Modellkombination und die eines Ansatzes zur Abflussbildung vorgenommen werden. Als Hilfsmittel steht hierbei Tabelle 2 zur Verfügung. Sie gibt einen Überblick über alle möglichen Berechnungsmethoden. Zudem sollten die Hinweise aus Abschnitt 4.2.2 zur Auflösung des Rechnernetzes (Oberflächenmodell) berücksichtigt werden.

Oftmals erfolgt die Entscheidung für eine Berechnungsmethode ausgehend von der vorhandenen bzw. erforderlichen Datengrundlage. Der wichtigste Faktor ist hierbei das Vorhanden- oder Nicht-Vorhandensein eines Kanalnetzmodells. Abbildung 6 gibt diesbezüglich Empfehlungen für fallspezifische Vorgehensweisen.

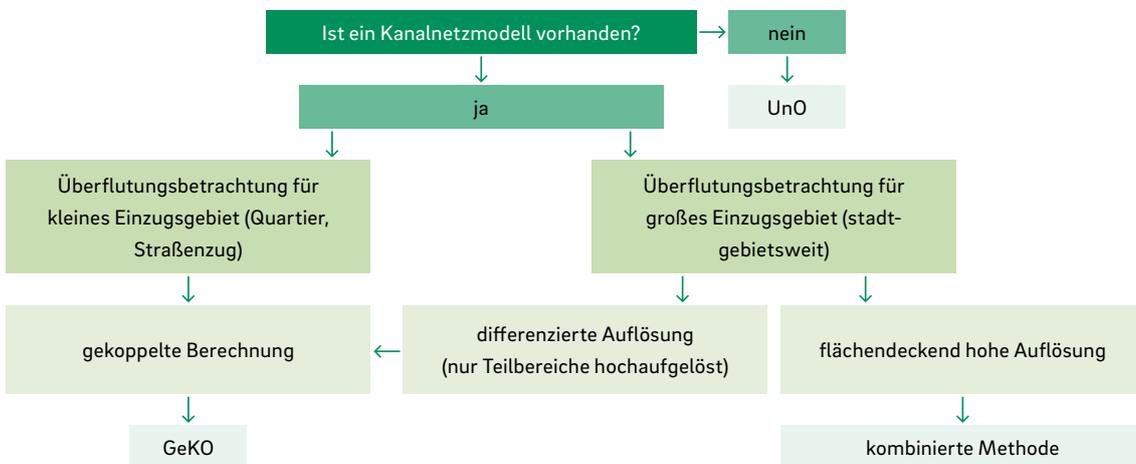


Abbildung 6 Entscheidungsbaum mit Empfehlungen zur Vorgehensweise in Abhängigkeit des Vorhandenseins bzw. nicht Vorhandenseins eines Kanalnetzmodells

	Bordsteine	Mauern	Straßeneinläufe	Schachtdeckelniveau
<b>Auswirkung</b>	gering	hoch	unterschiedlich	unterschiedlich
<b>Anwendung</b>	je nach Genauigkeitsanspruch	Detailplanung	je nach Genauigkeitsanspruch	Überprüfung der Grundlagendaten empfohlen
<b>Aufwand</b>	je nach Datengrundlage und Software unterschiedlich	sehr hoch	je nach Modellansatz und Software unterschiedlich	gering

**Tabelle 11** Auswirkung, Anwendung und Aufwand von Einflussfaktoren auf die Berechnungsergebnisse hydrodynamischer Berechnungen im Überblick

### Schritt 3

Ist eine Berechnungsmethode ausgewählt, sollte über die modelltechnische Abbildung weiterer Einflussfaktoren entschieden werden. Tabelle 11 gibt hierzu einen Überblick über die in Abschnitten 4.2.1, 4.3 und 4.4 genannten Einflussfaktoren.

Gebäudestrukturen sollten grundsätzlich im Oberflächenmodell berücksichtigt werden, da diese großen Einfluss auf die Abflussprozesse auf der Oberfläche haben. Es empfiehlt sich, die entsprechenden Grundlagendaten auf Durchfahrten an überbauten Verkehrswegen, Durchfahrten in Gebäuden, auskragende Geschosse und unterirdische Gebäude zu überprüfen und ggf. Anpassungen vorzunehmen (s. auch Abschnitt 4.2.1).

Als weitergehende Hilfestellung werden im Folgenden Entscheidungsprozesse für typische Aufgabenstellungen anhand von Beispielen aus dem Bremer Projekt KLAS erläutert.

**Erstellung einer stadtgebietsweiten Gefahrenkarte und Identifikation von Überflutungsschwerpunkten**  
Gefahrenkarten geben Aufschluss über potenzielle Überflutungsgefahren und gelten als wichtige Grundlage für den Betrieb einer wirkungsvollen Überflutungsvorsorge. Ausgehend von extremen Regenfällen und Überflutungen wurden die Akteure der Stadtentwässerung der Freien Hansestadt Bremen im Jahr 2011 von der Politik beauftragt, die massiven Auswirkungen des Unwetters auf das Stadtgebiet zu untersuchen und eine entsprechende Datengrundlage für das Stadtgebiet von Bremen zu erstellen. Als vorrangiges Ziel wurde die Identifikation von Überflutungsschwerpunkten im Stadtgebiet definiert.

#### → Welche Berechnungsergebnisse wurden hierzu benötigt?

In der Gefahrenkarte sollten die maximalen Wasserstände für ein Starkregen mit der Wieder-

kehrzeit von  $T = 30$  a dargestellt werden.

#### → Welche Grundlagen(daten) lagen vor?

Für das Stadtgebiet von Bremen lagen für große Teile Kanalnetzmodelle vor, jedoch kein digitales Geländemodell. ALK-Daten waren flächendeckend verfügbar.

#### → Welche Abflussprozesse sollten abgebildet werden?

Abgebildet werden sollten möglichst Abflussprozesse im Kanal- und auf der Oberfläche.

#### → Wie groß ist das zu betrachtende Gebiet?

Das Bremer Stadtgebiet erstreckt sich über eine Fläche von rd. 325 km<sup>2</sup>.

#### → Wie hoch sollten die Ergebnisse der Oberflächenabflussberechnung aufgelöst sein?

Die Ergebnisse sollten möglichst hoch aufgelöst sein.

Ausgehend von diesem Anforderungsprofil wurde in einem ersten Schritt die Erstellung eines digitalen Geländemodells für das Stadtgebiet in Auftrag gegeben. Für die Abbildung von Überflutungsprozessen auf der Oberfläche ist dieses zwingend erforderlich.

In einem zweiten Schritt wurde nach einer geeigneten Methode zur Berechnung der Überflutungsgefahren gesucht. Da eine gekoppelte Berechnung aufgrund der Größe des Stadtgebiets nur in einer geringen und nicht zielführenden Auflösung möglich gewesen wäre, bestand zunächst nur die Möglichkeit einer reinen Oberflächenberechnung. Diese war zum damaligen Zeitpunkt für das Stadtgebiet rasterbasiert mit einer Auflösung von maximal 5 m x 5 m möglich. Durch den Fortschritt der Modelltechnik ist heute bereits eine Auflösung von 1 m x 1 m möglich. Da dem Einfluss des Kanalnetzes jedoch große Bedeutung beigemessen wurde, wurde die kombinierte Methode entwickelt, um auch diesen zu berücksichtigen. Die diesem Leitfaden zugrunde liegenden Untersuchungen haben ergeben, dass sich die kombinierte Methode sehr gut für die Übermittlung von Überflutungsschwerpunkten großer Stadtgebiete eignet (s. Abschnitt 4.1.2).

