Risikobasiertes Frühwarnsystem für starkregenbedingte Überflutungen und Sturzfluten

Julian Hofmann, RWTH Aachen University, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Einleitung

In den vergangenen Jahren führten zahlreiche Starkregenereignisse und dadurch ausgelöste Sturzfluten bundesweit zu Personenschäden und zu erheblichen Schäden an baulicher Infrastruktur. Insbesondere Ereignisse wie in Simbach 2016 oder in Münster 2014 haben verdeutlicht, welches enorme Zerstörungspotenzial extreme Niederschläge in Deutschland haben können. Im letzten Jahr führte eine ganze Serie von Starkregenereignissen deutschlandweit zu schweren lokalen Überflutungen. Die Stadt Aachen wurde dabei gleich zweimal getroffen. Insbesondere das zweite Ereignis am 29. Mai 2018 führte zu großen Schäden in der Aachener Innenstadt (AN 2018).

Die Sensibilität in Bezug auf Hochwassergefahren durch Starkniederschläge ist trotz vergangener Ereignisse immer noch gering, da Hochwasserkatastrophen in der Wahrnehmung der Bevölkerung Überschwemmungen stets mit durch große Flüsse einhergeht (BKK 2015). Starkniederschlagsereignisse können jedoch, im Gegensatz zu Flusshochwasserereignissen, grundsätzlich überall auftreten und sehr plötzlich zu schweren lokalen Überflutungen führen und kalkulierbare schwer Risiken (LAWA 2017). Laut Umweltministerkonferenz 2016 stellen Starkniederschlagsereignisse somit eine "außerordentliche Gefahr für Leib und Leben" dar und können "zu enormen Sachschäden führen" (UMK 2016). Klimasimulationen weisen aktuell darauf hin, dass eine Zunahme hinsichtlich Häufigkeit und Intensität extremer Wetterereignisse zu erwarten ist.

Warnungen vor extremen Starkniederschlagsereignissen erfolgen bislang fast ausschließlich auf Grundlage von Niederschlagsmengen. Die von Starkregen ausgehende Gefährdung in Form von unkontrolliert abfließendem Oberflächenwasser bzw. Sturzfluten wird damit jedoch nicht erfasst. Darüber hinaus ist eine reine Betrachtung der Gefährdung, welche von solchen extremen Unwetterereignissen ausgeht, nicht ausreichend. Denn das eigentliche Risiko entsteht – im technisch naturwissenschaftlichen Kontext– erst durch das Zusammentreffen von Gefährdung und Schadenspotenzial (DKKV 2003). Eine effektive Warnung vor Starkniederschlagsereignissen ist somit lediglich durch eine kombinierte Betrachtung beider Risikofaktoren möglich.

Ziel ist es, ein risikobasiertes Frühwarnsystem zu entwickeln, welches auf Grundlage eines gekoppelten Modellsystems, bestehend aus Nowcasting-System, hydronumerischem Modell und GIS-System, die starkregeninduzierten Strömungs- und Überflutungsprozesse vorhersagt und damit schnelle Aussagen zu möglichen Schäden liefert. In Echtzeit können damit jene Siedlungsbereiche identifiziert werden, die im Starkregenfall besonders betroffen sind und Maßnahmen des Katastrophenschutzes erfordern. Durch den systematischen Einsatz frei verfügbarer Geobasisdaten ist dieses risikobasierte Frühwarnsystem überregional und in beliebig strukturierten Gebieten einsetzbar.

Das Frühwarnsystem ist dabei Bestandteil eines ganzheitlichen Starkregenrisiko-Informationssystems, welches neben der Frühwarnung gleichzeitig die Dokumentation vergangener Ereignisse sowie die Erstellung von Starkregengefahren- und -risikokarten ermöglicht. In diesem Beitrag wird das Konzept des risikobasierten Frühwarnsystems sowie erste Ergebnisse am Beispiel der Stadt Aachen und dem Starkniederschlagsereignis am 29. Mai 2018 dargestellt.

