

# 1D-2D Modellierung im urbanen Überflutungsschutz

## Möglichkeiten und Grenzen

R. Sulzbacher<sup>1,\*</sup>, R. Scheucher<sup>1</sup>, V. Gamerith<sup>1</sup> und D. Muschalla<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Technische Universität Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Stremayrgasse 10/I, A-8010 Graz, Österreich

\*Email des korrespondierenden Autors: sulzbacher@sww.tugraz.at

**Kurzfassung** In urbanisierten Gebieten können infolge von Starkregenereignissen Überflutungsereignisse auftreten, die große Schäden anrichten können. Die Anwendung von 1D-2D Modellen als Planungs- und Nachweiswerkzeug führt zu neuen Herausforderungen was Modellbildung, Datengrundlage, Kalibrierung und Validierung betrifft. Die Methodik des stufenweisen Modellaufbaus vom 1D Modell über ein 1D-1D Modell zu einem auf Basis von Hotspots aufgebauten 1D-2D Modells dient der zielgerichteten Analyse von Überflutungsereignissen in dicht besiedelten Gebieten.

**Schlagwörter:** hydrodynamische 1D-2D Modellierung, Dual Drainage Modell, urbaner Überflutungsschutz, Schutzmaßnahmenabbildung

## 1 EINLEITUNG

Überflutungsereignisse infolge von Starkregen richten in urbanen Gebieten vermehrt größere Schäden an. In den vergangenen Jahren kann eine Häufung von Überflutungsereignissen infolge von Starkregen festgestellt werden (Schmitt 2011). Dabei erschwert die zunehmende Flächenversiegelung auch in städtischen Randgebieten den Überflutungsschutz. Zusätzlich hat sich in den letzten Dekaden die Lebensweise vieler Menschen verändert. So werden beispielsweise Keller vermehrt nicht mehr nur ausschließlich als Lagerraum, sondern vielmehr als Nutzfläche zum Beispiel als Wellnessbereich oder Büro genutzt.

Die vielschichtigen Problemstellungen im urbanen Überflutungsschutz verlangen nach immer komplexeren Lösungs- und Nachweiswerkzeugen. Dazu finden zunehmend 1D-2D Modelle Anwendung, um Überflutungsereignisse im städtischen Gebiet nachvollziehen und zukünftig verhindern oder zumindest vermindern zu können. Der Einsatz von 1D-2D Modellen führt jedoch zu neuen Herausforderungen was Modellbildung, Datengrundlage, Kalibrierung und Validierung anlangt (Fuchs et al. 2013, Leandro et al. 2009).

Die Abgrenzung gefährdeter Gebiete mit Hilfe von Überstaunachweisen in einem hydrodynamischen 1D Modell sowie eine genauere Untersuchung der Fließwege auf der Oberfläche mit einem gekoppelten hydrodynamischen 1D-1D Modell (Chen et al. 2007, Concha Jopia and Gomez Valentin 2010) führt zu einem 1D Modell an das abschnittsweise ein hydrodynamisches 2D Oberflächenmodell gekoppelt wird. Im 2D Modell, welches folglich nur für die gefährdeten Bereiche erstellt wird, werden die Strömungen mittels Flachwassergleichungen berechnet (Fuchs et al. 2013, Kamrath 2010). Abbildung 1 zeigt den schematischen Ablauf einer solchen stufenweisen Erstellung eines hydrodynamischen 1D-2D Modells.

## 2 METHODIK

Die Herangehensweise an die Erstellung eines 1D-2D Modells kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Für die Erstellung eines solchen Modells ist eine wesentlich umfassendere Datengrundlage als für traditionelle, hydrodynamische 1D Modelle erforderlich. Die softwaregestützte Analyse von Überflutungsvorgängen im urbanen Gebiet setzt umfassende Informationen über die Oberflächenverhältnisse voraus. Dies beinhaltet Informationen über Oberflächeneigenschaften wie Rauigkeit und Versiegelungsgrad, wie auch detaillierte topographische Informationen auf einer kleinen räumlichen Skala.