**Erarbeitung von Risikokarten**

Ausgehend von den erstellten Gefahrenkarten wurden weitergehende Risikobetrachtungen innerhalb des Projekts durchgeführt. Unter anderem wurde in Zusammenarbeit mit dem örtlichen Stromversorgungsunternehmen ein Verfahren zur Ermittlung des Überflutungsrisikos für Stromversorgungseinrichtungen entwickelt. Da die Lageinformation zu den einzelnen Einrichtungen nur gebäudescharf vorlag, wurde auch die Einschätzung der Überflutungsgefährdung gebäudescharf vorgenommen. Hierfür wurde für jedes Gebäude mit einer Stromversorgungseinrichtung der maximale, am Gebäude anstehende Wasserstand ermittelt. Durch eine Klassifizierung der ermittelten Wasserstände konnten die anschließenden Ortsbegehungen zur Ermittlung des Schadens- und Risikopotenzials priorisiert nach dem Grad der Überflutungsgefährdung vorgenommen werden. Zur Unterstützung der Zusammenarbeit und dem fachlichen Austausch mit dem Stromversorgungsunternehmen wurden die Grundlagendaten und Analyseergebnisse in einem online-basierten Aus-

kunfts- und Informationssystem (AIS) bereitgestellt. (s. Abbildung 7). Bei einem Praxistest im Bremer Stadtteil Findorff stellte sich heraus, dass das Verfahren zwar bereits gute Erkenntnisse liefert, sich diese jedoch durch eine höhere Auflösung der Datengrundlage (Wasserstände) verbessern und präzisieren ließen. Angestrebt wird daher eine Aktualisierung der stadtgebietsweiten Überflutungsberechnung in einer Auflösung von 1 m x 1 m (rasterbasiert).

**Detaillierte Überflutungsanalysen, Maßnahmenplanung**

Für die detaillierte Abbildung von Überflutungsprozessen und zur Planung konkreter Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge werden in Bremen gekoppelte Kanalnetz- und Oberflächenmodelle eingesetzt. Auf Quartiers- und Straßenebene ist dies bei hoher Auflösung unabhängig von der Wahl des Ansatzes zur Abflussbildung möglich. Über welches Modell die Abflussbildung abgebildet wird, wird fallspezifisch in Abhängigkeit der jeweiligen Aufgabenstellung und



Abbildung 7 Bereitstellung der Grundlagendaten und Analyseergebnisse im Informations- und Auskunftssystem (AIS) zur Starkregenvorsorge



**Abbildung 8** Überflutung der schmalen Straße und ebenerdiger Hauseingang in Projektgebiet 1

den vorherrschenden Randbedingungen entschieden. Je nach Anforderung werden Bordsteine und weitere Details in den Oberflächenmodellen abgebildet.

Bei Kanalsanierungen, die mit einer Neugestaltung des Straßenraums verbunden sind, wurden beispielsweise im Rahmen von zwei Pilotvorhaben Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge an der Oberfläche abgeleitet. Hierzu wurden zunächst die Wasserstände der Gefahrenkarten, die mittels kombinierter Methode erstellt wurden, berücksichtigt, um einen generellen Handlungsbedarf zur Überflutungsvorsorge abzuleiten. Bei bestehendem Handlungsbedarf und zur konkreten Maßnahmenplanung wurde ergänzend eine gekoppelte Berechnung durchgeführt.

Da sich bei beiden Pilotvorhaben aufgrund der berechneten Wasserstände Überflutungsgefahren zeigten, wurden Maßnahmen zur Anpassung der Straße an der Oberfläche im Sinne der Überflutungsvorsorge abgeleitet.

#### **Pilotprojekt 1:**

Die Straße ist sehr schmal (3,1-4,2 m) und der Gestaltungsspielraum im öffentlichen Bereich somit

eingeschränkt. Die Hauseingänge münden z.T. ebenerdig auf die Straße (s. Abbildung 8). Die Straße wurde als V-Profil mit Mittelrinne umgestaltet, so dass das Wasser von den Häusern weggeleitet wird.

#### **Pilotprojekt 2:**

Im Zuge der kanalseitigen Sanierung eines Wohnquartiers ist die Erneuerung der Straßen vorgesehen. Auf Wunsch der Anwohner soll der Straßenraum als „shared space“ gestaltet werden. Dahinter verbirgt sich die Gestaltung des Straßenraumes als ebene Fläche, die von den Verkehrsteilnehmern gemeinsam genutzt wird. Zur detaillierten Ermittlung des Gefährdungspotenzials und als Grundlage für die Umsetzung eines entsprechenden Konzeptes wurden gekoppelte Berechnungen durchgeführt. Berücksichtigt wurden bei diesen auch die abflussrelevanten Bordsteinkanten. Aus den Berechnungsergebnissen geht hervor, dass eine höhenmäßige Abgrenzung der Grundstücke gegenüber der Straße notwendig ist, um die Straße als Retentionsvolumen nutzen zu können. Die Absenkung der gesamten Straße hätte zu hohe Aufkantung zu den Grundstücken ergeben, so dass die Gestaltung mit niedrigerem Straßenraum und erhöhten Bordsteinen erfolgen wird. An mehreren

Stellen tritt das Wasser im Istzustand aus dem Straßenraum auf die Grundstücke über. Hier kann abfließendes Wasser durch eine zusätzliche Anhöhung der Bordsteine zukünftig im Straßenraum vermehrt zurückgehalten werden. Darüber hinaus wird die Abflussleistung der Straßenabläufe erhöht. Zudem ist auch eine Überleitung von Wasser auf eine brachliegende Grünfläche angedacht. Letzteres befindet sich noch im Abstimmungsprozess.

**Information der Bürger zu Überflutungsgefahren**

Eine wesentliche Säule der Überflutungsvorsorge stellt die Information und Förderung der Eigenvorsorge von Bürgern bzw. Grundstückseigentümern dar. Da auch bei Maßnahmen im öffentlichen Raum immer ein Restrisiko auf den Privatgrundstücken bestehen bleiben wird, ist es wichtig diese Information in die Öffentlichkeit zu transportieren und die Bürger für die Themen „Starkregen und Überflutung“ zu sensibilisieren. Im Projekt KLAS wurde hierzu ein Auskunftungsmodell entwickelt, über das Bürgern auf verschiedenen Ebenen Informationen bereitstellt werden sollen. Die erste Informationsstufe ist eine stadtgebietsweite Gefahrenkarte, die zur Sensibilisierung der Grundstückseigentümer gedacht ist. Aus Datenschutzgründen kann nur bis zu einem gewissen Maßstab in die Karte hineingezoomt werden (s. Abbildung 10).

Für die Sensibilisierungsmaßnahme ist die generierte Datengrundlage in der Auflösung von 5 m x 5 m (rasterbasiert) daher ausreichend. In der zweiten Stufe ist geplant, Grundstückseigentümern per Antrag detaillierte Informationen zur Überflutungsgefährdung für ihr eigenes Grundstück in Form eines Auskunftsfomulars zukommen zu lassen. Für eine aussagekräftige Darstellung der Überflutungsgefährdung auf Grundstücksebene ist jedoch eine höhere Auflösung der stadtgebietsweiten Berechnungsergebnisse wünschenswert (s. Tabelle 8) und wird daher in Bremen angestrebt. Die dritte und letzte Beauskunftungsstufe besteht in der Möglichkeit, sich im Rahmen eines Beratungsgesprächs auf dem eigenen Grundstück zu den Themen „Grundstücksentwässerung“ und „Überflutungsvorsorge“ beraten zu lassen. Auch hier wäre eine hochaufgelöste Gefahrenkarte als Informationsquelle für das Beratungspersonal hilfreich. Die Weiterentwicklung des Auskunftungsmodells für die Sensibilisierung und die Stärkung der Eigenvorsorge von Grundstückseigentümern bis zur Umsetzungsreife ist im Zuge eines weiteren KLAS-Folgeprojektes (Laufzeit 2017 bis 2019) vorgesehen.

