

# Flash Flood Risk Map Upper Austria – Evaluierung des Schadensrisikos durch Starkregenereignisse anhand eines erweiterten 2D-Strömungsmodells

Andreas Reithofer<sup>1</sup>, Günter Humer<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dipl.-Ing. Günter Humer GmbH, Geboltskirchen/Gmunden · reithofer@ib-humer.at

**Zusammenfassung:** Im Unterschied zum Gefahrenzonenplan für Oberflächengewässer existiert zur Berechnung des Sturzflutrisikos auf Hängen bis dato keine normierte Vorgangsweise. Um die Überflutungen durch spontanen Oberflächenabfluss und das damit einhergehenden Schadensrisiko beurteilen zu können, wird anhand eines erweiterten 2D-Strömungsmodells die maximale Überflutungstiefe auf Basis eines 100-jährlichen Niederschlagsereignisses von 60 Minuten Dauer berechnet. Die Ermittlung von durchschnittlichen Schadenswerten als Funktion von Wassertiefe, Flächenwidmungskategorie und Bebauungsdichte macht das Schadensrisiko durch Sturzfluten monetär abschätzbar.

**Schlüsselwörter:** Sturzflut; Hangwasser; Starkregen; Risikokarte; Schadensabschätzung

**Abstract:** Unlike for the instrument of hazard zone maps for surface waters, there is no common approach for the calculation of inundation risk caused by spontaneous overland runoff. For being able to assess the associated potential damage, the maximum inundation depth is being calculated via an extended 2D flow model, based on a rain event with an 100-year return period and a duration of 60 minutes. The calculation of average damage values as a function of water depth, zoning plan category and building density enables the assessment of the damage risk caused by overland runoff.

**Keywords:** Flash floods; surface runoff; heavy rainfall; risk map; damage assessment

## 1 Motivation und grundlegender Aufbau

Die Thematik des von Starkregenereignissen verursachten Hangoberflächenabflusses hat in den letzten Jahren nicht zuletzt aufgrund der positiven Korrelation von Temperatur und Niederschlagsintensität zunehmend an Bedeutung gewonnen. So muss den Auswertungen des EU-Forschungsprojekts „SWICCA“ zufolge beispielsweise im Einzugsbereich der Traun mit einer Zunahme der Niederschlagsintensität für eine Stunde Regendauer und der Jährlichkeit T100 (IDF<sup>1</sup>) im Zeitraum 2011–2040 um durchschnittlich 28 % im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971–2000 gerechnet werden; im Zeitraum 2041–2070 beträgt dieser Wert +30 % im Vergleich zu 1971–2000. Die „Flash Flood Risk Map“ als Teilprojekt des EU-Forschungsprojekts „SWITCH-ON“<sup>2</sup> widmet sich der Ermittlung des durch Starkniederschläge verursachten Schadensrisikos auf Basis eines hundertjährigen Niederschlagsereignisses<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Intensity Duration Frequency (IDF): Arithmetisches Mittel für 9 unterschiedliche Modellrechnungen ausgehend von 4 regionalen Klimamodellen (RCMs): RCA4, RACMO22E, IPSL-WRF331F, CSC-REMO09; <http://www.swicca.eu/indicator-interface/statistics-and-download/>

<sup>2</sup> Sharing Water-related Information to Tackle Changes in the Hydrosphere – for Operational Needs (SWITCH-ON), <http://www.water-switch-on.eu/products.html>

<sup>3</sup> Bemessungsniederschlag für eine Regendauer von 60 min., Jährlichkeit T100 – siehe ehyd.gv.at

Um dieses seriös beurteilen zu können, müssen zunächst auf hydraulischem Weg die entsprechend gefährdeten Flächen und deren maximale Überflutungstiefe berechnet werden. Diese Vorgangsweise bietet gegenüber einer rein GIS-basierten Auswertung wie beispielsweise der Flow Accumulation eines Hydro-DEM den Vorteil, dass ähnlich wie bei der Berechnung von fluviatilen Überflutungen ein hydraulisch korrektes Strömungsmodell die Grundlage für alle weiteren Auswertungen bildet. Die dazu verwendeten Eingangsparameter sind mit Ausnahme der Gebäude in unterschiedlicher Qualität als Open Data im Netz frei verfügbar und gliedern sich in die folgenden Komponenten:

- Digitales Geländehöhenmodell (10 m / 25 m Auflösung, abgeleitet aus ALS-Daten), Berichtsgewässernetz nach Wasserrahmenrichtlinie.
- Daten zu Landnutzung/Bodenbedeckung und Versiegelungsgrad (CORINE, Urban Atlas, Imperviousness; zur Risikobewertung: Digitaler Flächenwidmungsplan).
- Durchlässigkeitsbeiwerte bzw. Hydraulische Leitfähigkeit des Bodens (Österr. Bodenkarte, Hydrologischer Atlas).
- Niederschlagssummen (Bemessungsniederschlag nach eHYD.gv.at).
- Gebäudelayer aus ALS-Daten (zur Verfügung gestellt durch das Amt der ö. LR).

