

# Verfahrensansatz zur Ermittlung von Schadenspotenzialen in urbanen Gebieten im Rahmen der Überflutungsprüfung gemäß DIN EN 752

M. Jeskulke<sup>1,\*</sup>, U. Laschet<sup>2</sup>, I. Papadakis<sup>3,\*</sup>, S. Plexnies<sup>3</sup> und M. Quirnbach<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Brinkmannstr. 9, D-44799 Bochum

<sup>2</sup>WSW Energie & Wasser AG, Schützenstraße 34, D-42281 Wuppertal

<sup>3</sup>dr.papadakis GmbH, Werksstraße 15, D-45527 Hattingen

\*Email der korrespondierenden Autoren: michael.jeskulke@rub.de, ipapadakis@drpapadakis.de

**Kurzfassung** Für einen ausreichenden Überflutungsschutz fordert die DIN EN 725 die Einhaltung bestimmter Überflutungshäufigkeiten. Ein entsprechend rechnerischer Nachweis ist nach gegenwärtigem Stand jedoch nur eingeschränkt möglich, da die modelltechnische Abbildung der hydraulischen Wechselwirkung zwischen Oberfläche und Kanalnetz hoch komplex ist. Erste Ansätze zu einem weitgehend rechnergestützten Überflutungsnachweis liefern bi-direktional gekoppelte 1D Kanalnetz- und 2D Oberflächenmodelle. Diese sind allerdings mit extrem hohem Rechenaufwand verbunden, der vor allem auf die Verwendung von hoch aufgelösten digitalen Geländemodellen zur Erstellung der Oberflächenmodelle zurückzuführen ist. Zur Minimierung des Rechenaufwands wurde ein Ansatz entwickelt, bei dem das jeweilige digitale Geländemodell sukzessiv an potenzielle Überflutungsbereiche angepasst wird. Den Ausgangspunkt bildet hierbei ein Geländemodell in Form des vorherrschenden Straßennetzes. Der Grund: Straßen weisen die größte Anzahl an Schnittstellen zwischen Kanal- und Oberfläche auf. Bei Erprobung des entwickelten Ansatzes in einem Einzugsgebiet in Wuppertal, erwies sich dieser als wirksames Werkzeug für die Beurteilung von Überflutungsgefahren im urbanen Raum.

*Schlagwörter:* Überflutungsnachweis, DIN EN 725, 1D/2D Kanalnetz- und Oberflächenmodelle

## 1 EINLEITUNG

Eine der Hauptaufgaben kommunaler Entwässerungssysteme besteht in der schadlosen Ableitung von Niederschlagswasser. Um diese zu erfüllen, bedarf es einer ausreichenden hydraulischen Leistungsfähigkeit, die durch die Vorgaben der Europäischen Norm DIN EN 752 (DIN, 2008) sichergestellt werden soll. Als wesentlichen Punkt nennt die DIN EN 752 in diesem Zusammenhang den Schutz vor Überflutungen. Da Entwässerungssysteme aus volkswirtschaftlichen Gründen nicht so dimensioniert werden können, dass jede erdenkliche Niederschlagsmenge vollständig abgeführt werden kann, sorgen vor allem Starkregenereignisse immer wieder für Systemüberlastungen mit Schadensfolge.

Um derartige Schadenspotenziale auf ein sozioökonomisch verträgliches Maß zu reduzieren, fordert die DIN EN 752 die Einhaltung bestimmter Überflutungshäufigkeiten. Definiert sind diese als Eintrittshäufigkeiten von Überflutungen, bei denen „Schmutz und/oder Regenwasser aus einem Entwässerungssystem entweichen oder nicht in dieses eindringen können und entweder auf der Oberfläche verbleiben oder in Gebäude eindringen“ (DIN, 2008). Der rechnerische Nachweis ist jedoch nur eingeschränkt möglich, da eine modelltechnische Abbildung der hydraulischen Wechselwirkung zwischen Oberfläche und Kanal noch nicht vollständig abgebildet werden kann.