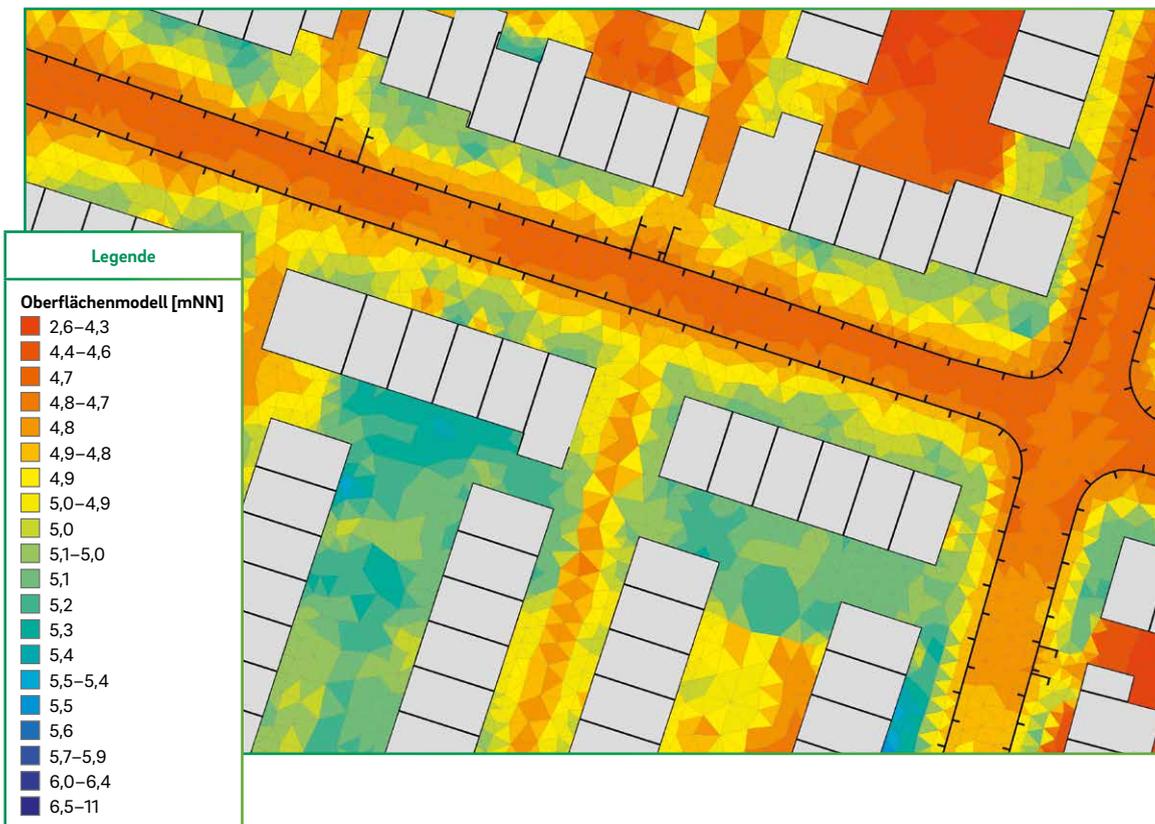
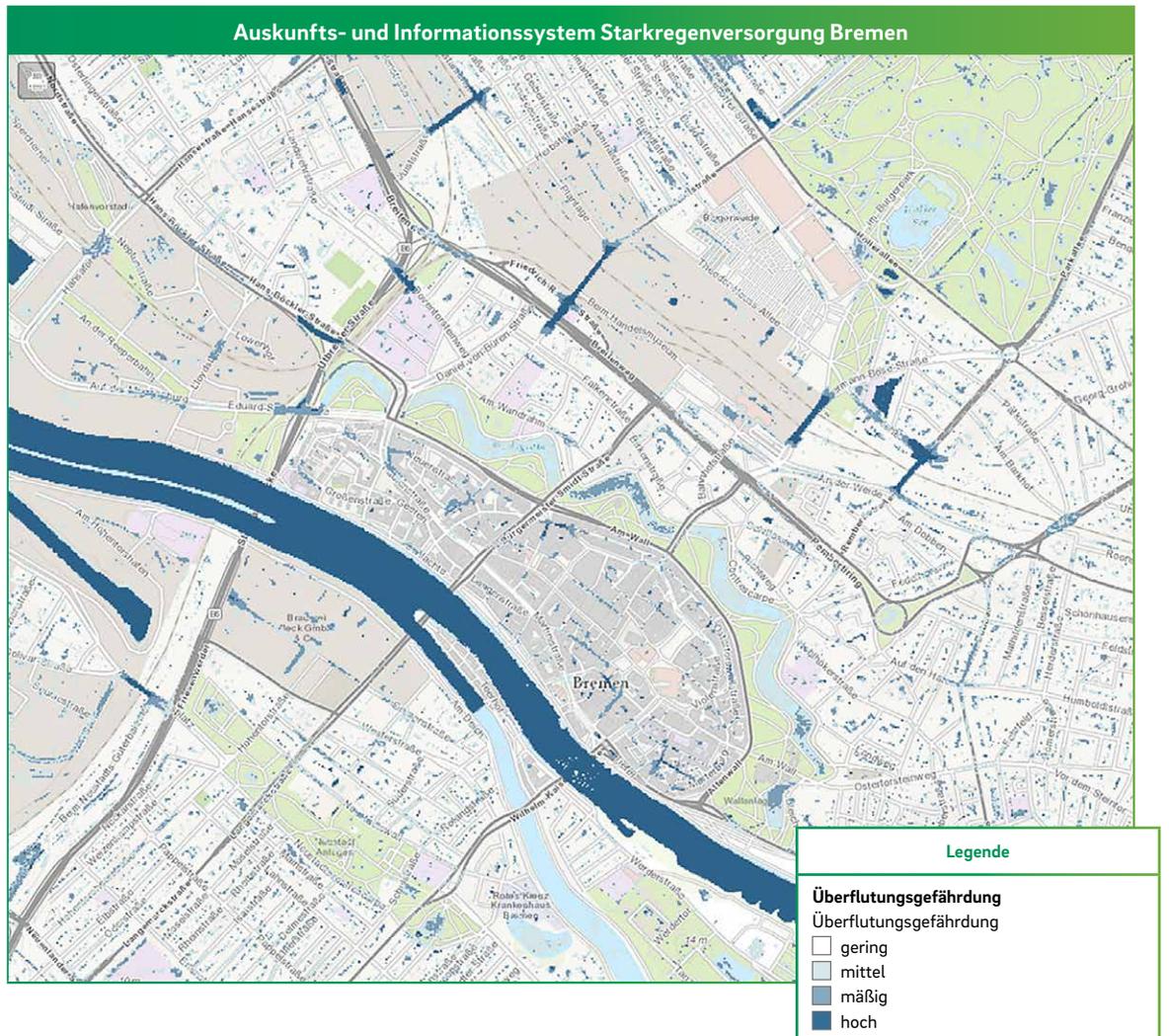