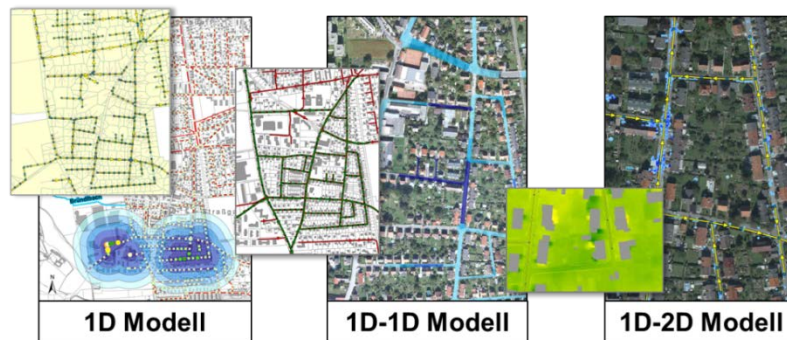


Abbildung 1: Schematischer Ablauf der Modellerstellung mit Ergebnissen der einzelnen Modellstufen

Im ersten Schritt wird ein hydrodynamisches 1D Kanalnetz-Modell zum Beispiel auf Basis eines Kanalkatasters erstellt. Für die Simulation des zu erwartenden Regenwetterabflusses sind darüber hinaus Daten über Größe und Versiegelungsgrade der angeschlossenen Flächen notwendig. Das Modell kann im Anschluss daran mit Hilfe von gemessenen Niederschlagsdaten und korrespondierenden Abflussdaten im Kanal kalibriert werden.

Das kalibrierte 1D Modell ermöglicht die Identifizierung kritischer Bereiche, in denen bei der Simulation mittels Modellregen unterschiedlicher Wiederkehrzeit oder dem Ansatz von Starkregensserien mit anschließender statistischer Auswertung signifikante Wassermengen aus dem Kanalnetz austreten. Diese Bereiche können im Folgenden mit Hilfe eines 1D-1D Modells genauer betrachtet werden. Ziel ist dabei eine Fließweganalyse des aus dem Kanal austretenden Wassers auf den Straßenflächen um potentiell von Überflutung betroffene Gebiete zu identifizieren. Die Abbildung der Straßeneinläufe kann dabei auf verschiedene Arten realisiert werden. Aus Experimenten ist bekannt, dass selbst strömungstechnisch günstige Einlaufgitter, bereits bei einem Zulauf von 15 l/s ein reduziertes Schluckvermögen - etwa 90% bei einer Straßenlängsneigung von 5% - aufweisen (Nemecek 1979). Eine Limitierung des Wassereintritts in der modelltechnischen Abbildung ist notwendig. Diese kann durch die Kopplung mit zwei gegenläufigen Wehren erreicht werden (Concha Jopia and Gomez Valentin 2010). Für die Modellierung der Oberfläche im 1D-2D Modell ist ein digitales Höhenmodell in einer hohen Auflösung notwendig (Mindestauflösung horizontal 1 m, vertikal 1 dm), um vor allem in klein strukturierten urbanen Gebieten eine gute Qualität des Rechengitters für das 2D Oberflächenmodell zu erhalten. Auch hier kann die modelltechnische Abbildung der Straßeneinläufe mittels gegenläufiger Wehre erfolgen, während von den Kanalschächten ein Auslauf in das Oberflächenmodell definiert wird.

### 3 ERGEBNISSE

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse zeigen die Anwendung der Methodik an Hand des realen Einzugsgebiets Graz-Straßgang, das im Detail im Endbericht des Forschungsprojekts Modellstudie Bründlbach – Graz-West beschrieben ist.