Modellkonzept und -aufbau

Das risikobasierte Frühwarnsystem besteht aus einem gekoppelten Modellsystem, welches sich aus den folgenden drei Modellen zusammensetzt:

- Nowcasting-Modell zur raumzeitlich hochaufgelösten Vorhersage kurzfristiger Niederschläge.
- Hydrodynamisch numerisches Modell zur Simulation der niederschlagsbedingten Strömungsund Überflutungsprozesse in beliebig strukturierten Gebieten.
- GIS-Model zur Identifikation überflutungskritischer Bereiche und Ermittlung von Schadenspotenzialen.

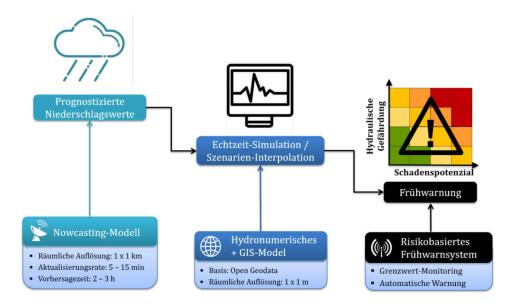


Bild 1: Aufbau und Kernmodule des entwickelten Starkregenrisiko-Informationssystems

Als Modellgrundlage des hydronumerischen Modells werden frei zugängliche, bundesweit verfügbare Geobasisdaten benutzt, wodurch das Modellsystem überregional und in beliebigen urbanen Gebieten einsetzbar ist. Als Eingangsdaten dienen hochaufgelöste Niederschlagsvorhersagedaten mit einer Vorhersagezeit von zwei bis maximal drei Stunden und einer räumlichen Auflösung von 1 x 1 km, z. B. durch den deutschen Wetterdienst (DWD 2014) oder durch den HydroMaster der Firma KISTERS AG (2018). Diese finden im nächsten Prozess Eingang für eine hydrodynamische Überflutungssimulation zur Berechnung der instationären Abflussprozesse, Überflutungstiefen und Fließgeschwindigkeiten. Zur Ermittlung der Überflutungsgefährdung wurden zwei Ansätze entwickelt, welche sich hinsichtlich ihrer Arbeitsweise und ihrem Anwendungsbereich unterscheiden. Zum einen ist dies die Echtzeit-Simulation und zum anderen das Szenario-Interpolationsverfahren, welches auf Grundlage von künstlichen neuronalen Netzen (KNN) arbeitet. Während für die Echtzeitsimulation der Überflutungsprozesse größerer Gebiete sehr hohe Anforderungen an Rechnersysteme, insbesondere GPU gegeben ist, so macht sich das Szenarien-Interpolationsverfahren die Vorteile des maschinellen Lernens zunutze, in dem der Computer auf Grundlage großer Datensätze hydronumerischer Berechnungsergebnisse lernt. Dieser Ansatz hat das Ziel das KNN-Modell anhand einer Vielzahl

synthetisch generierter Starkregenszenarien und korrespondierenden Überflutungssimulationen sowie zusätzlicher Einzugsgebietsinformationen wie Topografie, urbane Infrastruktur etc. zu trainieren, damit es numerische Zusammenhänge zwischen Niederschlagsmustern und Überflutungen erstellt. Im Falle eines vorhergesagten Starkniederschlagsereignisses könnte es dann in einer wesentlich höheren Geschwindigkeit die spezifisch resultierenden Überflutungsausdehnungen, -tiefen und Fließgeschwindigkeiten ermitteln.

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Überflutungssimulationen mit den ermittelten urbanen Schadenspotenzialen überlagert. Die Schadenspotenzialanalysen erfolgen auf Grundlage der vorhandenen Geobasisdaten und mit Hilfe systematischer, halbautomatisierter GIS-Verfahrenstechniken. Nach dem Prozess der automatisierten risikoanalytischen Simulation erfolgt darauf aufbauend die eigentliche Warnmeldung. Diese geschieht auf Grundlage zweier Parameter, den objektspezifischer Risiken sowie numerisch implementierter Abfluss- und Wasserstandsmesser, die bei Überschreitung definierter Schwellenwerte eine Alarmmeldung an die zuständigen Behörden und Feuerwehren geben.