Abbildung 9 Oberflächenmodell im Projektgebiet 2



**Abbildung 10** Entwurf der Sensibilisierungskarte im Auskunft- und Informationssystem Starkregenvorsorge

# 6

## Aufwand von Überflutungs- berechnungen

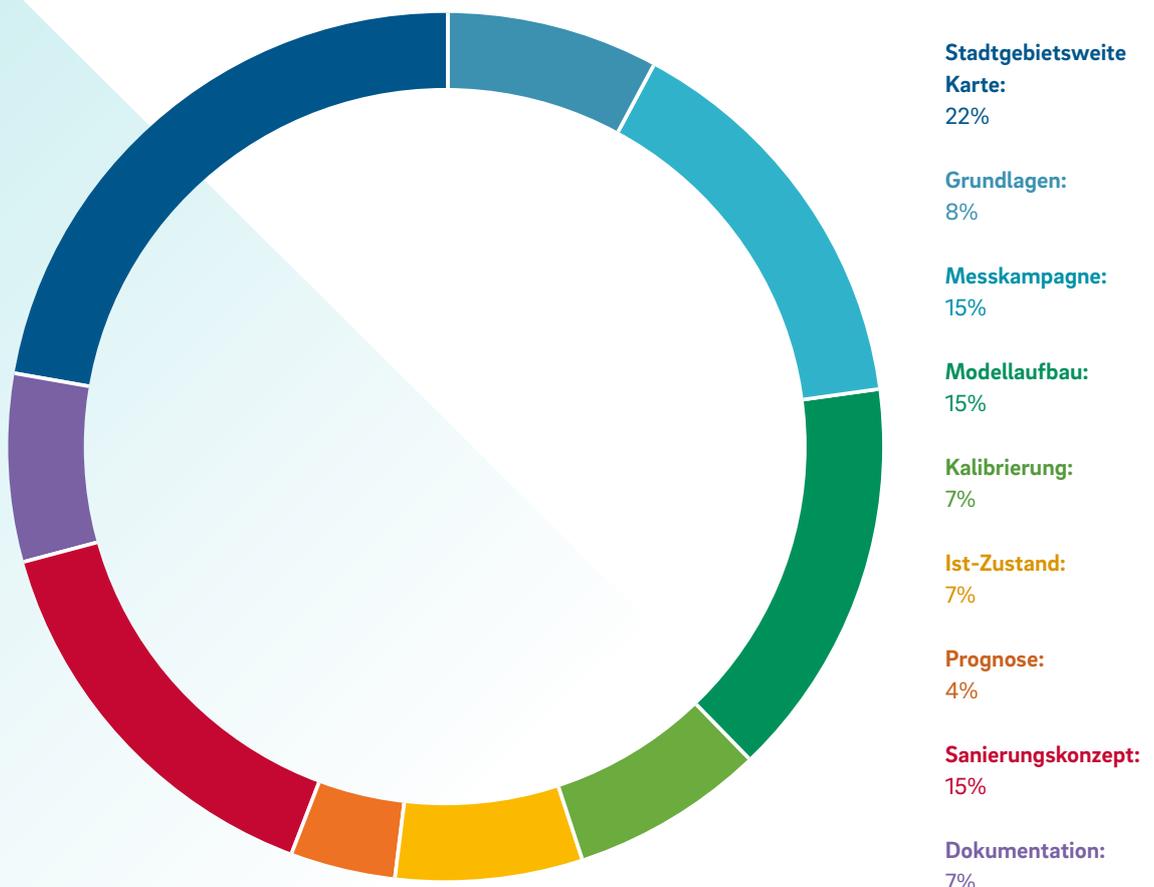
## 6 Aufwand von Überflutungsberechnungen

Der Arbeits-, Kosten- und Rechenaufwand, der zur Ermittlung von Überflutungsgefahren betrieben werden muss, hängt stark von den jeweiligen Randbedingungen ab. Wichtige Faktoren sind in diesem Zusammenhang die Datengrundlage, der Modellaufbau und vorhandenen Rechenkapazitäten. Zur Einordnung des Aufwands können daher übergeordnet nur folgende Aussagen getätigt werden:

- Der Aufwand für den Aufbau eines gekoppelten Modells ist wesentlich höher als der für den Aufbau eines ungekoppelten Modells. Der Grund: Ein gekoppeltes Modell erfordert im Gegensatz zu einem ungekoppelten Modell immer den Aufbau zweier Modelle.
- Der Aufwand für den Aufbau eines Oberflächenmodells ist maßgeblich durch die Größe des Untersuchungsgebiets und den Detaillierungsgrad beeinflusst.

→ Je mehr Netzelemente des Oberflächenmodells in der Berechnung benetzt werden, desto mehr Rechenleistung bzw. Rechenzeit ist erforderlich. Die Auflösung des Rechnernetzes (Oberflächenmodell) spielt hier eine wesentliche Rolle.

→ Zur generellen Einordnung des Kostenaufwands zeigt Abbildung 11 beispielhaft die anteiligen Kosten in % (Erfahrungswerte der Dr. Pecher AG) für die Erstellung eines Generalentwässerungsplans und einer stadtgebietsweiten Gefahrenkarte für eine Großstadt.



**Abbildung 11** Anteiliger Kostenaufwand für die Erstellung eines Generalentwässerungsplans und einer stadtgebietsweiten Überflutungsberechnung (Dr. Pecher AG)

# 7

## Berücksichtigung des Klimawandels

## 7 Berücksichtigung des Klimawandels

### 7.1 AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF ENTWICKLUNG LOKALER STARK-REGENEREIGNISSE

Der Weltklimarat beschreibt in seinem Synthesebericht zum 5. Sachstandsbericht „Klimaänderung 2014“ (IPCC, 2014), dass extreme Niederschlagsereignisse in den mittleren Breiten, also auch in Europa, sehr wahrscheinlich bis zum Ende dieses Jahrhunderts intensiver und häufiger auftreten werden. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch zahlreiche regionale Studien, in denen Auswirkungen für verschiedene Regionen in Europa untersucht wurden. Im Rahmen des KLAS-Projekts wurden die Ergebnisse elf ausgewählter Studien gegenübergestellt und hinsichtlich übereinstimmender und abweichender Aussagen zur Veränderung der Niederschlagsintensität für verschiedene Dauerstufen und Wiederkehrzeiten untersucht. Bei einigen Studien liegen Klimasimulationen für zukünftige Randbedingungen zugrunde, bei anderen Studien wird die Veränderung des gemessenen Regengehens über eine langjährige Zeitreihe bewertet. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen helfen, das Ausmaß bzw. den Schwankungsbereich möglicher Änderungen abschätzen und Rückschlüsse für die eigenen Untersuchungen (z. B. zur Überflutungsbetrachtungen) ziehen zu können.

Die Vergleiche innerhalb der Studien wurden jeweils zwischen Zeiträumen in der ersten und zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts und für verschiedene Dauerstufen (5–30 min., 45–240 min. und 6–24 h) und Wiederkehrzeiten (1–5 a und 10–100 a) vorgenommen. Tabelle 12 gibt einen Überblick über die Untersuchungsergebnisse und enthält Informationen zu den in den Studien verwendeten Klima- bzw. Regionalisierungsmodelle. Die prognostizierte Zu- oder Abnahme der Niederschlagsintensität ist jeweils in Prozentpunkten angegeben.

