

# Erweiterung eines 2D-Strömungsmodelles zur Berechnung von Sturzfluten

## Plausibilisierung und praktische Anwendung für die Darstellung von Gefahrenkarten und Lösung von Planungsaufgaben in Siedlungsgebieten

Günter Humer, Andreas Reithofer (Geboltskirchen/Österreich), Robert Klar und Stefan Achleitner (Innsbruck/Österreich)

### Zusammenfassung

Angesichts der zunehmenden Sturzflutenereignisse entstand der Bedarf, für Kommunen Karten der Überflutungssituation durch Sturzfluten darzustellen und Schutzmaßnahmen zu planen. Das hydrodynamisch-numerische Modell Hydro\_As-2D wurde um ein Niederschlagsmodul erweitert, das aus einem räumlich und zeitlich variablen Niederschlag die Abflussbildung errechnet und den Landoberflächenabfluss und dessen Konzentration flächig ermittelt. Im Artikel wird die methodische Konzeption des Moduls erläutert, das Modell wird anhand eines 2012 abgelaufenen Ereignisses grob kalibriert und die Ergebnisse werden bewertet. Zur Anwendung des Modells für Kommunen wird eine abgestufte Vorgehensweise vorgeschlagen.

**Schlagwörter:** Starkregen, urbane Sturzfluten, Schutzmaßnahmen, hydrodynamisch-numerische Modell, Oberflächenabfluss, Gefahrenkarte, 2D-Strömungsmodell

DOI: 10.3243/kwe2015.03.002

### Abstract

**Expansion of a 2D Flow Model for the Calculation of Flash Floods – Making Plausible and Practical Employment for the Representation of Hazard Maps and the Solution of Planning Tasks in Housing Development Areas**

In view of the increasing flash flood events the requirement has arisen for the representation of municipal maps of the flooding situation due to flash floods and to plan protective measures. The hydrodynamic-numerical model Hydro\_As-2D has been expanded by a precipitation module, which calculates the runoff formation from a spatially and temporally variable precipitation and which determines two dimensionally the land surface area runoff and its concentration. In the article the methodical conception of the module is explained, the model roughly calculated with the help of an event which occurred in 2012 and the results evaluated. A staged approach is proposed for the application of the model for municipalities.

**Key words:** heavy rainfall, urban flash floods, protective measures, hydrodynamic-numerical model, surface runoff, hazard map, 2D flow model

## 1 Einführung

In Europa häufen sich in den letzten Jahren Sturzflutereignisse im städtischen Raum [1–3], aber auch im ländlichen, nicht so dicht besiedelten Raum sind massive Schäden aufgetreten [4]. Neben dem URBAS Projekt in Deutschland [1] beschäftigt sich auch das EU-Projekt Switch-On [5] im Teilprojekt FFRM (Flash Flood Risk Map) mit der Sturzflutthematik. Gemäß der EU Richtlinie über das Management von Hochwasserrisiken [6] sind in der Definition von Hochwasser als „zeitlich beschränkte Überflutung von Land, das normalerweise nicht mit Wasser bedeckt ist“, auch Sturzfluten aus Starkregenereignissen eingeschlossen. Für die Ermittlung der Überflutungen aus Gewässern stehen seit Jahren bewährte 1D und 2D-Strömungsmodelle zur Verfügung.

Bei der Ausweisung dieser Überflutungsflächen werden Abflussganglinien als obere Randbedingung angesetzt. Bei der Ermittlung der Abflüsse für Sturzfluten fehlen diese Ganglinien, weil sich der Abfluss erst – von den Wasserscheiden ausgehend – in der Fläche direkt aus dem Regen bildet und räumlich verteilt abfließt. Diese Abflussbildung wurde bislang mit hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellen (NA-Modellen) bewerkstelligt und die resultierenden Abflussganglinien an ein Strömungsmodell übergeben. Bei Sturzflutereignissen passiert die Überflutung jedoch schon im Einzugsgebiet. Entsprechend müssen Abflussbildung und Abflusskonzentration auf Basis eines hydraulischen Modells erfasst werden.

Nachfolgend werden die modelltechnischen Ansätze vorgestellt, um dies zu bewerkstelligen. Anhand eines realen Starkregenereignisses im Einzugsgebiet der Waldzeller Ach (Innviertel/Oberösterreich) werden Berechnungsergebnisse sowie Möglichkeiten und Limitierungen der Ergebnisvalidierung vorgestellt. Abschließend wird ein Ansatz zum stufenweisen Erfassung und Ausweisung von Gefahrenflächen vorgestellt. Dieses Konzept ermöglicht sowohl die Darstellung von gefährdeten Bereichen als auch die Bewertung von Maßnahmen.

## 2 Modellierung

In den hier vorgestellten Simulationen kam das Strömungsmodell Hydro\_AS-2D numerischen Simulation des Abflusses zum Einsatz. Die Flachwassergleichungen werden darin mit einem Finiten Volumenansatz gelöst. Üblicherweise werden bei Strömungsmodellen Abflussganglinien als Randbedingung vorgegeben, die aus hydrologischen Modellen oder hydraulischen Simulationen des Oberlieggers stammen. Entsprechend erfolgt eine Überflutung von den Vorflutern ausgehend. Überflutungen abseits der Gerinne werden dadurch oft nicht erkannt und berücksichtigt. In den Arbeiten hier wurde das 2D numerische Modell benutzt, um flächenverteilt aufgetragenen Niederschlag abzuleiten, was die Abbildung der Abflusskonzentration im Einzugsgebiet ermöglicht.