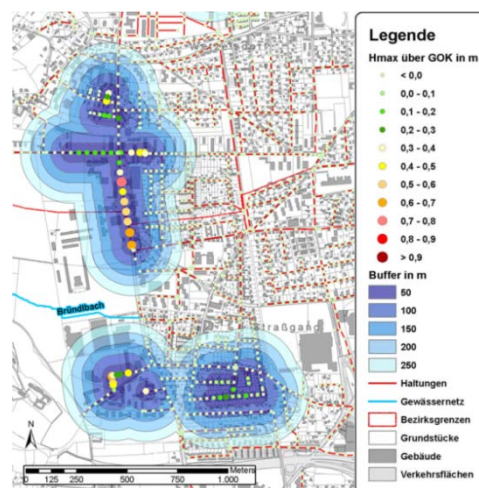


Abbildung 2: Simulierte Wasserstandshöhen über der Geländeoberkante (GOK) für einen 5-jährlichen Einzelmodellregen mit GIS-generierten Pufferbereichen

Die Simulationsergebnisse des hydrodynamischen 1D Modells wurden hinsichtlich der Wasserstandshöhen und Volumina in den Berechnungsknoten ausgewertet, um Problemstellen im Einzugsgebiet zu identifizieren. Abbildung 2 zeigt die Auswertungen für das Untersuchungsgebiet, wobei die GIS-generierten Pufferbereiche der Abgrenzung der in den detaillierten Modellstufen abzubildenden Gebiete dienen.

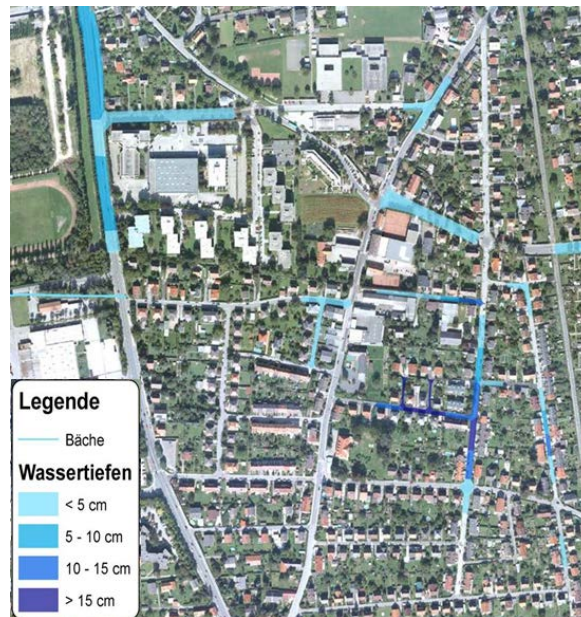


Abbildung 3: Fließwege auf den Straßen aus dem Simulationsergebnis des 1D-1D Modells für einen 10-jährlichen Einzelmodellregen mit der Darstellung der Wassertiefen auf den Straßenflächen

Auf Basis der durch die hydrodynamische 1D Modellierung identifizierten gefährdeten Gebiete wurden die entsprechenden Straßenflächen als offene Gerinne modelltechnisch abgebildet. Die Koppelung des 1D Kanalnetzmodells mit dem 1D Oberflächenmodell mit dem gewählten Ansatz (gegenläufige Wehre) zeigte stabile Ergebnisse. Abbildung 3 zeigt die Auswertung der Fließwege und Wasserstandshöhen entlang der Straßen aus dem hydrodynamischen 1D-1D Modell für einen 10-jährlichen Einzelmodellregen. Diese Ergebnisse ermöglichen eine Identifikation der gefährdeten Flächen, die als 2D Oberflächenmodell aufbereitet und hydraulisch mit dem 1D Kanalnetzmodell gekoppelt werden. Die Kopplung geschieht über die Kanalschächte und die Straßeneinläufe, wobei die hydraulischen Eigenschaften und Randbedingungen der Koppelungspunkte separat betrachtet werden (Chen et al. 2007, Concha Jopia and Gomez Valentin 2010, Kamrath 2010, Nemecek 1979).



Abbildung 4: Beispiel für die Validierung der Modellergebnisse des 1D-2D Modells mittels Foto-Dokumentation; links sieht man das Simulationsergebnis, rechts die Situation vor Ort, der weiße Pfeil markiert die Stelle, an der das Foto gemacht wurde.



Für das hydrodynamische 1D-2D Modell ist je nach Struktur des Einzugsgebiets eine detailgetreue Oberflächenmodellierung notwendig. Abhängig von der vertikalen und horizontalen Auflösung des Digitalen Geländemodells (DGM) müssen kleine Strukturen, die die Fließwege beeinflussen können, wie z.B. Zaunfundamentmauern, manuell in das 2D-Oberflächenmodell eingearbeitet werden.