Erste Ansätze zu einem weitgehend rechnergestützten Überflutungsnachweis liefern bi-direktional gekoppelte 1D Kanalnetz- und 2D Oberflächenmodelle (BMBF, 2008; Angermaier et al., 2012). Da derartige hydraulische Berechnungen jedoch mit extrem hohem Rechenaufwand verbunden sind, reicht die vorhandene Rechenleistung meist nur für die Betrachtung von kleinen Untersuchungsgebieten aus. Stehen größere Gebiete, z. B. ein ganzes Stadtgebiet, im Interessensfokus, müssen kritische Bereiche zunächst über sekundäre Methoden (z. B. 1D Oberflächensimulation oder GIS-basierte Fließwegermittlung) eingegrenzt werden und können erst anschließend mit 1D/2D Abflussmodellen detailliert abgebildet werden. Ein grundlegender Nachteil ist hierbei, dass durch die Eingrenzung bereits wichtige Informationen zur Interaktion zwischen Kanalnetz und Überflutungsvorgängen auf der Oberfläche verloren gehen.

Um derartige Effekte zu vermeiden, wurde ein Verfahrensansatz entwickelt, mit dem Überflutungsbereiche auch für große Untersuchungsgebiete zusammenhängend mit einem 1D/2D Kanalnetzmodell berechnet werden können. Da ein Großteil der benötigten Rechenleistung auf die Verwendung von hochauflösenden digitalen Geländemodellen zurückzuführen ist, wurde eine Vorgehensweise gewählt, bei der das Oberflächenmodell schrittweise an die für die Überflutungsproblematik relevanten Bereiche angepasst wird. Den Ausgangspunkt bildet hierbei ein Oberflächenmodell in Form des im jeweiligen Untersuchungsgebiet vorliegenden Straßennetzes.

## 2 1D/2D ABFLUSSMODELLE

### 2.1 Prinzip

1D/2D hydraulische Modelle bestehen jeweils aus einem eindimensionalen Kanalnetz- und einem zweidimensionalen Oberflächenmodell. Die Dimensionalität bezieht sich hierbei auf die Abflussdimensionen während der hydraulischen Berechnung. Durch die Verknüpfung beider Modellarten lassen sich nicht mehr nur hydraulische Prozesse im Kanalnetz, sondern zeitgleich auch korrespondierende Abflüsse auf der Oberfläche abbilden. Ist die Schnittstelle zwischen beiden Modellen bi-direktional ausgeführt, kann überstauendes Regenwasser (Abwasser) sowohl auf der generierten Oberfläche abfließen, als auch an anderer Stelle wieder dem Kanal zuzufließen.

### 2.2 GeoCPM

Zur Erprobung des Verfahrensansatzes wurde ein 1D/2D Hydraulikmodell mit Hilfe der Softwarekomponenten Kanal++/DYNA/GeoCPM der Firmen tandler.com GmbH und Pecher Software GmbH erzeugt. GeoCPM („Geowissenschaftliche Simulation städtischer Abflussvorgänge“) stellt hierbei das Modul zur Berechnung der hydraulischen Vorgänge auf der Oberfläche dar. Durch die Kombination von GeoCPM mit DYNA (Kanalnetzmodell) kann ein vollständig bidirektional gekoppeltes 1D/2D hydraulisches Modell erstellt werden, mit dem sich Überflutungsvorgänge auf der gesamten Oberfläche nachverfolgen lassen.

Die Grundlage für das Oberflächenmodell und die hydraulische Berechnung stellt ein aus dreidimensionalen Höhenpunkten (digitales Geländemodell, kurz DGM) erzeugtes Dreiecksnetz dar (Abb. 1). Die Höhenpunkte dienen als Eckpunkte der Dreieckselemente und sollten im Optimalfall in einer Dichte von 1-4 Punkten/m<sup>2</sup> vorliegen. Verfeinert werden kann das Dreiecksnetz durch Bruchkanten, die in Form von Linienelementen als Zwangspunkte in das Dreiecksnetz integriert werden können (z. B. zur Berücksichtigung von Bordsteinkanten). Werden Bruchkanten als geschlossene Polygone erzeugt (z. B. zur Berücksichtigung von Gebäuden), lassen sich die innenliegenden Bereiche bei Bedarf von dem Modell ausschließen, sodass Rechenleistung eingespart wird. Darüber hinaus können jedem Dreieckselement individuelle hydraulisch relevante Oberflächeneigenschaften (z. B. Oberflächenrauheit) zugewiesen und später bei der hydraulischen Berechnung berücksichtigt werden.