## 2 Methodik

### 2.1 Hydraulische Berechnung

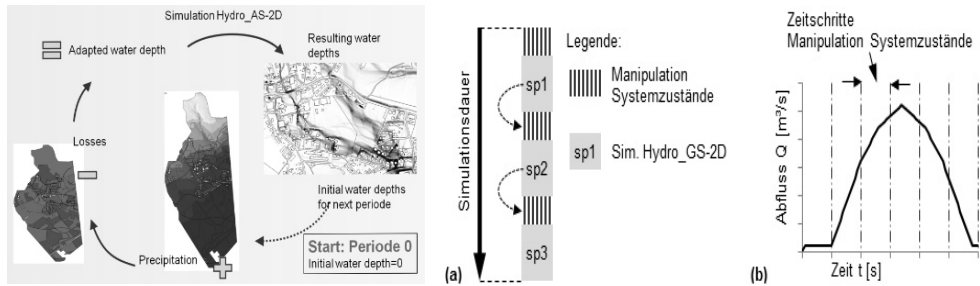
Im Gegensatz zur Ermittlung der Überflutungsflächen aus Gewässern, wo im hydraulischen Modell Abflussganglinien als obere Randbedingung für den Zufluss angesetzt werden, muss im Hangwasserbereich die Ermittlung des abflusswirksamen Regens in das hydraulische Modell integriert werden, da sich der Abfluss von den Wasserscheiden ausgehend direkt aus dem Regen in der Fläche bildet und dieser dann räumlich verteilt abfließt.

Zur Ermittlung der maximalen Wassertiefe wurde in der FFRM die Hydrauliksoftware „Hydro\_AS-2D“ verwendet, welche mittels eines finiten Volumenansatzes die Flachwassergleichungen löst und auch als Standardsoftware für die Gefahrenzonenplanung eingesetzt wird. Nachdem jedoch der Zufluss in unserem Fall bei jedem einzelnen Knoten im TIN erfolgt und nicht nur entlang definierter Linien, kommt für die hydraulische Berechnung eine am AB Wasserbau der Universität Innsbruck in Zusammenarbeit mit der DI Günter Humer GmbH entwickelte Software zum Einsatz, welche Hydro\_AS-2D als hydraulischen Rechenkern nutzt, um die räumlich verteilte Simulation der Abflusskonzentration abbilden zu können (KLAR et al. 2014). Dabei erfolgt in frei wählbaren Zeitschritten bei jedem Knoten eine Manipulation der berechneten Wasserhöhe<sup>4</sup>, indem das Strömungsmodell kurz gestoppt wird, die gerade vorherrschenden Systemzustände ausgeschrieben, entsprechend des Berechnungsverlaufs eine zusätzliche Wassertiefe als nicht versickernder Anteil des Regens aufgebracht und anschließend als veränderte Eingangsparameter wieder ins Modell geschrieben werden

---

<sup>4</sup> Programmintern erfolgt die hydraulische Simulation in Zeitschritten nach den Erfordernissen zur numerischen Stabilität nach Courant-Friedrichs-Levy (COURANT et al. 1928).

(ACHLEITNER 2015). Dadurch kann eine sowohl räumlich als auch zeitlich variable Berechnung auf die gesamte Fläche vorgenommen werden.



**Abb. 1, 2:** Schematische Darstellung des Berechnungsvorgangs (links), der (a) Simulationsdauer und der (b) Zeitschritte zur Manipulation der Systemzustände (rechts)

Darüber hinaus müssen für das Gelände die Rauigkeitsbeiwerte (Strickler) und die Werte für die Parameter des verwendeten Niederschlags-Abfluss-Modells festgelegt werden. Dabei kann sowohl das SCS-CN-Verfahren (US SOIL CONSERVATION SERVICE 1972) als auch die Angabe eines Anfangsverlusts und eines kontinuierlichen Verlusts als vereinfachte Summenparameter von Benetzungsverlusten, Muldenverlusten, Verdunstungsverlusten und Sickerverlusten verwendet werden. Im Falle der FFRM dient der  $k_r$ -Wert (gesättigte hydraulische Leitfähigkeit) als Basis für den kontinuierlichen Verlust und die Bodenbedeckung sowie der Versiegelungsgrad die Basis für den Anfangsverlust. Dazu findet eine Kombination der Bodenkarte und der Hydrogeologie mit der Bodenbedeckung und dem Versiegelungsgrad statt, welche zusammen die Materialbelegung für das 2D-Modell bildet.