Die Validierung von 1D-2D Modellen kann durch Foto-Dokumentationen von Regenereignissen (siehe Abbildung 4), durch die Befragung der Anrainer bezüglich vergangener Überflutungsereignisse und durch historische Aufzeichnungen erfolgen. Eine direkte Anrainerbefragung (flächendeckend oder punktuell) kann je nach Größe des Einzugsgebiets sehr aufwendig sein, ermöglicht jedoch eine detaillierte Ursachenanalyse von Überflutungen im betroffenen Gebiet. Je genauer die Angaben der Anrainer zu historischen Überflutungsereignissen, desto einfacher ist die Validierung der prognostizierten Ergebnisse. Die Detailtreue des Oberflächen-Rechengitters kann durch das manuelle Einpflegen von Höheninformationen in das DGM erhöht werden.

Abbildung 5 zeigt die oberflächigen Abflüsse für einen 30-jährlichen Einzelmodellregen. Die Reihenhäuser in Abbildung 5 rechts unten besitzen steile Abfahrtsrampen zu im Untergeschoß situierten Garagen über die Oberflächenwasser von der Straße hinunterläuft. Das Haus ganz rechts unten in Abbildung 5 hat keine Abfahrtsrampe, weshalb das Wasser nicht ins Gebäude eindringt.

Obwohl die Simulationsergebnisse auf wenig Oberflächenabfluss im Bereich der Reihenhäuser links oben in Abbildung 5 schließen lassen, wurden diese in den vergangenen Jahren häufig überflutet. Zusätzliche Informationen der Anrainer sind erforderlich und zeigen, dass bei diesen Reihenhäusern keine Rückstauklappen im Hausanschluss installiert sind und das Wasser über den Kellergully in das Gebäude eingedrungen ist.

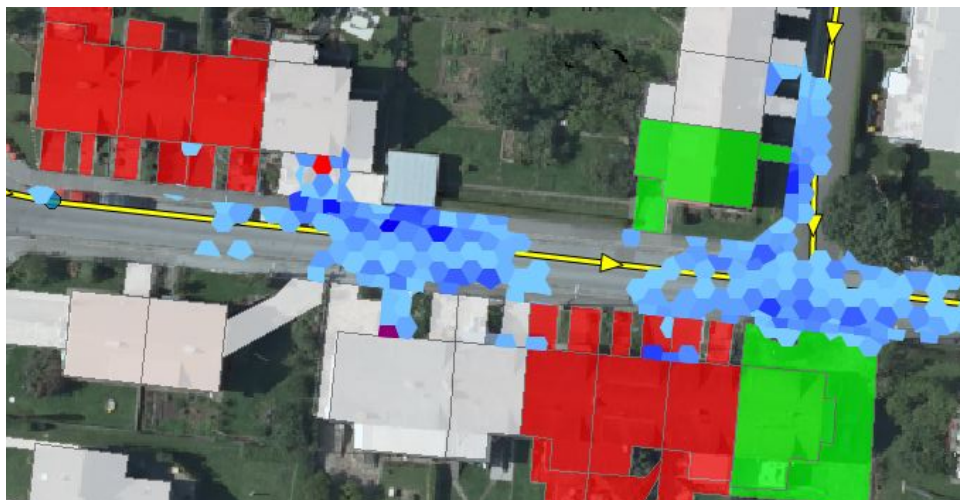


Abbildung 5: Vergleich des Simulationsergebnisses für einen 30-jährlichen Einzelmodellregen des hydrodynamischen 1D-2D Modells mit den Angaben der Anwohner bezüglich vorangegangener Überflutungen ihres Wohnhauses bzw. Grundstückes; in Rot sind Gebäude markiert, die von Überflutungen betroffen waren, in Grün jene, die nicht betroffen waren und weiß sind jene, die keine Angaben gemacht haben

#### 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ein stufenweiser Modellaufbau vom hydrodynamischen 1D Modell über ein 1D-1D Modell zum fertigen 1D-2D Modell erweist sich als vorteilhaft, um die in höherer Auflösung benötigten Bereiche im Untersuchungsgebiet für die Oberflächenmodellierung identifizieren zu können.