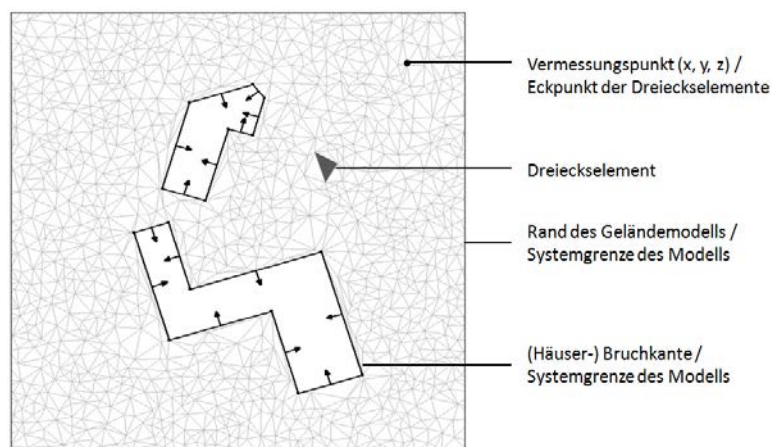


Abbildung 1: Elemente des 2D Oberflächenmodells in GeoCPM

### 3 VERFAHRENSANSATZ

#### 3.1 Motivation

Eine der größten Herausforderungen bei der Arbeit mit 1D/2D hydraulischen Modellen ist der effiziente Umgang mit großen Datenmengen. Zurückzuführen sind diese vor allem auf den Gebrauch der hoch aufgelösten digitalen Geländemodelle. Diese enthalten je nach Gebietsgröße mehrere Millionen Höhenpunkte und können daher mit der durchschnittlich vorhandenen Rechenleistung kaum in ein zweidimensionales Oberflächenmodell überführt werden. Da auf absehbare Zeit keine wesentlich höhere Rechenleistung als aktuell zur Verfügung stehen wird, besteht auch in Zukunft weiterhin die Herausforderung, Verfahren zu entwickeln, die in der Lage sind, Überflutungsflächen unter den gegebenen Restriktionen möglichst effizient zu berechnen.

#### 3.2 Methodik

Mit dem hier vorgestellten Verfahrensansatz hat man sich dieser Herausforderung gestellt und eine Vorgehensweise entwickelt, die zum Ziel hat, das dem Oberflächenmodell zugrunde liegende Geländemodell ohne Verlust von überflutungsrelevanten Bereiche soweit einzugrenzen, dass genügend Rechenkapazität gespart wird, um Überflutungsvorgänge auch für große Einzugsgebiete vollständig berechnen zu können.

Gewählt wurde eine Vorgehensweise, bei der das jeweilige Geländemodell durch schrittweises bzw. iteratives Beschneiden oder Erweitern an die überflutungsrelevanten Bereiche angepasst wird. Den Ausgangspunkt des iterativen Vorgehens bildet hierbei ein Oberflächenmodell, dessen Form der des jeweils vorherrschenden Straßennetzes entspricht. Dass der Bereich des Straßennetzes als Startpunkt ausgewählt wurde, lässt sich auf die folgenden drei Punkte zurückführen:

- ▶ Unter der Annahme, dass Regenwasser(Abwasser), das aus der Kanalisation austritt, oftmals gar nicht erst den Straßenkörper verlässt, sondern in diesem schadlos ab- und an anderer Stelle wieder dem Kanal zufließt, kann davon ausgegangen werden, dass die am ehesten betroffenen Flächen direkter Bestandteil des ersten Iterationsschrittes sind.
- ▶ Im Regelfall sind viele der relevanten Modellschnittstellen (Schächte) im Bereich des Straßenkörpers verortet. Demnach wird der Austausch zwischen Kanalnetz und Oberfläche von vornherein gewährleistet.
- ▶ Da die Fläche des Straßennetzes nur einen Bruchteil der Gesamtfläche ausmacht, kann davon ausgegangen werden, dass eine Berechnung mit der durchschnittlich zur Verfügung stehenden Rechenleistung bewältigt werden kann. Allerdings bleibt auch dies immer abhängig von der Größe des Einzugsgebiets.