Die am AB Wasserbau in Zusammenarbeit mit dem IB Humer entwickelte Software „Sturzfluten“ nutzt dabei Hydro\_AS-2D als hydraulischen Rechenkern, um in Simulationen die räumlich verteilte Abflusskonzentration [7] abbilden zu können. Anstelle der Nutzung von Quell- und Senktermen, um Niederschlag an einzelnen Knoten einzubringen, erfolgt eine knotenweise Manipulation der Wasserhöhe zu diskreten Zeitpunkten. Aus numerischer Sicht wäre die Nutzung von Quelltermen zwar eleganter, allerdings bietet die Manipulation der Wasserspiegellage andere Vorteile. Abhängig von den verwendeten Verlustansätzen ist es notwendig, Systemzustände wie die Bodenfeuchte ebenfalls zu bilanzieren, um eine – zeitlich variable – Aufteilung in Oberflächenabfluss und Infiltrationsanteil zu ermöglichen. Aktuell sind einfache Verlustmodelle mit (a) Anfangs und Dauerverlust und (b) dem SCS-Verfahren realisiert.

Anfangs- und kontinuierliche Verluste sind vereinfachte Summenparameter, die im Allgemeinen Benetzungsverluste, Muldenverluste, Verdunstungsverluste, Sickerverluste, etc. abbilden. Insbesondere Muldenverluste sind jedoch methodisch in der 2D hydraulischen Berechnung der Abflusskonzentration mit enthalten. Bei der Anwendung des SCS Verfahrens [8] ist zu berücksichtigen, dass die darin verwendeten CN Werte vom Boden- als auch von der Vorfeuchte abhängig gewählt werden.

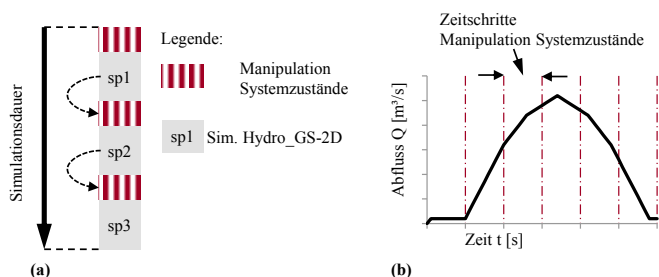


Abb. 1: Schematische Darstellung der (a) Simulationsdauer und der Zeitschritte zur Manipulation der Systemzustände

Jedoch sind die CN-Werte aus der Literatur oftmals nicht direkt verwendbar [9, 10] und müssen angepasst werden. Die räumliche Variation der Modellparameter zur Versickerung folgt dem Konzept der Einteilung eines Gebiets in Hydrotope, also hydrologisch ähnlich reagierender Teilflächen. Verschieden Boden und Landnutzen können dabei als Indikatoren genutzt werden, und definieren unterschiedliche Parameter zur Verlustrechnung aber auch zur Rauheitsverteilung.

Separat davon erfolgt die – ebenfalls zonenweise – Vorgabe von Regenreihen. Dabei kann das Modell wahlweise mit real gemessenen Regen oder auch Bemessungsregen betrieben werden. Die Verlustrechnung erfolgt zeitschrittweise und die Manipulation der Wasserspiegel an den Knoten entspricht dem vor Ort gegebenen aktuellen Niederschlag abzüglich der Verlustgrößen.

Die Zeitschrittgröße, nach der der Wasserspiegel adaptiert wird, kann durch den Modellierer frei gewählt werden. Diese kann entsprechend dem vorliegenden Modell (räumliche Auflösung) und dem betrachteten Regenereignis angepasst werden. Das Modell läuft einen Zeitschritt mit allen vorgegebenen Randbedingungen und die Systemzustände werden am Ende ausgeschrieben. Dann werden die Systemzustände entsprechend dem Regen bzw. den Verlusten knotenweise manipuliert und der nächste Zeitschritt wird gestartet (Abbildung 1).

Die Gesamtrechnzeit setzt sich aus den Simulationszeiten des hydraulischen Modells sowie den Manipulationszeiten zusammen. Intern erfolgt die hydraulische Simulation in Zeitschritten nach den Erfordernissen zur numerischen Stabilität nach Courant-Friedrichs-Levy [11]. Bisherige Erfahrungen zeigten, dass Manipulationszeitschritte von fünf Minuten ausreichen, sodass im Vergleich zu Simulationen mit weiter verfeinerten Zeitschritten keine nennenswerten Unterschiede mehr zu erwarten sind.

Grundlegend ist das Modellkonzept auch in Zusammenhang mit Geschiebetransportberechnungen mit Hydro\_AS-2D [12] nutzbar. Das darin implementierte Geschiebetransportmodell basiert auf einem Mehrkornansatz unter Verwendung von drei Schichten [7]. Dabei ist jedoch zu beachten, dass die verwendeten Methoden zur Geschiebetransportrechnung in Bereichen ausgeprägter Gerinne gedacht sind und diese auch im Modell entsprechend dargestellt sein müssen.

## 3 Fallbeispiel Waldzeller Ach – Oberösterreich

Am 20. Juni 2012 wurde das Einzugsgebiet der Waldzeller Ach im Innviertel/Oberösterreich von einem Starkregenereignis ge-