Die meisten Studien zeigen eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten sowohl für kurze als auch längere Dauerstufen. Die kurzen Dauerstufen weisen gegenüber den langen Dauerstufen stärkere Anstiege auf. Zudem zeigen die meisten Studien eine Zunahme von Starkregenereignissen in den Herbst- und Wintermonaten, während sich die Veränderungen bei den sommerlichen Starkregenereignissen zwischen den einzelnen Studien teilweise stark unterscheiden. Anzumerken ist jedoch, dass der Begriff „Starkregen“ in Studien nicht einheitlich verwendet wird (zum Teil auf Tagesbasis). Damit beziehen sich die jeweiligen Aussagen über eine steigende Zahl von Starkregenereignissen nicht immer auf die für die Stadtentwässerung maßgebenden kurze Regenereignisse.

Dennoch deuten einige Studien darauf hin, dass es in den Sommermonaten zu einer signifikanten Zunahme von lokal begrenzten Niederschlägen, die die Abflusskapazität von städtischen Entwässerungssystemen erheblich überschreiten können, kommen kann. Eine belastbare Quantifizierung ist allerdings kaum möglich.

### 7.2 BERÜCKSICHTIGUNG DES KLIMAWANDELS BEI ÜBERFLUTUNGSBERECHNUNGEN

Nach DIN EN 752 (DIN, 2008) sind mögliche Auswirkungen des Klimawandels im Rahmen der Bemessung von Entwässerungssystemen in Betracht zu ziehen. Dies gilt auch für den Nachweis der zulässigen Überflutungshäufigkeiten. Es stellt sich daher die Frage, in welcher Form die möglichen Auswirkungen des Klimawandels bei der Berechnung von Überflutungsgefahren berücksichtigt werden können und wie die Ergebnisse zu bewerten sind.

Aus den Untersuchungen des Forschungsprojekts KUK „Auswertung von Überflutungsereignissen in NRW und Hinweise zur Bemessung von Entwässerungssystemen vor dem Hintergrund des Klimawandels“ (LANUV, 2010) geht hervor, dass Untersuchungen zur Auswirkung des Klimawandels niemals pauschal und isoliert, sondern nur im Rahmen von Sensitivitäts- und Risikoanalysen erfolgen sollten. Eine pauschale Vorgabe von Bemessungszuschlägen (Klimafaktor) wird als nicht zielführend beschrieben, da diese bei Planern, Betreibern und der Bevölkerung ein „falsches“ Sicherheitsgefühl hervorrufen könnte. Ähnliche Aussagen trifft auch Schmitt (2011) und verweist zudem darauf, dass parallel zur Anpassung der Eingangsgröße „Niederschlag“ immer auch über die „Unsicherheiten“ in der Quantifizierung der sonstigen Eingangsgrößen nachgedacht werden muss. Da im technischen Regelwerk bislang keine konkreten Vorgehensweisen zur Durchführung entsprechender Sensitivitätsanalysen beschrieben sind, ist nachfolgend beispielhaft das Vorgehen im Rahmen der Forschungsprojekte SaMuWa und KLAS beschrieben.

Innerhalb des Forschungsprojekts SaMuWa „Die Stadt als hydrologisches System im Wandel – Schritte zu einem anpassungsfähigen Management des urbanen Wasserhaushalts“ (ILPÖ, 2016) wird eine Vorgehensweise vorgestellt, bei der Klimatrends mit Hilfe regionaler Klimamodelle auf Niederschlagsreihen übertragen und in die Bemessungsgrößen integriert werden. Zur Interpretation und Bewertung der Ergebnisse wurden Differenzkarten erstellt, aus

	D = 5–30 min		D = 45–240 min		D = 6 h–24		Bemerkungen zu Studien- und Institutsnamen
	T = 1–5 a	T = 10–100 a	T = 1–5 a	T = 10–100 a	T = 1–5 a	T = 10–100 a	
<b>KliBiW (NLWKN, 2014) (1971–2000 vs. 2071–2100)</b>	–	–	–	–	deutlicher Anstieg (10 bis 25 %)	sehr starker Anstieg (10 bis > 50 %)	→ RCM: REMO-UBA, REMO-BfG, WETTREG2006 → GCM: ECHAM5-MPIOM; Emissionsszenario A1B → nur Tageswerte (D = 24 h) verfügbar
<b>hanseWasser (Schmitt et al., 2009) (1957–2006)</b>	Anstieg (5 bis 12 %)	deutlicher Anstieg (9 bis 15 %)	teilweise Anstieg (1% bis 13 %)	teilweise Anstieg (0% bis 15 %)	keine Änderung (0 bis 3 %)	leichte Abnahme (-4 bis 0 %)	Regenstatistik Findorff, Messwerte Vergleich Statistik aus Regenreihe 1957–1997 mit 1957–2006
<b>Uccle, Belgien (Willems et al., 2012) (1967–1993 vs. 2071–2100)</b>	starker Anstieg (19 bis 33 %)	sehr starker Anstieg (56 bis 61 %)	starker Anstieg (26 bis 34 %)	sehr starker Anstieg (67 bis 84 %)	deutlicher Anstieg (14 bis 25 %)	sehr starker Anstieg (44 bis 58 %)	→ GCM: ECHAM5; Emissionsszenario A1B → einzige Studie bei der die Niederschlagshöhen in Richtung ansteigender Dauerstufe zunehmen → höchste projizierte Anstiege für D = 45 min–24 h
<b>Stockholm, Schweden; DS tuned/untuned (Willems et al., 2012) (1961–1990 vs. 2071–2100)</b>	–	deutlicher Anstieg ≈ 19 % (30 min)	–	deutlicher Anstieg (13 bis 19 %)	–	deutlicher Anstieg (12 bis 20 %)	→ RCM: RCA3 → Global: ECHAM4; Durchschnittswerte aus A1B-, A2- und B2-Emissionsszenarien → nur Werte für die Wiederkehrzeit T = 10 a vorhanden
<b>Stockholm, Schweden; Grid scale (Willems et al., 2012) (1961–1990 vs. 2071–2100)</b>	–	deutlicher Anstieg ≈ 16 % (30 min)	–	deutlicher Anstieg (12 bis 14 %)	–	deutlicher Anstieg (8 bis 12 %)	→ kein weiteres Downscaling des Regionalmodells RCA auf lokale Faktoren
<b>Dänemark, stoch. (Arnbjerg-Nielsen, 2012) (1961–1990 vs. 2071–2100)</b>	deutlicher Anstieg (8 bis 17 %)	deutlicher Anstieg (13 bis 27 %)	deutlicher Anstieg (9 bis 14 %)	deutlicher Anstieg (8 bis 18 %)	leichter Anstieg (7 bis 9 %)	leichter Anstieg (6 bis 9 %)	→ RCM: HIRHAM → GCM: HadAM3H AGCM; Emissionsszenario A2
<b>Dänemark, partiell (Arnbjerg-Nielsen, 2012) (1961–1990 vs. 2071–2100)</b>	–	–	starker Anstieg (13 bis 33 %)	sehr starker Anstieg (25 bis 53 %)	deutlicher Anstieg (11 bis 17 %)	starker Anstieg (15 bis 36 %)	→ RCM: HIRHAM → GCM: HadAM3H AGCM; Emissionsszenario A2
<b>Climate Analogue (Arnbjerg-Nielsen, 2012) (2071–2100)</b>	starker Anstieg (22 bis 31 %)	starker Anstieg (30 bis 40 %)	deutlicher Anstieg (18 bis 22 %)	starker Anstieg (35 bis 37 %)	deutlicher Anstieg ≈ 15 % (D = 6h)	deutlicher Anstieg ≈ 19 % (D = 6h)	→ RCM: HIRHAM → GCM: CNRM ARPEGE; Emissionsszenario A2
<b>NRW (ExUs) (LANUV, 2010) (1950–2008)</b>	starker Anstieg (29 bis 43 %)	starker Anstieg (47 bis 50 %)	deutlicher Anstieg (15 bis 20 %)	deutlicher Anstieg (21 bis 22 %)	–	–	→ Starkregenanalyse nach ATV-A121 angepasste Regenstatistik nach Messergebnissen einzelner Wetterstationen
<b>BW (LUBW, 2010) (1961–1990 vs. 2025–2034)</b>	sehr starker Anstieg (9 bis 54 %)	starker Anstieg (0 bis 65 %)	leichte Abnahme (2 bis (-10 %))	sehr leichte Zu- oder Abnahme (5 bis (-1 %))	deutliche Abnahme (-10 bis (-15 %))	deutlicher Anstieg (17 bis (-2 %))	→ RCM: REMO, RACMO → GCM: ECHAM5, HadCM3 → lokal: NiedSim-Klima
<b>BW (LUBW, 2010) (1961–1990 vs. 2041–2050)</b>	sehr starker Anstieg (9 bis 62 %)	sehr starker Anstieg (9 bis 74 %)	leichte Abnahme (2 bis (-10 %))	deutliche Abnahme (-3 bis (-13 %))	leichte Zu- oder Abnahme (8 bis (-2 %))	leichte Zu- oder Abnahme (7 bis (-10 %))	→ RCM: REMO, RACMO → GCM: ECHAM5, HadCM3 → lokal: NiedSim-Klima