Bevor mit dem entwickelten Oberflächenmodell (Straßennetz) und dem dazugehörigen Kanalnetzmodell der erste Verfahrensschritt in Form einer ersten Überflutungsberechnung durchgeführt werden kann, muss zunächst ein adäquates Niederschlagsereignis gewählt werden. Dieses stellt nicht nur die Berechnungsgrundlage für den ersten Schritt dar, sondern auch für alle folgenden. Die Festlegung auf ein bestimmtes Niederschlagsereignis ist unumgänglich, da ein schrittweises Vorgehen bei der Ermittlung der überfluteten Flächen nur dann sinnvoll ist, wenn das Ausgangsereignis über die einzelnen Berechnungsschritte konstant bleibt. Würde die Belastung des Systems zwischen den einzelnen Berechnungsschritten schwanken, könnte die Ausdehnung der Überflutung variieren, sodass eine iterative Annäherung nicht mehr möglich wäre.

Nach der ersten Überflutungsberechnung erfolgt die Auswertung der Ergebnisse. Ziel ist dabei, zu entscheiden, ob das Oberflächenmodell erweitert bzw. beschnitten werden muss, oder nicht. Als Indikator dient hierbei die Ausdehnung der ermittelten Überflutungsflächen. Berührt keine der überfluteten Flächen den Rand des Oberflächenmodells, können die Berechnungen abgeschlossen werden. In diesem Fall sind alle von Überflutung bedrohten Flächen bereits ermittelt.

Berühren eine oder mehrere der überfluteten Flächen den Modellrand, muss das Oberflächenmodell an diesen Stelle erweitert werden. Da der Modellrand den Abflussprozess ähnliche wie ein Gebäude oder eine Mauer beeinflusst, unterliegen Abflussprozesse in diesen Bereichen Verfälschungen. Hier sollte das Oberflächenmodell so erweitert werden, dass für einen zweiten Berechnungsdurchgang davon ausgegangen werden kann, dass keine der überfluteten Flächen den Modellrand berührt. Zusätzlich sollten nicht

betroffene Flächen aus dem Oberflächenmodell gelöscht werden, damit das Oberflächenmodell weiterhin berechnungsfähig bleibt. Erreicht das Modell durch die Erweiterungen eine kritische Größe, könnte dies im weiteren Ablauf zu Problemen führen.

Fortgesetzt wird dieses Vorgehen genau so lange, bis alle Überflutungsflächen in ihrer vollen Ausdehnung ermittelt sind. Einen schematischen Überblick über das entwickelte Verfahren zeigt Abbildung 2.

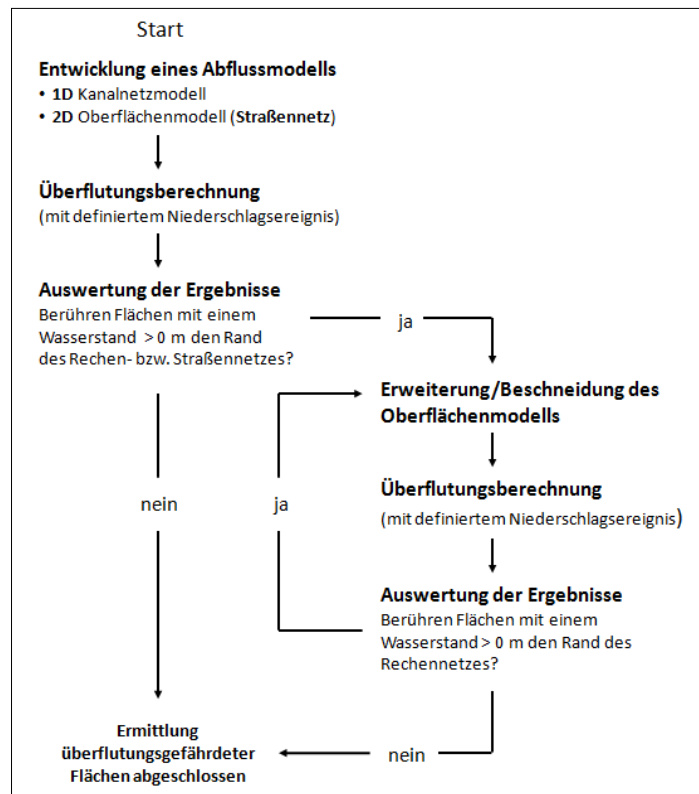


Abbildung 2: Funktionsweise des Verfahrensansatzes zur Ermittlung von überflutungsgefährdeten Flächen