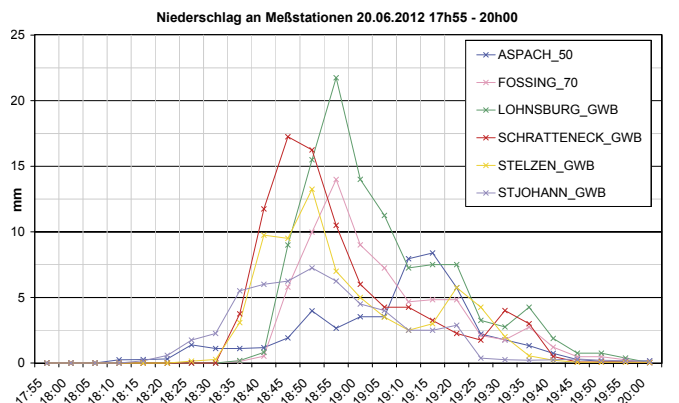


Abb. 2: Regenzeitreihe vom 20. Juni 2012

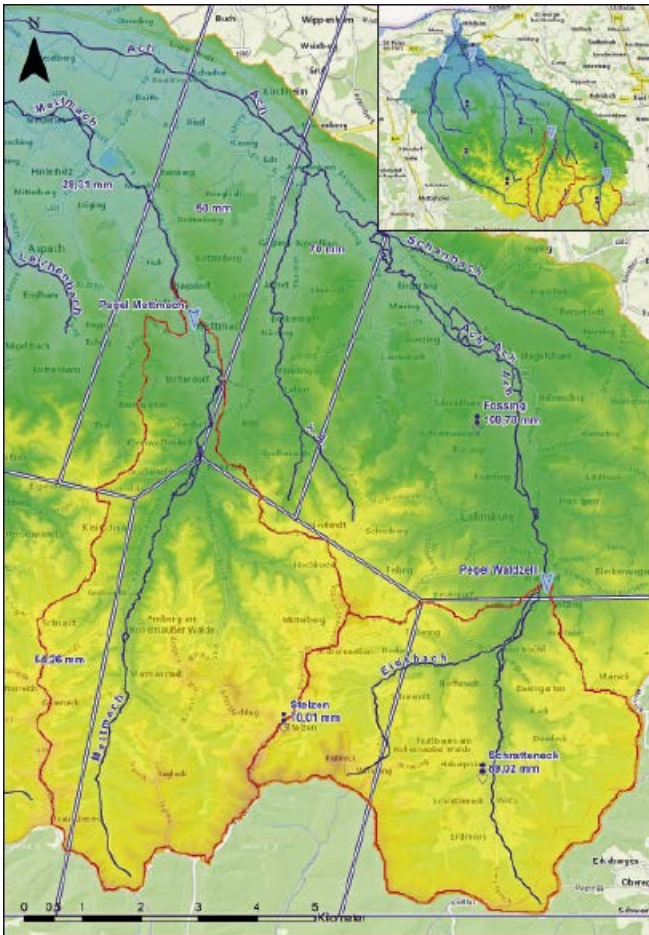


Abb. 3: Lage und Topographie des Einzugsgebietes, Lage der Regenschreiber mit Angabe der Regenfracht vom 20. Juni 2014 (blaue Zahlen) sowie Regenfracht aus den Thiessenpolygonen ohne Bezeichnung einer Schreiberstation. [Quellennachweis Hintergrundkarte: basemap.at]

troffen. An den im Gebiet und im nahem Umfeld vorhandenen Regenschreibern wurden bei dem Ereignis 71 mm Niederschlag in ca. 20 min (Regenschreiber Fossing/Lohnsburg zwischen 18.45 und 19.05) bzw. 109 mm in einer Stunde aufgezeichnet [13]. Nachfolgend werden die Modellierungsschritte zur Ereignisanalyse vorgestellt.

### 3.1 Gebietsbeschreibung

Der Starkregen konzentrierte sich räumlich auf die Quellgebiete von Ach, Mettmach und Moosbach. Die Modellierung konzentrierte sich daher auf zwei Teileinzugsgebiete aus dem insgesamt 315 km<sup>2</sup> großen Einzugsgebiet der Ach. Am Gebietsauslass ist dort jeweils eine Pegelmessstelle vorhanden: der Pegel Waldzell mit 24 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet sowie Pegel Mettmach mit 30,4 km<sup>2</sup> Einzugsgebiet (Abbildung 3).

Innerhalb dieser beiden Teileinzugsgebiete beträgt die maximale Höhendifferenz zwischen 246 (Waldzell) und 318 (Mettmach) Höhenmetern. Das durchschnittliche Gefälle beträgt 4,3 Prozent (Mettmach) bzw. 5,3 Prozent (Waldzell). Das Teileinzugsgebiet des Pegels Waldzell weist dabei im Vergleich zum Teileinzugsgebiet Pegel Mettmach eine relativ kreisförmig-kompakte Form mit den zwei in etwa gleich langen Zuflüssen Ach und Eidsbach auf, während das Einzugsgebiet Mettmach

Nord-Süd orientiert ist und mit dem Altbach (rechtsufriger Zubringer bei Großweifendorf, Anm.) und der Mettmach zwei unterschiedlich lange Zuflüsse besitzt.

### 3.2 Regen

Für die Modellierung wurden die Regenreihen zwischen 17.55 und 20.00 ausgewertet (Abbildung 2), die Lage der Regenschreiber ist in Abbildung 3 zu ersehen.

Der Gebietsniederschlag wurde über Thiessenpolygone ermittelt, zwischen den Regenschreibern Aspach (28,31 mm) und Lohnsburg/Fossing (108,78 mm) wurden aufgrund des extrem hohen Unterschieds bei der Regensumme zwei „Interpolationspolygone“ eingefügt.

Die Bildung von Thiessenpolygonen hat zwar willkürliche und harte Grenzen zwischen den einzelnen Regengebieten zur Folge, bietet jedoch methodisch den Vorteil, den Regen in einfacher Weise räumlich differenziert aufbringen zu können. Die Nutzung von Regenradar-daten bzw. räumlich verteilten Regendaten (z. B. INCA) ist nicht erfolgt.

Es wurde der Regen wie in Abbildung 1 dargestellt aufgebracht.