Ein 1D-1D Modell kann bereits wertvolle Informationen über die Fließwege des Regenwassers, das aus dem Kanalsystem austritt oder gar nicht erst eintreten kann liefern, ohne dafür ein genaues Oberflächenmodell aufbauen zu müssen. Dies kann hilfreich sein, da die Verfügbarkeit eines digitalen Höhenmodells aus einer Laserscan-Befliegung in der benötigten Qualität für ein 1D-2D Modell (noch) nicht flächendeckend vorausgesetzt werden kann und der Bearbeitungsaufwand deutlich höher ist. Bei der modelltechnischen Abbildung von Straßeneinläufen ist darauf zu achten, wie viel Oberflächenwasser tatsächlich maximal in die Kanalisation gelangt. Selbst strömungstechnisch günstige Einlaufgitter weisen schon bei einem Zulauf von 15 l/s ein reduziertes Schluckvermögen auf.

Die Simulation von Überflutungsvorgängen in klein strukturierten, dicht besiedelten Gebieten erfordert eine Auflösung des Rechengitters im Dezimeter bis Meterbereich, um alle hydraulisch relevanten Strukturen auf der Oberfläche abbilden zu können. Dies kann je nach Gebietsgröße zu langen Rechenzeiten und großen Datenmengen führen. Die Identifikation der maßgeblichen Bereiche für die 2D-Betrachtung hat daher eine hohe Bedeutung.

Ein 1D-2D Modell bietet die Möglichkeit, Fließvorgänge auf der Oberfläche detailgetreu abzubilden, die Erhebung von Validierungsdaten ist jedoch schwierig. Diese können im Rahmen von Bürgerbefragungen im Untersuchungsgebiet erhoben werden, in denen Wasserstandshöhen, lokale Überflutungen und Schäden usw. bei Starkregen abgefragt werden; durch Foto und/oder Film dokumentierte Ereignisse liefern weitere wertvolle Informationen zum Abgleich des 1D-2D Modells. Mit einem validierten 1D-2D Modell können in der Folge verlässlichere Aussagen über die Wirksamkeit von unterschiedlichen Maßnahmen und Strategien zur Verminderung von Überflutungsereignissen getroffen werden.

## 5 REFERENZEN

- Chen, A.S., Djordjevic, S., Leandro, J. and Savic, D. (2007) The urban inundation model with bidirectional flow interaction between 2D overland surface and 1D sewer networks, Centre for Water Systems, University of Exeter.
- Concha Jopia, R. and Gomez Valentin, M. (2010) A Simple Methodology to simulate bidirectional flow exchange between 1D street flow and 1D sewer flow using EPA SWMM 5.0, Sophia Antipolis.
- Fuchs, L., Hollenberg, A., Mehler, R., Moche, P., Sartor, J.D., Schaardt, V., Scholz, K. and Tränckner, J. (2013) Methoden der Überflutungsberechnung - Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe ES-2.6 "Abfluss- und Schmutzfrachtsimulation". korrespondenz Abwasser, Abfall 60(6), 6.
- Kamrath, P. (2010) Über die gekoppelte 1D- und 2D-Modellierung von Fließgewässern und Überflutungsflächen, Shaker Verlag, Aachen.
- Leandro, J., Chen, A.S., Djordjevic, S. and Savic, D.A. (2009) Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/ Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation. Journal of Hydraulic Engineering 135(June 2009), 495-504.
- Nemecek, E.P. (1979) Strömungstechnisch günstige Einlaufgitter - eine Weiterentwicklung. Österreichische Abwasser-Rundschau International, Wien Sonderdruck(Folge 1), 11.
- Schmitt, T.G. (2011) Risikomanagement statt Sicherheitsversprechen - Paradigmenwechsel auch im kommunalen Überflutungsschutz? Korrespondenz Abwasser (58), 0140 - 0149.