### 3.3 Erprobung

Zur Erprobung wurde der entwickelte Ansatz mit Hilfe der in Abschnitt 2.2 beschriebenen Software auf das Entwässerungsgebiet des Generalentwässerungsplans „GEP-9 Mirker Bach“ der Stadt Wuppertal angewandt. Mit einer Gesamtfläche von 786 ha weist das Planungsgebiet eine Größe auf, für die ein 2D Oberflächenmodell nicht ohne Weiteres realisiert werden kann.

Gemäß der in Abbildung 2 gezeigten Vorgehensweise wurde daher ein dem Planungsgebiet entsprechendes Kanalnetzmodell erstellt und anschließend mit der Erzeugung des Oberflächenmodells in Form des vorherrschenden Straßennetzes begonnen. Nach der ersten Überflutungsberechnung wurde das Oberflächenmodell an den Stellen erweitert, an denen Dreieckselemente mit einem Wasserstand  $> 0$  m Kontakt zu einer der Modellgrenzen (Straßenränder) aufwiesen. Die Erweiterung erfolgte aufgrund der hohen Anzahl betroffener Dreieckselemente halb-automatisiert über die Ergänzung von den an betroffenen Stellen angrenzenden Flurstücke (Abb. 3 a). Halb-automatisiert deshalb, da in einigen Bereichen aufgrund zu großer bzw. kleiner Flurstücke individuelle Anpassungen nötig waren. Als Hilfsmittel dienten in diesen Fällen neben der Topografie hauptsächlich mittels D8-Algorithmus entwickelte Fließwege. Bereiche des Oberflächenmodells, die nach der ersten Überflutungsberechnung nicht betroffen waren, wurden aus dem Modell ausgeschlossen (Abb. 3 b).

Mit dem entwickelten Verfahren konnten alle Überflutungsflächen im Gebiet berechnet werden. Durch die Reduzierung des Ausgangs-DGM (Digitales Gelände Modell) um ca. 89 % von 18 Mio. auf 2 Mio. Geländepunkte, reichte die verfügbare Rechenleistung von 6144 MB RAM (Intel® Core™ 2 Duo Prozessor (3,00 GHz; 2 CPUs)) aus, um das Ausgangsmodell zu erstellen und die erste Überflutungsberechnung durchzuführen. Da auch die folgenden Modelle jeweils eine ähnlich große Anzahl von Geländepunkte aufwiesen, konnte das Verfahren problemlos bis zum Ende fortgeführt werden. Insgesamt mussten drei

Iterationsschritte vorgenommen werden, um die Überflutungsflächen und damit die gefährdeten Bereiche im gesamten Untersuchungsgebiet abzubilden (Abb. 4).

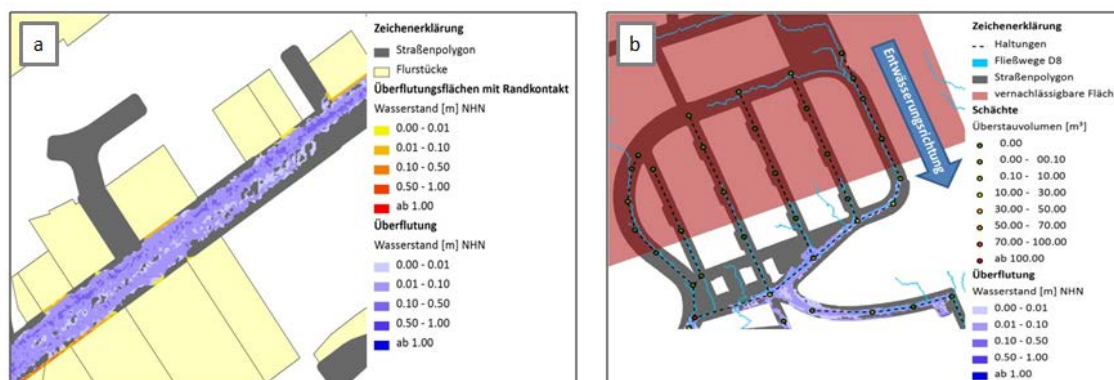


Abbildung 3: Funktionsweise des Verfahrensansatzes zur Ermittlung von überflutungsgefährdeten Flächen