### 3.3 Parametrisierung des Modells

Als Basis für die Berechnung diente das von der oberösterreichischen Landesregierung frei zur Verfügung gestellte Geländehöhenmodell aus Laserscandaten mit einer Auflösung von 10 m [13]. Zu Vergleichszwecken wurde dieses für die Berechnung für das Gesamteinzugsgebiet der Ach mittels Resampling zusätzlich auch auf eine Auflösung von 25 m umgewandelt. Gewässer wurden nicht vermessen und im Geländemodell nur so weit berücksichtigt, als sie durch den Laserscan erfasst wurden. Ebenso erfolgte in einem ersten Schritt keine Berücksichtigung von Brücken und Durchlässen in den Gewässern. Hintergrund dabei war, dass die Abflusssituation entlang der Gewässer im Tal nicht Fokus der Untersuchung war. Bei einer integralen Betrachtung wären Fluss-schlauch und Einbauten im Modell entsprechend dem Stand der Technik [14] zu berücksichtigen.

Die Rauheiten nach Strickler wurden ohne Unterscheidung zwischen Gewässer und Vorland abgebildet, wobei in der Fläche nach der Landnutzung differenzierte Stricklerwerte angesetzt wurden. Die Landnutzung wurde anhand von CORINE Landcover [15] festgelegt und unterteilt sich in folgende Kategorien:

- Ackerland
- Industrie/Gewerbeflächen
- Wald
- Wasser
- Wiesen
- Wohngebiet

Die Höhe des Anfangsverlusts wurde empirisch festgelegt, während der kontinuierliche Verlust mit der gesättigten Leitfähigkeit ( $k_f$ -Wert) in mm/h der jeweiligen Bodentextur nach Maniak [16] abgeschätzt wurde. Die Curve Number resultiert aus der Verschneidung der Bodentextur mit der Landnutzung: In jeder Kategorie der Landnutzung (z. B. Ackerland) wurden die Parameter für die unterschiedlichen Bodentexturen (clay-loam,

Material	Mat. ID	HSG <sup>1)</sup>	CN	Strickler-Wert	Kf-Wert (mm/h)	Anfangsverlust (mm)	kont. Verlust (mm/sec)
Ackerland_clay loam	1	D	88	12	1	4,5	0,000278
Ackerland_loam	2	C	84	12	3,4	4,5	0,000944
Ackerland_sandy loam	3	B	76	12	10,9	4,5	0,003028
Ackerland_silt	4	C	84	12	4	4,5	0,001111
Ackerland_silt loam	5	C	84	12	6,5	4,5	0,001806
Ackerland_silty clay loam	6	D	88	12	1	4,5	0,000278
Industrie/Gewerbe_loam	7	C	95	25	3,4	0,8	0,000944
Industrie/Gewerbe_silt	8	C	95	25	4	0,8	0,001111
Industrie/Gewerbe_silt loam	9	C	95	25	6,5	0,8	0,001806
Wald_loam	10	C	73	6	3,4	8	0,000944
Wald_sandy loam	11	B	60	6	10,9	8	0,003028
Wald_silt	12	C	73	6	4	8	0,001111
Wald_silt loam	13	C	73	6	6,5	8	0,001806
Wald_silty clay loam	14	D	79	6	1	8	0,000278
Wasser_loam	15	C	100	200	3,4	0	0,000944
Wiesen_loam	17	C	79	18	3,4	3,5	0,000944
Wiesen_sandy loam	18	B	69	18	10,9	3,5	0,003028
Wiesen_silt	19	C	79	18	4	3,5	0,001111
Wiesen_silt loam	20	C	79	18	6,5	3,5	0,001806
Wiesen_silty clay loam	21	D	84	18	1	3,5	0,000278
Wiesen_clay loam	16	D	84	18	1	3,5	0,000278
Wohngebiet_loam	22	C	85	5	3,4	3	0,000944
Wohngebiet_sandy loam	23	B	78	5	10,9	3	0,003028
Wohngebiet_silt	24	C	85	5	4	3	0,001111
Wohngebiet_silt loam	25	C	85	5	6,5	3	0,001806
Wohngebiet_silty clay loam	26	D	89	5	1	3	0,000278

<sup>1)</sup> Hydrological Soil Group (abgeleitet aus der Bodentextur) zum Zwecke der Festlegung der CN

Tabelle 1: Parametrisierung des Sturzflutenmanagement-Modells für die Rauigkeiten und die beiden Verfahren zur Bildung des effektiven Niederschlags (Quelle: [8 – SCS-USDA, 1972].)

loam, sandy loam, silt, silt loam, silty clay loam) bestimmt (Tabelle 1). Der Stricklerwert ist für eine gesamte Kategorie (z. B. Ackerland) gleich. Die aus den Karten und Tabellen ermittelten Werte stellen nur erste Schätzungen dar, berücksichtigen dennoch eine räumliche Differenzierung. Eine Variation der Parameter erfolgte im Sinne einer Sensitivitätsuntersuchung wobei die Simulationsergebnisse den gemessenen Ganglinien gegenübergestellt wurden. Die in der Tabelle 1 dargestellten Werte sind die abgeschätzten Kartenwerte. In Abbildung 4 ist die Verteilung der Landnutzung in einer Karte dargestellt.

Grundlegend wären Gebietsbegehungen und die punktuelle Abschätzung der Bodeneigenschaften wünschenswert, da diese die Qualität der geschätzten Parameter wesentlich verbessern könnte.

### 3.4 Ergebnisse – Plausibilisierung

Bei einem Starkregenereignis dieser Art steht außer Frage, dass Pegelschlüssel zu hinterfragen sind, laut Hydrografischem Dienst sind bei beiden Pegel noch entsprechende Unsicherheiten bei den hohen Abflüssen vorhanden. In dem vorliegenden Fall standen im Gebiet keine verteilten Wasserstandsmessungen zur Verfügung. In Anbetracht dieser Unsicherheiten wurden die Pegelmessungen an den Pegeln Waldzell und Mettmach dennoch verglichen. Gemäß unserer Abschätzung anhand einer 1D Berechnung und gemessener Anschlaglinien des Ereignisses vom 20. Juni 2012 dürfte der Abfluss in Waldzell bei etwa 70 m<sup>3</sup>/s gelegen sein, der Abfluss in Mettmach konnte nicht näher geprüft werden.