**Tabelle 12** Veränderung der Niederschlagshöhe in Abhängigkeit von Dauerstufe D und Wiederkehrzeit T als Ergebnis der Gegenüberstellung verschiedener Studien zur Auswirkung des Klimawandels\* auf lokale Niederschlagshöhen

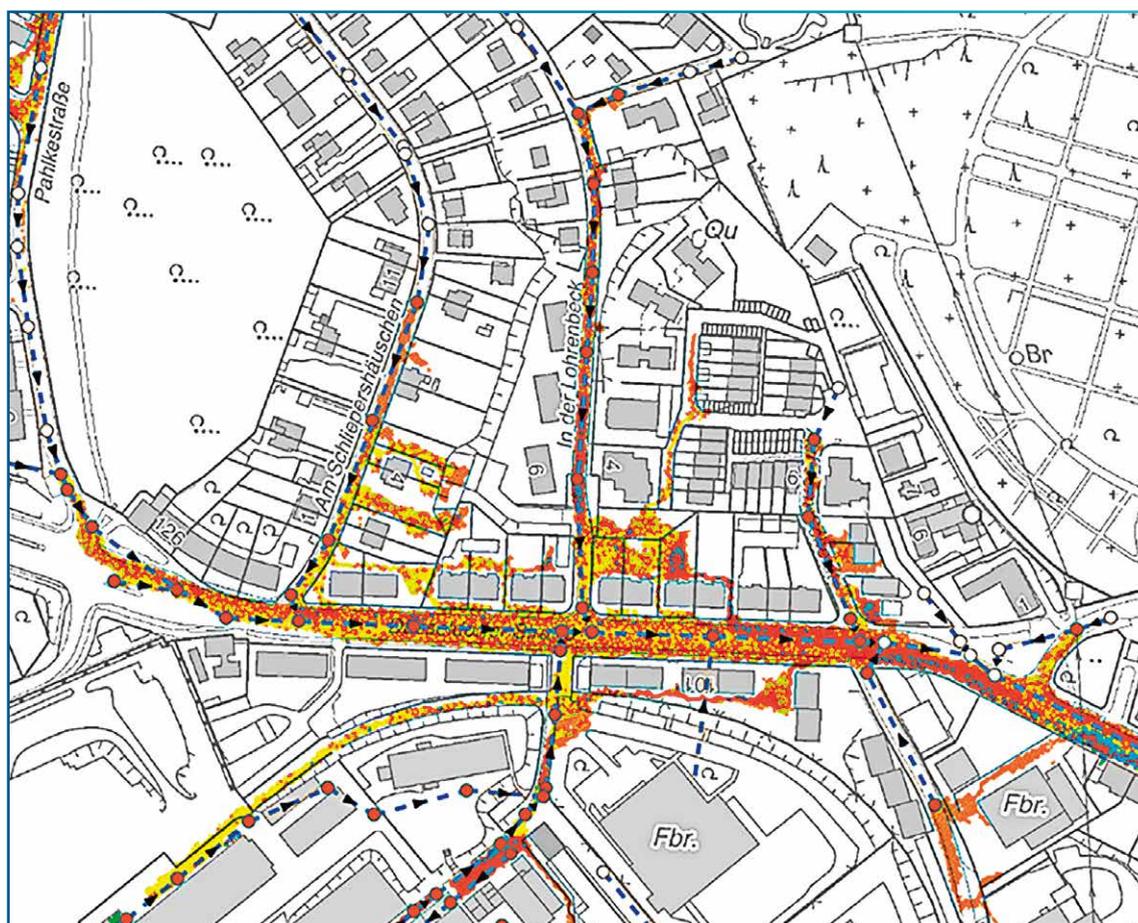
denen Unterschiede zwischen der Berechnung mit und ohne Berücksichtigung eines Klimatrends deutlich werden (s. Abbildung 12).

Im Projekt KLASII hingegen wurde eine Sensitivitätsprüfung durchgeführt. Untersucht wurden die Unterschiede zwischen den Überflutungsflächen für Niederschlagsereignisse mit der Wiederkehrzeit von  $T = 30$  a und  $T = 100$  a (s. Tabelle 13). Auf diese Weise konnten, ohne Annahmen zur Auswirkung des Klimawandels auf die Entwicklung lokaler Starkregenereignisse treffen zu müssen, Informationen zur Überflutungsgefahr bei verschiedenen Niederschlagsintensitäten ermittelt werden. Die Ergebnisse der

Sensitivitätsanalyse können z. B. bei der Planung von Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge (z. B. Objektschutz) berücksichtigt werden.

Folgende Punkte lassen sich aus den Untersuchungen zur Berücksichtigung des Klimawandels festhalten:

- Starkregenereignisse treten lokal und zeitlich begrenzt auf und können nach Angaben des DWD in Deutschland ortsunabhängig Regenmengen von bis zu  $300 \text{ l/m}^2$  bedeuten [Halbig, 2016].
- Die Häufigkeit von Starkregenereignissen wird bis zum Jahr 2100 zunehmen (IPCC, 2014).