Das Frühwarnsystem arbeitet ausschließlich mit georeferenzierten Daten, wodurch die Überflutungswarnungen mit GPS-Lageinformationen der betroffenen Bereiche bereitgestellt werden. Die Informationen beinhalten dabei genaue Angaben zu prognostizierten Überflutungstiefen, Fließgeschwindigkeiten oder deren Produkt (Impuls) und können in ihrem zeitlichen Verlauf wiedergeben werden. Eine Bereitstellung erfolgt dabei digital und visualisiert in zeitlicher Sequenz auf entsprechenden Endgeräten als auch in Form von einsatzfähigen Kartenwerken. Durch die hochaufgelöste klassifizierte Schadensbetrachtung erhalten die Einsatzkräfte damit einen hochwertigen Lagebericht über das Ausmaß der betroffenen Bereiche, kritische Infrastruktur (Krankenhäuser, Stromversorger), abgeschnittene Rettungswege usw. Diese Informationen bieten die Basis für eine effektive und systematische Katastrophenvorsorge und -bewältigung.

Das Frühwarnsystem ist ein integraler Bestandteil eines Starkregenrisiko-Informationssystems, welches neben dem Frühwarnung-Modul noch aus einem Dokumentationsmodul sowie ein Risikoanalysemodul besteht. Während die georeferenzierte Dokumentation von vergangenen Starkregenereignissen zur Modellvalidierung benutzt wird, so dient das Risikoanalysemodul zur Erstellung von Starkregenrisikokarten sowie zur Analyse von Risikominderungsmaßnahmen. Beide Module fungieren damit als fundamentale Grundlage für das Frühwarnsystem.

Risikoanalysen im Untersuchungsgebiet Aachen

Erste Grundlagen wurden am Anwendungsbeispiel der Stadt Aachen erarbeitet. Das Untersuchungsgebiet umfasste dabei eine Fläche von rund 36 km² des Aachener Stadtraumes, welches neben den Risikoanalysen für umfassende Sensitivitätsanalysen und Benchmark-Tests des hydronumerischen Modells verwendet wurde. Die hydrodynamischen Simulationen erfolgten auf Grundlage der Software XPSWMM der Firma Innovyze (2018). Die Wirkung der Kanalisation wurde dabei zunächst aufgrund nicht zur Verfügung stehender Daten pauschal als prozentualer Abschlag berücksichtigt. Die Abflussmengen bei außergewöhnlichen und extremen Starkregenereignissen sind darüber hinaus so hoch, dass die Entwässerungsleistung einer Kanalisation i.d.R. eine sehr geringe Rolle spielt (DWA 2016; LUBW 2016). Ergebnisse waren Starkregengefahren und -risikokarten des gesamten Untersuchungsgebiets für definierte Starkregenszenarien sowie Detailanalysen von besonders kritischen Überflutungsbereichen.

Die Ermittlung der objektgenauen Risiken erfolgte durch die GIS-basierte Überlagerung der Ergebnisse aus Gefährdungs- und Schadenspotenzialanalyse. Im ersten Schritt wurde zunächst eine qualitative Risikobewertung durch die kombinierte Darstellung der beiden Risikofaktoren vollzogen. Auf Basis von jährlichkeitsabhängigen Risikomatrizen und systematischen SQL-Abfragen wurden im zweiten Schritt das spezifische Risiko, durch Überlagerung von Wasserstand und Schadenspotenzial, für jedes einzelne Objekt automatisiert ermittelt und eine Starkregenrisikokarte erstellt (Bild 2). Im Ergebnis zeigte sich, beispielsweise für das Szenario TN = 100 a (statistisch 100-jährlicher Starkniederschlag nach KOSTRA-DWD), ein hohes Überflutungsrisiko u. a. für lokale Bereiche um den Kaiserplatz, Adalbertstraße, Petersstraße, Wirichsbongardstraße sowie in der Franzstraße.