Rechenlauf	DGM	CN	konst. Verlust	Strickler
run9	25 m	–	Kartenwert × 5	Kartenwert/2
run10	25 m	Kartenwert	–	Kartenwert/2
run11	25 m	Kartenwert	–	Kartenwert
run2	10 m	–	Kartenwert × 3	Kartenwert/2
run3	10 m	–	Kartenwert × 5	Kartenwert/2

Tabelle 2: Parameterset für die dargestellten Rechenläufe

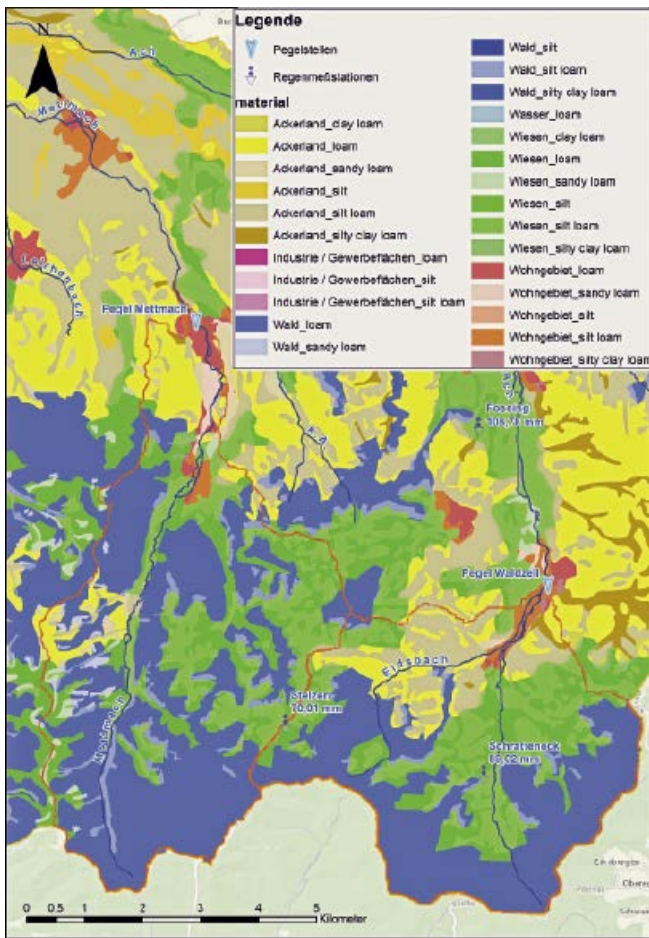


Abb. 4: Materialbelegung nach der Landnutzung

In Tabelle 2 sind die Parametrisierungen ausgewählter Rechenläufe zusammengestellt. Darin ist mit Kartenwert der ursprünglich aus Karten bzw. Literatur abgeschätzte Wert bezeichnet – siehe Tabelle 1.

Grundsätzlich zeigte sich bei der Modellierung, dass unabhängig vom gewählten Verlustmodell die Ablaufwellen den

Scheitel deutlich zu früh simulierten (run11, orange strichliert in Abbildung 5). Durch eine Halbierung der Stricklerwerte traten die Scheitel zum richtigen Zeitpunkt auf (run10, orange durchgezogen in Abbildung 5). Dies macht die Abhängigkeit des Stricklerwerts vom Verhältnis Wasserstand zu Bewuchs deutlich. Entsprechend sind große Rauheiten bei Abfluss auf den Hängen aufgrund der geringeren Wassertiefe zu wählen. Ebenso werden aufgrund der räumlichen Diskretisierung mit Rasterweiten von 10 m bzw. 25 m Oberflächenunebenheiten nicht abgebildet und müssen durch eine angepasste Rauheit kompensiert werden. Die größeren Rauheiten führen auch zu einer deutlichen Dämpfung des Wellenscheitels (im Vergleich von orange gestrichelter zu durchgezogener Linie).

Obwohl beide Einzugsgebiet nahe beisammen liegen, die gleichen geohydrologischen Eigenschaften haben und die Parameter gleich gewählt wurden, sind in Waldzell die simulierten Abflüsse höher als die gemessenen, in Mettmach niedriger.

Neben der Unsicherheit in den Pegelmessungen wird der Unterschied auch darauf zurückgeführt, dass die von den Regenschreibern abgeleitete Regenverteilung die tatsächlich aufgetretene Verteilung nicht ausreichend beschreibt. Demnach müsste der Regen inhomogener und im Mettmacheinzugsgebiet geringer gewesen sein als im Waldzeller Einzugsgebiet. Die Erfahrung über die generelle Regenverteilung im Achgebiet bei anderen Ereignissen stützt diese Erklärung.

#### 4 Praktische Anwendung

Für die praktische Anwendung wurden Berechnungen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad mit unterschiedlicher Zielsetzung entwickelt. Die Modellierung erfolgt in drei Stufen als (a) Sturzfluthinweiskarte, (b) Sturzflutgefahrenplan und (c) Sturzflutmaßnahmenplan.