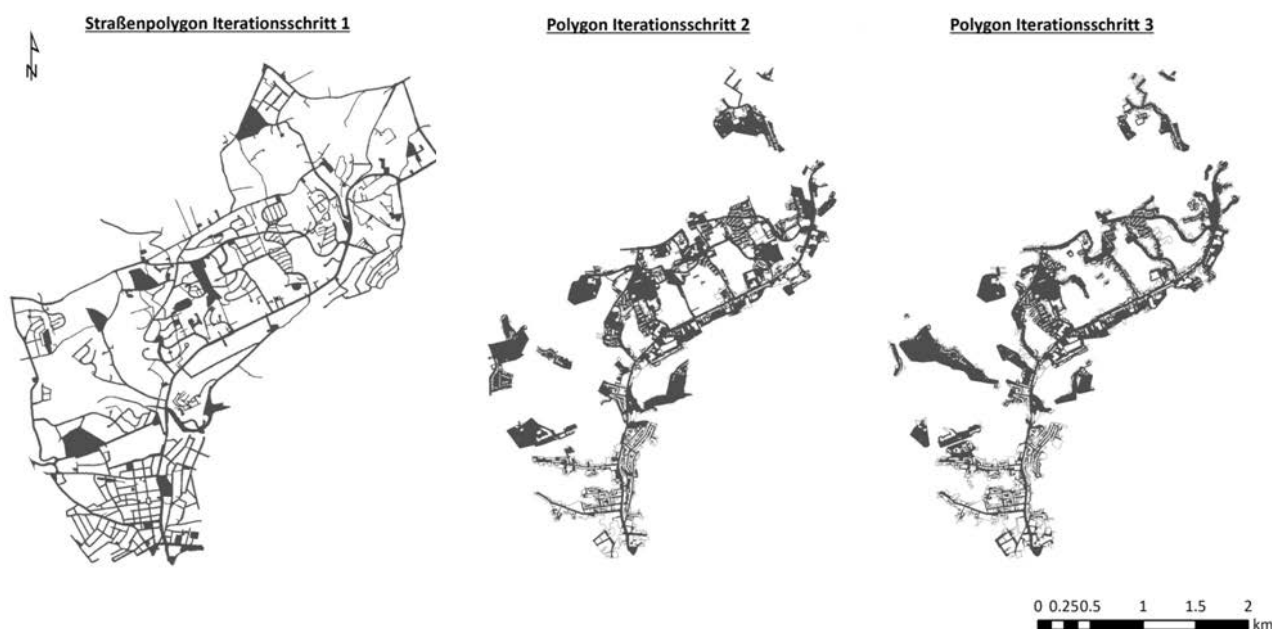


Abbildung 4: Oberflächenmodelle der Iterationsschritte

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit dem vorgestellten Verfahren können Überflutungsflächen auch für große Einzugsgebiete unter der Berücksichtigung hochaufgelöster digitaler Geländedaten und mit durchschnittlicher Rechenleistung vollständig und zusammenhängend berechnet werden. Indem Überflutungsereignisse nicht mehr nur qualitativ sondern auch quantitativ erfasst werden, stellt der das Verfahren ein wirksames Werkzeug bei der Beurteilung von Überflutungsgefahren im urbanen Raum dar.

## 5 LITERATUR

DIN (Hrsg.) (2008). Entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden. DIN-Norm DIN EN 752, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, April 2008.

Angermair, G., Braunschmidt, S., Obermayer, A. (2012). Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Führung eines Überflutungsnachweises in urbanen Gebieten. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, 59. Jahrgang, Nr. 5, S. 414-425, Mai 2012

MBF (2008). Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse (RIMAX), Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten (URBAS). Projektbericht, Aachen, Dezember 2008