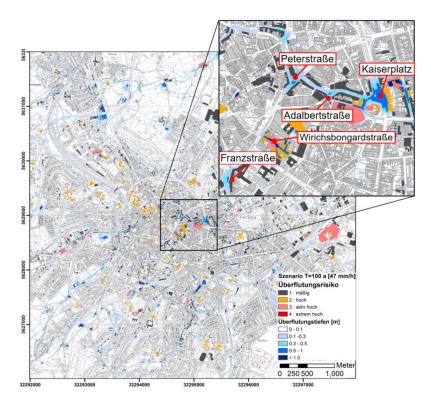


Bild 2: Systematische Starkregenrisikokarte mit objektspezifisch ermittelten Risiken durch Überlagerung der Überflutungsgefährdung mit den Schadenspotenzialen

Modellvalidierung am Starkregenereignis Mai 2018 in Aachen

Die Stadt Aachen wurde im Frühsommer 2018 gleich zweimal (29. April und 29 Mai) von Starkregenereignissen getroffen. Beim Mai-Ereignis konnte die Gewitterzelle mit Hilfe der Kurzeitvorhersagen verfolgt und die Überflutungen an vorhergesagten Hotspots dokumentiert werden. Die Aufnahmen wurden im Nachgang mit Hilfe des Dokumentationsmoduls im Modellsystem gespeichert dienten Ortsund Zeitinformation georeferenziert und mit ihrer Validierungsgrundlage. Auf Basis einer kombinierten Betrachtung von Niederschlagsradardaten und dokumentierten Überflutungen konnte somit erstmalig ein exakter Starkregen-Überflutungsverlauf in Aachen analysiert werden. Die Niederschlagsanalyse zeigte im Anschluss, dass das Mai-Ereignis in seiner raumzeitlichen Dimension, als auch in seiner Intensität, eine sehr hohe Übereinstimmung mit einem bereits im Vorfeld simulierten Starkregenszenario mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren aufwies (Bild 3).

Gemäß der radarbasierten Niederschlagsaufzeichnungen traf die Gewitterzelle die Stadt um 14:25 Uhr und dauerte bis 15:20 Uhr an. Die einstündige Niederschlagssumme (14:25 bis 15:25 Uhr) betrug dabei im Stadtzentrum zwischen 40 und 50 mm (Bild 3 links). Die Folge waren großflächige Überflutungen im Stadtzentrum Aachen mit Wassertiefen von 40 bis 70 cm, wie beispielsweise am Kaiserplatz, Stiftsstraße oder Adalbertstraße (Bild 4 links). Infolge der guten Übereinstimmung hinsichtlich der raumzeitlichen Dimension sowie der Niederschlagsintensität konnte das bereits zuvor simulierte Starkregenszenario ($T_N = 100$ a) mit einer Intensität von 47 mm/h zum Vergleich herangezogen werden (Bild 3 rechts).

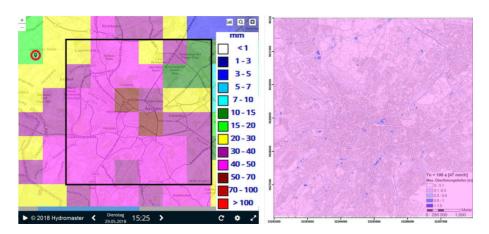


Bild 3: 1h-Niederschlagssumme (14:25 -15:25) am 29.05.18 in Aachen (links); definiertes Starkniederschlagsszenario mit 47 mm/h (räumlich und zeitlich gleichmäßig verteilt) (rechts)

Die gezielte Gegenüberstellung von in situ dokumentierten und simulierten Überflutungen – sowohl für den Maximalwasserstand als auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten – ermöglichte somit eine gute Validierungsgrundlage für das Modell. In den nachfolgenden Punkten werden ausgewählte Ergebnisse anhand der markierten Positionen kurz erläutert (Bild 4):

- A. Die Überflutung der Adalbertstraße wurde vom Modell richtig erfasst. Die numerisch berechnete Wassertiefe betrug hier 30 bis 50 cm. Wie auf dem Foto zu erkennen ist, stehen die Personen knöchel- bis knietief im Wasser.
- B. Die großflächigen Überflutungen am Kaiserplatz wurden ebenfalls sowohl in deren Ausdehnung als auch bzgl. der Wassertiefe modelltechnisch gut abgebildet. Der simulierte Wasserstand betrug hier im Mittel 50 bis 70 cm gemäß Bildaufnahmen und Zeitungsberichten standen Passanten hier knietief im Wasser. Die von der Überflutung betroffenen Gebäude wurden übereinstimmend lokalisiert.
- C. Für die Position an der Stiftsstraße zeigt das Modell Wassertiefen von 15 bis 40 cm. Diese stimmen mit den Aufnahmen überein. Weiterhin zeigt das Modell geringe Fließgeschwindigkeiten (0,5 m/s) zum Kaiserplatz führend an. Auf Grundlage der in situ Aufnahmen sind diese simulierten Fließgeschwindigkeiten realistisch.