##### 4.1 Sturzfluthinweiskarte

Die Sturzfluthinweiskarte dient dazu, den potenziell natürlichen Oberflächenabfluss eines Starkregenereignisses darzustellen. Es wird aufgezeigt, wie sich der Abfluss in einem Gebiet

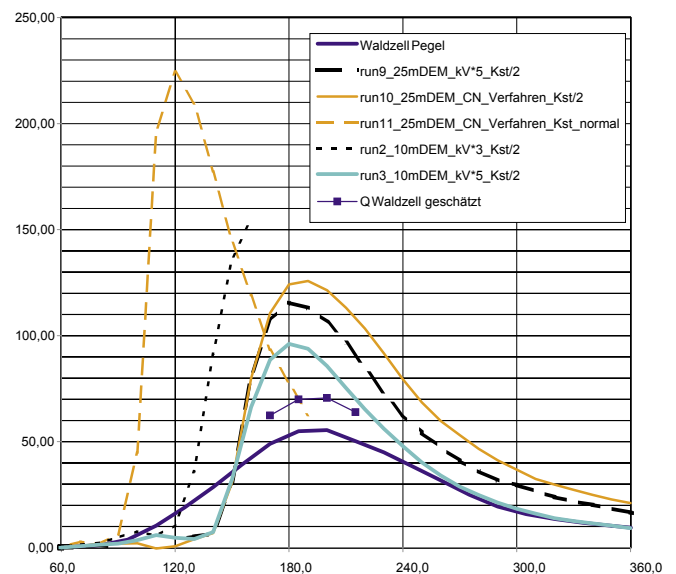
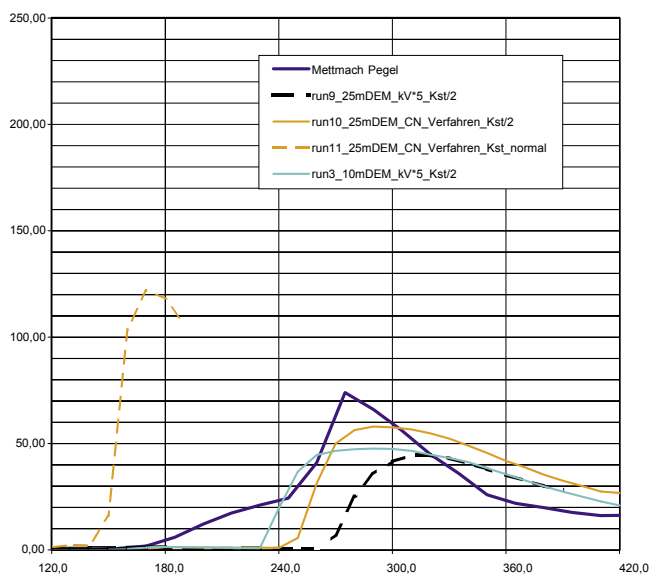


Abb. 5: Vergleich der modellierten und gemessenen Ganmlinien an den Pegeln Mettmach (links) und Waldzell (rechts), Zeitachse in Minuten ab 18:00



Abb. 6: Sturzflutenhinweiskarte auf Orthofoto mit tatsächlicher Bebauung

ausprägen würde, wenn weitgehend keine Eingriffe durch Siedlungstätigkeiten vorhanden wären und somit das Gebiet aus natürlichen Flächen wie Wald, Ackerland, Wiesen und Gewässer bestehen würde.

Mit Hilfe der Sturzfluthinweiskarte kann für eine potenziell natürliche Oberfläche folgende Aussage getroffen werden:

- Flächige Akkumulation des Oberflächenabflusses entsprechend der verwendeten – vereinfachten Topographie, potenzielle Überflutungsflächen
- wo Abflussbereiche von Sturzfluten sind, welche von Bebauung frei gehalten werden sollen (zukünftige Entwicklung, Raumordnung)
- auf welchen Flächen eine Bebauung ein bedeutendes Hindernis für den natürlichen Abfluss darstellen würde, das es zu vermeiden gilt

Die Karte basiert entsprechend der Zielsetzung auf einem digitalen Geländemodell DGM (Geländeoberfläche ohne Häuser und Wald) mit einem Raster von 10 × 10 m.



Abb. 7: Sturzflutengefahrenplan mit ausgeschnittenen Gebäuden (links) und geplanter Parzellierung. Sturzflutenmaßnahmenplan mit eingetragenen Maßnahmen, infolge der eingefriedeten Grundstücke erfolgt Abfluss nur auf den Straßen. Legende der Farbdarstellung wie bei Abbildung 6

Die in der Sturzfluthinweiskarte flächig abgebildeten Wassertiefen zeigen die größte Wassertiefe bei einem Regenerereignis bestimmter Jährlichkeit auf. Diese wird oft mit einem 100-jährlichen Ereignis gewählt, wobei in der Urbanhydrologie durchaus kurze Wiederkehrzeiten berücksichtigt werden. Es werden Wassertiefen ab 10 cm mit folgender Abstufung dargestellt (Abbildung 6).

Es wird darauf hingewiesen, dass auch außerhalb der dargestellten Flächen ein oberflächlicher Abfluss stattfindet. Dem Rechenmodell und den natürlichen Verhältnissen entsprechend findet der Oberflächenabfluss in Wesentlichen überall, jedoch in geringerem Umfang bzw. mit Fließtiefen kleiner als 10 cm statt.

Barrieren (Dämme, Mauern, Gartenzäune, ...) im Oberflächenabfluss führen zu wesentlichen Behinderungen des Abflusses, sodass auch außerhalb der dargestellten Flächen Wassertiefen über 10 cm auftreten können. Der Einfluss von künstlichen Barrieren und die Ermittlung der Wassertiefe ist nicht Ziel der Sturzfluthinweiskarte, sondern wird im Sturzflutgefahrenplan durchgeführt.

#### 4.2 Sturzflutgefahrenplan

Der Sturzflutgefahrenplan dient dazu, den Oberflächenabfluss eines Starkregenerereignisses unter Berücksichtigung des Einflusses von bestehender Bebauung und – wenn gewünscht – von zukünftigem Bauland darzustellen.