Vergleich der maximalen Wasserstände ü. GOK

- Wasserstand  $T = 20$  a < Wasserstand  $T = 20$  a (Klimatrend)
- Wasserstand  $T = 20$  a > Wasserstand  $T = 20$  a (Klimatrend)
- Wasserstand nur  $T = 20$  a
- Wasserstand nur  $T = 20$  a (Klimatrend)
- Wasserstand  $T = 20$  a =  $T = 20$  a (Klimatrend)

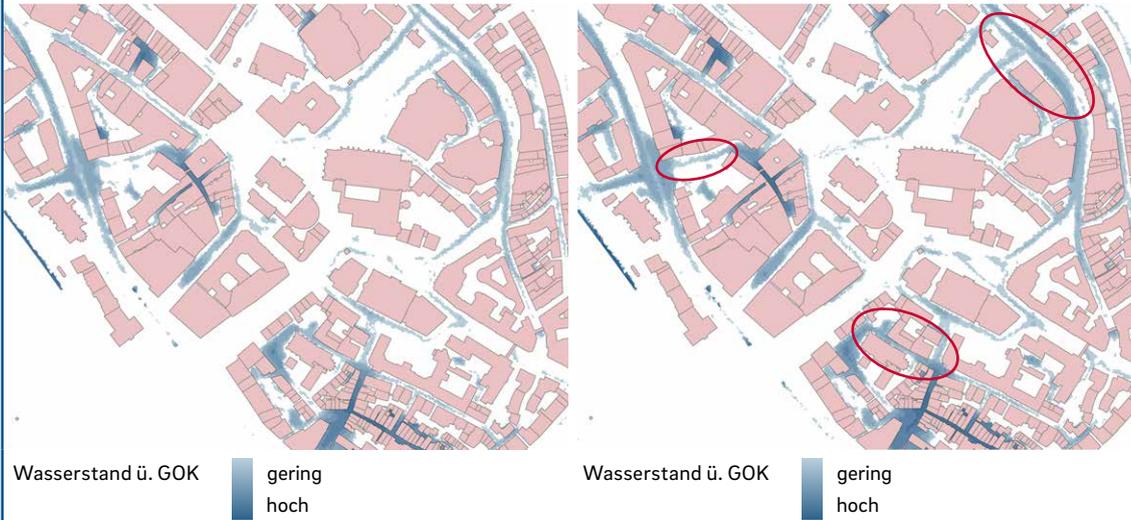
**Abbildung 12** Vergleich simulierter Wasserstände mit und ohne Berücksichtigung eines Klimatrends bzw. Klimafaktors (ILPÖ, 2016)

\* Die Studie von Schmitt beschreibt lediglich eine Veränderung der gemessenen Niederschlagshöhen. Eine ursächliche Verbindung zum Klimawandel wurde nicht gezogen.

Vergleich von berechneten Wasserständen für die Wiederkehrzeiten  $T = 30$  a und  $T = 100$  a

Ergebnisse der Überflutungsberechnung (GeK) für  $T = 30$  a

Ergebnisse der Überflutungsberechnung (GeK) für  $T = 100$  a



Ergebnisvergleich

Die Unterschiede zwischen den für beide Niederschlagsbelastungen berechneten Wasserständen sind je nach örtlichen Randbedingungen (Topografie, Oberflächenbeschaffenheit, Bebauungsstruktur, Kanalnetz, etc.) unterschiedlich groß. In den rot markierten Bereichen wurden beispielsweise signifikante Unterschiede von 10–20 cm festgestellt. Würden hier konkrete Maßnahmen zur Umgestaltung des Straßenraumes oder zum Schutz der örtlichen Bebauung geplant, könnten die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse berücksichtigt werden. Der Wasserstand für  $T = 100$  a würde in diesem Fall dann als maßgebendes Schutzniveau betrachtet. Inwieweit die Ergebnisse einer entsprechenden Sensitivitätsanalyse im Rahmen konkreter Planungen berücksichtigt werden können, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen.

Tabelle 13 Abschätzung möglicher Einflüsse des Klimawandels über eine Sensibilitätsanalyse verschieden hoher Niederschlagsbelastungen

- Wirkungsvolle Anpassungsstrategien (im öffentlichen und privaten Bereich) werden für den Überflutungsschutz zukünftig eine noch wichtigere Rolle spielen.
- Auswirkungen von Starkregenereignisse sollten daher im Rahmen von Überflutungsberechnungen berücksichtigt werden.
- Maßnahmen zum Überflutungsschutz sollten in der Planungsphase auf ihre Sensitivität gegenüber Auswirkungen von Starkregenereignissen unterschiedlicher Intensität überprüft werden.
- Einen vollständigen Schutz kann aufgrund der Seltenheit der Extremereignisse nicht wirtschaftlich sein. Ein Restrisiko bleibt immer bestehen.
- Anpassung an den Klimawandel ist eine langfristige Aufgabe, die nur durch interdisziplinäre Stadtplanung wirkungsvoll gelöst werden kann.

# Literatur

## LITERATUR

- Arnbjerg-Nielsen, K. (2012): *Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design*. In: Urban Water Journal 9 (2), S. 57–65, DOI: 10.1080/1573062X.2011.630091
- DIN (2008): *Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden*. DIN EN 752, Deutsches Institut für Normung e.V., April 2008, Berlin
- DWA (2015): *Geodaten in der Fließgewässermodellierung*. Entwurf DWA Merkblatt 543 1–3, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Dezember 2015, Hennef
- DWA (2016): *Risikomanagement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme bei Starkregen*. DWA Merkblatt 119, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Dezember 2016, Hennef
- DWA (2006): *Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*. DWA Arbeitsblatt 118, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Dezember 2006, Hennef
- Fuchs, L. (2015): *Was taugen die gebräuchlichen Berechnungsansätze zur Gefährdungsanalyse in urbanen Gebieten?*. Institut für technisch-wissenschaftliche Hydrologie GmbH Hannover, Konferenzbeitrag, 5. Aqua Urbanica, Oktober 2015, Stuttgart
- Gatke, D.; Thielking, K.; Hoppe, H.; Kirschner, N.; Koch, M.; Behnken, K. (2015): *Stadtgebietsweite Überflutungsbetrachtungen und Detailanalysen in Bremen*. Zeitschrift: KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall. ISSN: 1866-0029. Heft: Nr. 2; Februar 2015. S. 150–156
- Halbig, G. (2016): *Klimawandel in Deutschland*. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 8/16 – Wasser Boden Natur, 9. Jahrgang Nr. 8 – August 2016 – 77157, S. 398–401.
- ILPÖ (2016): *Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung – Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends und Extremwetter*. Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart
- IPCC, 2014: *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)* [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016
- LANUV (2010): *Extremwertstatistische Untersuchung von Starkniederschlägen in NRW (ExUS) – Veränderungen in Dauer, Intensität und Raum auf Basis beobachteter Ereignisse und Auswirkungen auf die Eintretenswahrscheinlichkeit*. Abschlussbericht, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz, Recklinghausen, März 2010
- LANUV (2010): *Klimawandel und Kanalnetzberechnung (KUK) – Auswertung von Überflutungsereignissen in NRW und Hinweise zur Bemessung von Entwässerungssystemen vor dem Hintergrund des Klimawandels*. Abschlussbericht zum Forschungsprojekt IF 18, 2., bearbeitete Auflage, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen, Februar 2010
- LUBW (2010): *Klimawandel und Siedlungsentwässerung – Synthetische Niederschlagsreihen zur Berücksichtigung des Klimawandels*. Landesamt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Referat 41 – Gewässerschutz, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft, Band 22, Karlsruhe
- NLWKN (2014): *Globaler Klimawandel – Wasserwirtschaftliche Folgenabschätzung für das Binnenland*. Abschlussbericht Phase 3, Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Betriebsstelle Hannover-Hildesheim, Dezember 2014
- SUBV (2015): *KlimaAnpassungsStrategie Extreme Regenereignisse (KLAS) – Umgang mit Starkregenereignissen in der Stadtgemeinde Bremen*. Projektabschlussbericht, Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Freie Hansestadt Bremen, Juni 2015, Bremen, online abrufbar unter: [www.klas-bremen.de](http://www.klas-bremen.de) (zuletzt abgerufen am 13.06.2017)
- Schmitt, T. G.; Thomas, M. (2009): *Auswirkungen des Klimawandels auf das Niederschlagsgeschehen im Stadtgebiet der Freien Hansestadt Bremen*. Schlussbericht, Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft, TU Kaiserslautern
- Schmitt, T.G. (2011): *Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen – Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz?*. Korrespondenz Abwasser, Abfall, Abfall 2011 (58), Nr. 1, S. 40–49
- Willems, P.; Olssen, J.; Arnbjerg-Nielsen, K.; Beecha, S.; Gregersen, B.; Madsen, H.; Nguyen, V.T.V. (Hrsg.) (2012): *Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems*. London: IWA