Bild 4: Überflutungen an der Adalbertstraße (A), Kaiserplatz (B) sowie der Stiftsstraße (C) am 29.05.2018 (links); Risikokarte mit vergrößerter Sicht auf den Aachener Kaiserplatz (rechts)

Zusammenfassung und Ausblick

Eine effektive Frühwarnung vor Starkniederschlagsereignissen kann nur durch die kombinierte Analyse von Überflutungsgefährdung und Schadenspotenzial der urbanen Infrastruktur erfolgen. Das hier vorgestellte risikobasierte Frühwarnsystem ermöglicht auf Grundlage hydrodynamischer Überflutungssimulationen und gekoppelten Schadenspotenzialmodellen die direkte Berechnung der Auswirkungen vorhergesagter Starkniederschläge. Damit können in Echtzeit jene Bereiche einer Stadt identifiziert werden, die im Starkregenfall besonders betroffen sind und Maßnahmen des Katastrophenschutzes erfordern. Das Frühwarnsystem stellt dabei ein integratives Modul eines ganzheitlichen Starkregenrisiko-Informationssystems dar, welches neben der Frühwarnung die Dokumentation vergangener Starkregenereignissen sowie auch die risikoanalytische Auswertung von potenziellen Ereignissen ermöglicht. Diese Module stellen die Basis für das Frühwarnsystem bereit.

Erste Ergebnisse der Modellvalidierung zeigen eine hohe Übereinstimmung zwischen modellierten und in situ dokumentierten Überflutungen am Beispiel des Mai-Ereignisses 2018 und legen damit die essentiellen Grundlagen des konzipierten Frühwarnsystems.

Die vorgestellten Ansätze zur Ermittlung der Überflutungen im Echtzeitbetrieb des Frühwarnsystems basieren auf unterschiedlichen Grundlagen. Während das Echtzeit-Simulationsverfahren die Daten des Nowcastings direkt hydrodynamisch simuliert, so nutzt das Szenarien-Interpolationsverfahren Möglichkeiten von KNN. Durch das Training des KNN-Modells mit synthetischen Starkregen- und korrespondierenden Überflutungsmustern kann das Modell lernen und ermöglicht im Anwendungsfall deutlich schnellere Ableitungen der Überflutungsgefahren. Geplante Untersuchungen sollen zukünftig Aufschluss über die Möglichkeiten und Grenzen beider Verfahren liefern.

Literatur

AN (2018): Extremes Gewitter wütet über Aachen und Wuppertal. Aachener Nachrichten. In: *Aachener Nachrichten*, 29.05.2018.

BKK (2015): Die unterschätzten Risiken "Starkregen" und "Sturzfluten". BKK; Bundesamt für Bevölkerungs und Katastrophenhilfe. Bonn.

- DKKV (2003): Hochwasservorsorge in Deutschland Lernen aus der Katastrophe im Elbegebiet. Schriftreihe des DKKV 29. Bonn: Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e. V. (DKKV).
- DWA (2016): Merkblatt DWA-M 119. Risikomangement in der kommunalen Überflutungsvorsorge für Entwässerungssysteme. DWA; DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. Hennef.
- DWD (2014): RADVOR Radarbasierte Niederschlagsvorhersage in Kürzestfristzeitraum. Unter Mitarbeit von Tanja Winterrath. Der Deutsche Wetterdienst. Offenbach.
- Innovyze (2018): xpswmm Complete Stormwater, Sewer and Floodplain Model. Online verfügbar unter http://www.innovyze.com/products/xpswmm/.
- KISTERS AG (2018): https://www.hydromaster.com/de/.
- LAWA (2017): LAWA-Strategie für ein effektives Starkregenrisikomangement. LAWA; LAWA-Kleingruppe "Starkregen". Darmstadt.
- LUBW (2016): Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.
- UMK (2016): 86. Umweltministerkonferenz am 17. Juni 2016 in Berlin. UMK 86; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. Berlin.