Vereinfacht wird modelltechnisch die Annahme getroffen, dass kein Abfluss über Bauparzellen erfolgt. Die Berechnung erfolgt daher so, als würden alle Bauparzellen durch Gartenmauern eingefriedet. Je nach Bebauungsstruktur kann auch ein verfeinerter Modellansatz verwendet werden, indem die bestehenden Gebäude oder auch Gartenmauern als überströmbare Elemente ins Modell eingebaut werden. Ein limitierender Faktor dabei ist der Aufwand für die Erhebungen. Die Landnutzung sowie die Versiegelung der Flächen wird berücksichtigt, wobei eine Kalibrierung nicht immer oder nur unzureichend

möglich ist. Die Wasserableitung durch die Kanalisation wird vereinfacht berücksichtigt, indem auf angeschlossenen Flächen z. B. eine erhöhte Versickerung angesetzt wird. Darüber hinausgehend sind für die Berücksichtigung des Kanalsystems einfache Quell- Senke Ansätze an einzelnen Knoten als auch eine Anbindung an externe hydrodynamische Kanalnetzmodelle denkbar. Allen Ansätzen gemeinsam sind bestehende Unsicherheiten hinsichtlich tatsächlicher Entlastungswirkung im Anlassfall. Gleiches gilt z. B. für untergeordnete Straßendurchlässe, bei denen Verklausungen nicht ausgeschlossen werden können.

Entsprechend der Zielsetzung des Sturzflutgefahrenplans basiert das Modell auf einem DGM mit einem Raster  $1 \times 1$  m oder genauer. Der Einbau von vermessenen Bruchkanten wie Bordsteinen oder Maueröffnungen ist in diesem Detaillierungsgrad möglich und sinnvoll. Gewässer können als Flussschläuche eingebaut werden, üblicherweise wurden sie nur anhand des Laserscan-DGM modelliert.

Das Ergebnis ist eine detailliertere Überflutungskarte als bei der Sturzfluthinweiskarte, zusätzlich zu den dortigen Aussagen

- kann die Höhe von Schutzmaßnahmen (sich selbsttätig aufstellende Schutzelemente, Mauern, ...) vordimensioniert werden
- kann eine Mindesthöhe für Erdgeschossniveaus festgelegt werden
- kann der unbedingt frei zu haltende Abflussbereich angegeben werden
- können gefährdete Gebiete für detaillierte Planungen abgegrenzt werden

#### 4.3 Sturzflutmaßnahmenplan

Mit diesem Plan werden – aufbauend auf einem verfeinerten Modell des Sturzflutgefahrenplanes – konkrete Detailplanungen für Schutzmaßnahmen durchgeführt. Dieses Modell kann

Anzeige

### Unser Expertentipp





Exkursion  
**Abflussmessungen an Gewässern**  
19./20. März 2015  
in Hennef  
430,00 € / 350,00 € (\*\*)

Zertifikatskurs  
**Abflussmessungen an Gewässern**  
15. – 19. Juni 2015  
im Sauerland (Möhnesee)  
1.600,00 € / 1.300,00 € (\*\*)

FgHW  
**Simulation hydrologischer Systeme – Wie nah kommen wir der Realität?**  
Heft 33.13 als CD-ROM  
2013, 211 Seiten;  
29,00 € / 23,20 € (\*)

\*) für fördernde DWA-Mitglieder  
(\*\*) für DWA-Mitglieder

die Grundlage für das Bewilligungsverfahren darstellen, bei dem die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen auf Dritte und öffentliche Interessen dargestellt werden müssen. Grundsätzlich werden folgende Maßnahmen unterschieden:

- Individueller Objektschutz – von Objekteigentümern umzusetzen; durch die Annahme eingefriedeter Grundstücke wird bereits der Maximalwasserstand dargestellt, wenn alle Grundstücke eingefriedet wären (Lastfall für Bebauungsszenario mit vollem Objektschutz).
- Freihaltebereiche – von Parzelleneigentümern zu berücksichtigen, im Rahmen der Raumordnung festzulegen
- Oberflächenwasserkanal
- Ableitung auf Straßen
- Rückhaltebecken

#### 5 Fazit – Ausblick

Das Modell Sturzflut wurde als Erweiterung des 2D-hydrodynamisch-numerischen Modells Hydro\_AS-2D entwickelt, welches als hydraulischer Rechenkern genutzt wird. Das Modell Sturzflut ermöglicht es, räumlich und zeitlich differenzierten Niederschlag im Modell knotenweise einzubringen. Verluste zur Abflussbildung können mit verschiedenen Modellansätzen berücksichtigt werden. Die Abflusskonzentration wird durch das hydrodynamische Modell abgedeckt. Die Verwendung von empirischen Formeln zur Ermittlung der Konzentrationszeit entfällt dadurch. Im Umkehrschluss ist es notwendig, Parameter für Oberflächenrauheit und Abflussbildung, flächendetailliert abzuschätzen, um so verlässliche Simulationsergebnisse im Einzugsgebiet zu erhalten. Die Anwendung in einem Testgebiet zeigte, dass sich die Modellparameter an gemessenen Abflüssen im Rahmen der hydrologischen Unsicherheiten (Regenverteilung, Pegelschlüsselkurve bei hohen Abflüssen) anpassen lassen und eine Eignung des Modells zur Abbildung der Sturzflutprozesse gegeben ist. In der gezeigten Fallstudie standen Pegelmessstellen zur Verfügung, die trotz ihrer Unsicherheiten eine Abschätzung über die Größenordnung des Abflusses ermöglichten. Erste Simulationsläufe mit Parametern, abgeschätzt aus Literaturangaben, zeigten sich als sehr unzuverlässig. Da in der Mehrzahl von Einzugsgebieten eine Verifikation der Simulationsergebnisse an Pegelstellen nicht möglich ist, werden Feldbegehungen und Vor-Ort Erhebungen von Abflussbeiwerten als sinnvoll erachtet. Aufgrund der begrenzten Einzugsgebietsgröße und der lokalen Ausprägung von konvektiven Ereignissen stellt die best-mögliche Ermittlung der Regenverteilung einen weiteren wesentlichen Baustein zur verlässlichen Simulation dar.