## WEITERFÜHRENDE LITERATUR

UBA (2016): *Klimaanpassung in der räumlichen Planung – Starkregen, Hochwasser, Massenbewegungen, Hitze, Dürre – Gestaltungsmöglichkeiten der Raumordnung und Bauleitplanung*. Praxishilfe, Umweltbundesamt, November 2016, Dessau-Roßlau

BBSR (2015): *Überflutungs- und Hitzevorsorge durch die Stadtentwicklung – Strategien und Maßnahmen zum Regenwassermanagement gegen urbane Sturzfluten und überhitzte Städte*. Ergebnisbericht der fallstudiengestützten Expertise „Klimaanpassungsstrategien zur Überflutungsvorsorge verschiedener Siedlungstypen als kommunale Gemeinschaftsaufgabe“, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

StEB (2016): *Wassersensibel planen und bauen in Köln – Leitfaden zur Starkregenvorsorge für Hauseigentümer, Bauwillige und Architekten*. Stadtentwässerungsbetriebe Köln, AöR, Dezember 2016, Köln

NRW (2016): *Landeswassergesetz – Gebührenfähigkeit von Überflutungsschutzmaßnahmen zur Klimafolgeanpassung*. Land Nordrhein-Westfalen, 6. Juli 2016

MKUNVL/MBWSV NRW (2016): *Konzept Starkregen NRW*. Ministerium für Bauen, Wohnen, Stadtentwicklung und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Dezember 2016, Nordrhein-Westfalen

LUBW (2016): *Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg*. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Dezember 2016, Baden-Württemberg

## Geplante Forschungsvorhaben, Konzepte, Leitfäden

UBA (ab 2018): *Vorsorge gegen Starkregenereignisse und Maßnahmen zur wassersensiblen Stadtentwicklung – Analyse des Standes der Starkregenvorsorge in Deutschland und Ableitung zukünftigen Handlungsbedarfs*. Forschungsvorhaben, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

LAWA (ab 2016): *Entwicklung einer Starkregen- und Klimaanpassungsstrategie mit Ableitung des wasserwirtschaftlichen Handlungsbedarfs und Verstärkung der interdisziplinären Zusammenarbeit bei der Starkregenvorsorge*. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser, Stuttgart

MURIEL (ab 2017): *Arbeitshilfe zur Umsetzung multifunktionaler, urbaner Retentionsflächen für unterschiedliche Freiflächenfunktionstypen*. DBU-Forschungsprojekt „Multifunktionale, urbane Retentionsräume: von der Idee zur Realisierung“

## BETEILIGTE PROJEKTPARTNER

des Forschungsprojekts KLASII „Entwicklung einer neuen Methodik zur vereinfachten, stadtgebietsweiten Überflutungsprüfung mit GIS-basierte Darstellung der Analyseergebnisse am Beispiel der Starkregenvorsorge und Klimaanpassung (KLAS) in Bremen“ ([www.klas-bremen.de](http://www.klas-bremen.de)).

### Projektleitung

Dr. Pecher AG  
[www.pecher.de](http://www.pecher.de)  
Mitarbeiter:  
Dr.-Ing. Holger Hoppe  
Michael Jeskulke, M. Sc.



### Projektpartner

Freie Hansestadt Bremen  
Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr  
Referat 33, qualitative Wasserwirtschaft  
[www.bauumwelt.bremen.de](http://www.bauumwelt.bremen.de)  
Leitung:  
Dipl.-Ing. Michael Koch  
Mitarbeiter:  
Katrin Schäfer, M. Sc.

Der Senator für Umwelt,  
Bau und Verkehr



## FÖRDERUNG

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen Az32372/01 von 2015 bis 2017 gefördert



### Projektpartner

hanseWasser Bremen GmbH  
[www.hansewasser.de](http://www.hansewasser.de)  
Mitarbeiter:  
Dipl.-Ing. Dietmar Gatke  
Dipl.-Ing. Katharina Thielking



### Projektpartner

Hochschule Bremen  
Lehrgebiet Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft in Metropolregionen  
[www.hs-bremen.de](http://www.hs-bremen.de)  
Leitung:  
Prof. Dr.-Ing. Jana von Horn  
Mitarbeiter:  
Dipl.-Ing. Christina Bonnet  
Studenten:  
Andreas Hoffnung  
Nikolai Fiedler  
Felix Wreide  
Markus Zang



# Impressum

## PRAXISLEITFADEN – ERMITTLUNG VON ÜBERFLUTUNGS- GEFAHREN MIT VEREINFACHTEN UND DETAILLIERTEN HYDRODYNAMISCHEN MODELLEN

Der Praxisleitfaden wurde im Rahmen des Forschungsprojekts KLASII „Entwicklung einer neuen Methodik zur vereinfachten, stadtgebietsweiten Überflutungsprüfung nach Vorgaben des technischen Regelwerks und GIS-basierte Darstellung der Analyseergebnisse zur Berücksichtigung bei kommunalen Planungsprozessen im Rahmen eines zu entwickelnden Auskunftssystems“ erstellt ([www.klas-bremen.de](http://www.klas-bremen.de)).

Gefördert wurde das Projekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) unter dem Aktenzeichen AZ32372/01 von 2015 bis 2017.

## HERAUSGEBER

Lehrgebiet Industrie- und Siedlungswasserwirtschaft  
in Metropolregionen

Prof. Dr.-Ing. Jana von Horn

Hochschule Bremen, Neustadtswall 30, 28199 Bremen

[www.hs-bremen.de](http://www.hs-bremen.de)

## VERANTWORTLICHE BEARBEITUNG UND REDAKTION

Prof. Dr.-Ing. Jana von Horn

## AUTOREN

### Hochschule Bremen

von Horn, Jana

Prof. Dr.-Ing.

Bonnet, Christina

Dipl.-Ing.

### Dr. Pecher AG

Jeskulke, Michael

M. Sc.

Hoppe, Holger

Dr.-Ing.

### hanseWasser Bremen GmbH

Thielking, Katharina

Dipl.-Ing.

Gatke, Dietmar

Dipl.-Ing.

### Freie Hansestadt Bremen,

Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr

Schäfer, Katrin

M. Sc.

Koch, Michael

Dipl.-Ing.

## ZITIERVORSCHLAG

HSB (2017): *Ermittlung von Überflutungsgefahren mit vereinfachten und detaillierten hydrodynamischen Modellen*. Praxisleitfaden, erstellt im Rahmen des DBU-Forschungsprojekts "KLASII". Lehrgebiet Siedlungswasserwirtschaft, Hochschule Bremen, Oktober 2017.

Stand

September 2017

Alle Rechte vorbehalten. Veröffentlichung von Teilen dieser Publikation bedarf der Zustimmung der Hochschule Bremen.

Hochschule Bremen  
City University of Applied Sciences