Separat davon erfolgt die – ebenfalls zonenweise – Vorgabe von Regenreihen. Für die FFRM bildet ein 100 jährliches Niederschlagsereignis für den Zeitraum 5 bis 60 Minuten (Bemessungsniederschlag nach eHYD)<sup>5</sup> die Basis für die Berechnung, wobei um die Gitterpunkte des Bemessungsniederschlags Thiessen-Polygone gelegt wurden, für die jeweils dieselbe Regenreihe auf das Modell aufgetragen wird. Im Unterschied zu einem regulären N/A-Modell wird dabei bewusst kein Gebietsabminderungsfaktor für den Punktregen verwendet, da Ziel und Gegenstand der Erhebung zwischen Wasserscheide und Vorfluter auftretende spontane Oberflächenabflüsse sind, für welche der im Bemessungsregen dargestellte Punktniederschlag die korrekte Basis ist. Daraus folgt natürlich auch, dass die vom Modell errechneten Überflutungen im direkten Nahebereich von Gewässern mit einem größeren Einzugsgebiet (in etwa ab 5-10 km<sup>2</sup>, wobei dieser Wert je nach Relief und Form des EZG auch stark nach oben und unten variieren kann) nicht aussagekräftig sind, da einerseits keinerlei Daten über das genaue Flussprofil vorliegen und andererseits in der Realität der basierende Punktniederschlag niemals im gesamten Einzugsgebiet gleichzeitig in derselben Dauer und Intensität fallen kann und die resultierenden Abflüsse auf diese Art bei größeren Einzugsgebieten überschätzt werden.

<sup>5</sup> [http://ehyd.gv.at/assets/eHYD/pdf/20150722\\_Bemessungsniederschlag.pdf](http://ehyd.gv.at/assets/eHYD/pdf/20150722_Bemessungsniederschlag.pdf)

Die Basis für die Ermittlung der während der Überflutung auftretenden maximalen Wassertiefe bilden die pro Zeitschritt errechneten Wassertiefen an jedem Knoten, wovon bei jedem Knoten der Maximalwert verwendet wird. Zwischen den einzelnen Knoten wird die Wassertiefe dem triangulierten Gelände entsprechend linear interpoliert und schließlich in acht verschiedene Tiefenklassen eingeteilt. Auch in diesem Fall gilt, dass die auf diese Weise errechnete maximale Wassertiefe natürlich nicht überall gleichzeitig, sondern vielmehr dem Strömungsmodell entsprechend in zeitlicher Abfolge auftritt; für die Abschätzung des Schadenspotenzials ist die zeitliche Abfolge jedoch unerheblich.

## 2.2 Geländemodellierung und Materialbelegung

Im Vorfeld der hydraulischen Berechnung findet ein Preprocessing des Geländemodells statt, bei dem das Berichtsgewässernetz im Abstand von 10 m mit den Höhen aus dem frei verfügbaren DGM in 10 m Auflösung versehen und anschließend als Bruchkante 5 m in das triangulierte Originalterrain (Rasterauflösung 25 m) eingebrannt hinzugefügt wird. Der Vorgang des Einbrennens erfolgt dabei nicht, um das Flussbett möglichst realistisch wiederzugeben, sondern (zusammen mit der Festlegung von sehr hohen Verlustwerten im Bereich des Gewässerlaufs) um die fluviatilen Überflutungen zu minimieren. Die Verwendung der Gewässersläufe als Bruchkante wiederum dient der Minimierung von (in dieser Auflösung unvermeidlichen) Fehlern in der Geländemodellierung wie das Fehlen von Durchlässen bei Bahnlinien und Straßen in Dammlage und Brücken oder der künstlichen Bildung von „Dämmen“ bei sehr engen Talabschnitten und Schluchten.