Für Kommunen wurde eine abgestufte Vorgangsweise zur Identifikation von sturzflutgefährdeten Flächen entwickelt, die von der überblicksartigen Darstellung auf Karten bis zum detaillierten Planungsmaßstab reicht. Als Entscheidungsgrundlage für die Gemeindeverantwortlichen, aber auch in der Bürgerinformation, haben solche Karten eine starke Aussagekraft. Die oft gehörte Aussage „auf dem Grundstück ist noch nie Wasser geflossen“, kann dann oftmals relativiert werden.

Die Karten können je nach Anforderung mit sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad erstellt werden. Ein limitierender Faktor ist dabei immer der Aufwand in der Datenerhebung und dem Einpflegen in das Modell. Der notwendige (und sinnvolle) Aufwand ist im Einzelfall zu klären.

## 6 Dank

Dem Land Oberösterreich sei für die Bereitstellung der Daten gedankt. Die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG und das Land Oberösterreich unterstützte mit dem Innovationscheck bzw. dem Programm Easy2Innovate (i2e) die Entwicklung des Programms und fördert auch die derzeitige Weiterentwicklung. Das EU-Projekt Switch-On (Sharing Water-related Information to Tackle Changes in the Hydrosphere – for Operational Needs (SWITCH-ON) received funding from the European Union’s Seventh Programme (FP 7) for Research, Technological Development and Demonstration under Grant Agreement No 603587) ermöglichte uns die Forschung und Methodenentwicklung für Sturzflutenrisikokarten, die für dieses Programm eine wichtige Grundlage waren.

## Literatur

[1] *URBAS, Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse – Vorschau und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten*, [www.urbanesturzfluten.de](http://www.urbanesturzfluten.de), abgefragt am 13. November 2014

[2] Società Meteorologica Italiana (SMI), <http://www.nimbus.it/eventi/2013/130624flashfloodRimini.pdf>, abgefragt am 13. November 2014

[3] Tageszeitung Österreich, <http://www.oe24.at/oesterreich/chronik/Sturzflut-Regen-legt-Ost-Oesterreich-lahm/1509113>, abgefragt am 13. November 2014

[4] Tageszeitung „Oberösterreichische Nachrichten“, <http://www.nachrichten.at/oberoesterreich/Unwetter-Mure-riss-Strasse-mit-Wohnhaus-in-Gosau-gefaehrdet;art4,911288>, abgefragt am 13. November 2014

[5] Sharing Water-related Information to Tackle Changes in the Hydrosphere – for Operational Needs (SWITCH-ON), <http://water-switch-on.eu>

[6] EU-Kommission, Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken

[7] Klar, Robert; Achleitner, Stefan; Lumassegger, Simon; Aufleger, Markus; Hofer, Michael (2014): Extension and testing of a 2D hydrodynamic model for direct rainfall runoff simulation. In: Proceedings of the 11th International Conference on Hydroinformatics – HIC 2014. New York: City University of New York

[8] SCS (Soil Conservation Service)-USDA, 1972. Estimation of direct runoff from storm rainfall, National Engineering Handbook. Section 4-Hydrology 1972 pp. 10.1–10.24.

[9] Merz, R., (2006), Regionalisierung von Ereigniskenngrößen, ÖWAV – Seminar im Lebensministerium (18.–19. Mai 2006), Wiener Mitteilungen Band 197: Methoden der hydrologischen Regionalisierung.

[10] Merz, R., Blöschl, G. & Parajka, D. (2006) Raum-zeitliche Variabilität von Ereignisabflussbeiwerten in Österreich. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*, 50(1), S.2–11.

[11] Richard Courant, Kurt Friedrichs, Hans Lewy: Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik. In: *Mathematische Annalen*, Bd. 100 (1928), S. 32–74,

[12] Nujic M., „Hydro\_AS-2D – Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis“, *Hydro\_AS-2D User Manual*, (2009).

[13] Amt der OÖ Landesregierung, Gewässerbezirk Braunau, Regendaten von Regenschreibern des eigenen Messnetzes

[14] INSPIRE Download Service des Amtes der oberösterreichischen Landesregierung; <http://www.doris.at/metadaten/xml/DigitalesGelaendemodell10mRasterETRS89UTM33NAtom.xml>

[15] Yörük, Alpaslan, Buchholz, Oliver, Einsatz eines 2D-hydrodynamischen Modells zur Berechnung von Überflutungsflächen, *Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 7. JG, Nr. 11, Nov. 2014

[16] Quelle: österr. Bodenkarte – INSPIRE Download auf <http://gis.lebensministerium.at/wmsgw-ds/?alias5115c76c7-2cd5-4&request5GetServiceFeed>

## Autoren

Dipl.-Ing. Günter Humer  
 Mag. Andreas Reithofer  
 Ingenieurbüro Dipl.-Ing. Günter Humer GmbH  
 Feld 16  
 4682 Geboltskirchen, Österreich

E-Mail: [office@ib-humer.at](mailto:office@ib-humer.at)

Dipl.-Ing. Robert Klar  
 Dipl.-Ing. Dr. Stefan Achleitner  
 Universität Innsbruck  
 Arbeitsbereich Wasserbau  
 Technikerstraße 13  
 6020 Innsbruck, Österreich

E-Mail: [robert.klar@uibk.ac.at](mailto:robert.klar@uibk.ac.at)  
[stefan.achleitner@uibk.ac.at](mailto:stefan.achleitner@uibk.ac.at)



**Erfolgreich werben**

mit der

**Publikationen für ein zielgruppenspezifisches Marketing in der Wasserwirtschaft**

*[www.dwa.de/mediadaten](http://www.dwa.de/mediadaten)*

© Tony Hegewald/www.pixelio.de