Die Materialbelegung und damit auch die Festlegung von Verlustwerten und Rauigkeitsbeiwerten im 2D-Modell erfolgt mithilfe der Reklassifizierung und Verschneidung mehrerer frei verfügbarer Datenlayer, welche großteils (mit Ausnahme der Bodenkarte) aus Fernerkundungsdaten abgeleitet sind; dies sind einerseits die Landnutzung (CORINE, Urban Atlas bzw. LISA, wo verfügbar) und der Versiegelungsgrad (Imperviousness) und andererseits die Bodentextur bzw. Hydraulische Leitfähigkeit des Bodens ( $k_f$ -Wert aus der Österr. Bodenkarte, bei nicht-kartierten Bereichen: Hydrogeologische Karten). Dabei werden die Anfangsverluste sowie die Rauigkeitsbeiwerte in Abhängigkeit von Landnutzung und Versiegelungsgrad festgelegt, während die Werte für den kontinuierlichen Verlust den Bodenparametern entstammen. Aus den Angaben zu den  $k_f$ -Werten in der Bodenkarte wurden vier Klassen gebildet, wovon jeweils der Medianwert als Wert für den kontinuierlichen Verlust herangezogen wurde. Die Auswahl von als signifikant und sinnvoll erachteten Klassen sowie Kombination der einzelnen Datenlayer untereinander ergibt schließlich insgesamt 24 Materialtypen.

## 2.3 Modellkalibrierung

Die Werte für den Anfangsverlust wurden empirisch festgelegt; die ursprünglich verwendeten Werte für Rauigkeit und kontinuierlichen Verlust hingegen wurden anhand der Abflüsse an Pegeln der Waldzeller Ach und der Mettmach bei einem realen Starkregenereignis im Juni 2012 kalibriert. Dabei wurden die Werte von neun Regenschreibern als Regenreihe auf das Modell aufgetragen und die erzielten Abflusswerte den jeweiligen Pegelmessungen gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass – um die an den zwei Flusspegeln gemessene Abflusskurve und die Fracht im Modell möglichst gut wiederzugeben – eine Halbierung der verwendeten Rauigkeitsbeiwerte sowie eine Verfünffachung der Werte für den kontinuierlichen Verlust

notwendig war; in beiden Fällen bewegen sich die Werte dennoch absolut im Bereich physikalisch plausibler Größen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die hier erzielten Ergebnisse auch auf die übrigen Gebiete übertragbar sind, da die im Vergleich sehr niedrigen Rauigkeitsbeiwerte und hohen Verlustbeiwerte v. a. auf die grobe Auflösung des DGM zurückzuführen sind (beinahe Wegfall der Muldenverluste durch stark geglättetes Terrain).

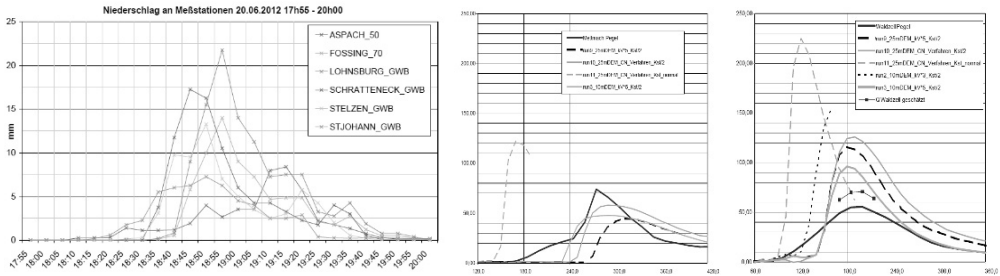


Abb. 3, 4: Regensummen (links), gemessener Pegel und modellierter Abfluss (rechts)

### 3 Risikobewertung

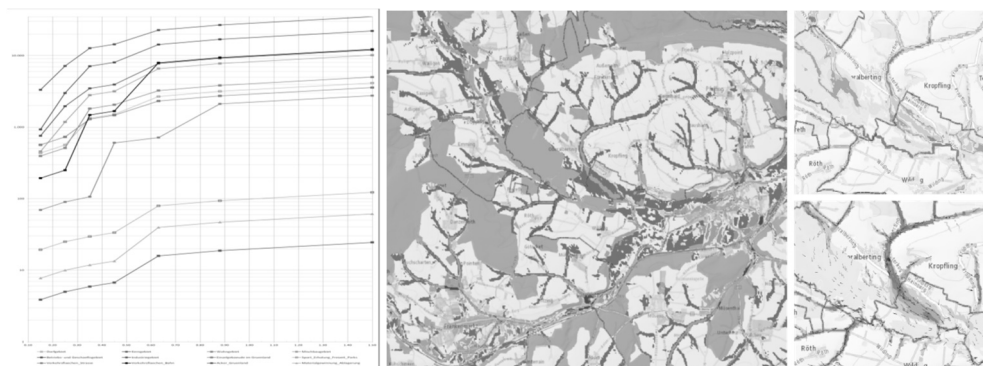
Für die Bewertung des Schadensrisikos musste zunächst aus Fachliteratur und eigenen Schädenserhebungen eine geeignete Schadensfunktion gefunden werden. Die erhobenen Schäden wurden in Testflächen den reklassifizierten Kategorien des Flächenwidmungsplans (FWP) zugeordnet und damit Durchschnittsschadenswerte pro 100 m<sup>2</sup> (Base Damage B) ermittelt. Diese ergeben kombiniert mit den Tiefenklassen der maximalen Wassertiefe und der durchschnittlichen Bebauungsdichte pro FWP-Kategorie (welche anhand der Verschneidung mit dem Gebäudelayer der oö. Landesregierung ermittelt wurde) eine Abschätzung des Schadensrisikos bei einem hundertjährigen Regenereignis in € pro 100 m<sup>2</sup>:

$$D_{total} = D_{min} + B * \text{sqr}(wd) * \text{density} \quad [\text{wd} = \text{mittl. Wassertiefe pro Tiefenklasse}]$$

Während im Wohnbereich die verfügbare Datenlage eine solide Abschätzung ermöglicht, können vor allem im Bereich der Industrie- und Gewerbebetriebe bei den Schadenswerten nur Richtwerte verwendet werden, da es in diesem Bereich kaum verfügbare Daten gibt und auch die Spannweite des möglichen Schadens extrem hoch ist. Auch ist die Thematik eines möglichen Produktionsausfalls und den damit verbundenen ev. noch viel höheren Folgekosten in der vorliegenden Berechnung **nicht** enthalten. Für die Darstellung in der Risikokarte wurden die Schadenswerte in 5 Klassen eingeteilt und intervallskaliert zwischen sehr geringem (0-10 € pro 100 m<sup>2</sup>) und sehr hohem Risiko (>10.000 € pro 100 m<sup>2</sup>) dargestellt.

Die in der FFRM angewandte Bewertungsmethodik für die Überflutungstiefe und den potenziellen Schaden kann im kleinräumigeren Maßstab auch für eine einzelne Gemeinde, eine Ortschaft oder ein Bauprojekt beinahe beliebig verfeinert werden, da die Genauigkeit der hydraulischen Berechnung vor allem vom zur Verfügung stehenden Geländemodell abhängt. Bei Verwendung eines DGM in 1 m oder 0,5 m Auflösung als Basis für das 2D-Modell (welche zumindest eine Höhengenaugigkeit von 15 cm liefern) ist die Abgrenzung der Überflu-

tungsflächen und der Wassertiefe dementsprechend genauer, wodurch die Berechnungsergebnisse auch als Basis für entsprechende bauliche Maßnahmen zum Schutz der betroffenen Objekte dienen können. Auch können in diesem Maßstab sämtliche Gebäudeobjekte und lineare Objekte wie Gartenmauern, Rohrdurchlässe usw. im Modell berücksichtigt werden, was in einer generalisierten Form wie es in der FFRM der Fall ist, nicht möglich ist. So können stufenweise von einer Identifikation der sturzflutgefährdeten Flächen und einer Abschätzung des damit verbundenen Schadensrisikos eine genaue Gefahrenanalyse und Vorschläge für entsprechende bauliche Maßnahmen erarbeitet werden, wobei die mikroskalig erhebbaren Daten für eine genauere Schadensberechnung natürlich in eine Kosten-Nutzen-Untersuchung einfließen können.



**Abb. 5-8:** Schadensfunktionen (links), Schadensrisiko (Mitte), max. Wassertiefe (rechts oben), max. Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung (rechts unten)

*“This work was funded by the European Commission's 7th Framework Programme, under Grant Agreement number 603587, SWITCH-ON project”*

## Literatur

- ACHLEITNER, S. et al. (2015), Erweiterung eines 2D-Strömungsmodelles zur Berechnung von Sturzfluten – Plausibilisierung und praktische Anwendung für die Darstellung von Gefahrenkarten und Lösung von Planungsaufgaben in Siedlungsgebieten. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 3/2015, 164-171. doi:10.3243/kwe2015.03.002.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND-, FORST- U. WASSERWIRTSCHAFT (BMLFUW) (2009), „Kosten-Nutzen-Untersuchungen im Schutzwasserbau“.
- COURANT, R. et al. (1928), Über die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik. In: Mathematische Annalen, 100, 32-74.
- KLAR, R. et al. (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. City University of New York.
- MANIAK, U. (2005), Niederschlag-Abfluss-Modelle für Hochwasserabläufe. In: Hydrologie und Wasserwirtschaft. 5. Auflage 2005, 253-348.
- US SOIL CONSERVATION SERVICE (1972), Estimation of direct runoff from storm rainfall, National Engineering Handbook. Section 4-Hydrology 1972, 10.1-10.24.