

Starkregengefahrenkarten und Risikomanagement im Glems-Einzugsgebiet

André ASSMANN, Kathrina FRITSCH und Stefan JÄGER

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“
angenommen.*

1 Einleitung

In den Jahren 2009 und 2010 haben heftige Starkregen im Einzugsgebiet der Glems (nordwestlich von Stuttgart, Baden-Württemberg) Schäden in Millionenhöhe verursacht. Niederschläge mit bis zu 180 mm innerhalb von zwei Stunden führten besonders in den Gemeinden Ditzingen und Gerlingen zu wild abfließenden Oberflächenabfluss, der außerhalb von Fließgewässern ungehindert öffentliche Gebäude, Tiefgaragen und auch private Grundstücke unter Wasser setzte.

Diese extremen Ereignisse veranlassten acht Anliegerkommunen an der Glems gemeinsam zu Handeln und eine Risikomanagement-Strategie für Starkregengefahren zu entwickeln. Ein Teil dieser Strategie beinhaltet die Erstellung von Starkregengefahrenkarten zur Lokalisierung von Risikobereichen. Die durch Starkregen verursachten Gefährdungsbereiche werden mit einem mit *ArcGIS* gekoppelten hydrodynamischen 2D-Modell berechnet und als Überschwemmungsflächen im Rasterformat ausgegeben. Weiterhin soll in einem fortwährend andauernden Prozess ein nachhaltiges Risikomanagement mit allen Kommunen entwickelt werden.

2 Grundlagen

2.1 Das Untersuchungsgebiet an der Glems

Das Einzugsgebiet der Glems befindet sich nordwestlich von Stuttgart und umfasst ca. 195 km² bei einer Fließlänge von 45 km (LANDESHAUPTSTADT STUTTGART – AMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2004). Der Quellbereich des Flusses liegt im Süddeutschen Keuperbergland nahe dem Stuttgarter Stadtgebiet. Weiter Richtung Nordwesten durchdringt die Glems den Übergang zwischen bewaldetem Keuperland und Oberen Muschelkalk und mündet bei Markgröningen im so genannten Landschaftsraum Strohgäu in den Neckar. Dieses Gebiet ist durch eine hügelige Landschaft mit hauptsächlich landwirtschaftlicher Nutzung auf fruchtbaren Lösslehm Böden geprägt und somit besonders anfällig für die erosive Wirkung von Starkregen.

Der räumliche Umfang des Untersuchungsgebiets umfasst einen Bereich über die Einzugsgebietsgrenzen der Glems hinweg und beinhaltet somit eine bearbeitete Fläche von rund 300 km².

2.2 Starkregengefährdung

Durch Starkregeneignisse werden Sturzfluten mit wild abfließendem Oberflächenabfluss ausgelöst, welche laut der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) als „lokales extremes Hochwasser infolge hoher, zeitlich und räumlich eng begrenzter Niederschläge“ bezeichnet werden (DWA 2010). Diese lokalen Hochwasser bergen besonders unterhalb von abflusswirksamen Flächen in ländlichen Räumen mit hoher Reliefenergie, erodiblen Böden und in Übergangsbereichen zur Siedlungsfläche verschiedene Gefahren. Durch das Eindringen von flächig abfließendem Wasser in die bereits hohen Abfluss produzierenden Siedlungsbereiche, kommt es beispielsweise zur Überlastung von Gräben und Kanalnetzen. Diese zusätzlichen Überlastungen führen wiederum zu Überflutungen, Erosionsschäden und Beschädigungen von Straßen, Tiefgaragen, Kellern und Gebäuden.

Neben der durch Bodeneigenschaften, Relief und Nutzung beeinflussten Abflussmenge ist vor allem die durch die natürliche Reliefform oder durch Bauwerke (Verkehrswege, Mauern etc.) bewirkte Konzentration des Oberflächenabflusses für die Schadenswirkung verantwortlich.

2.3 Starkregengefahrenkarten

Um die räumlichen Gefährdungsmuster der Risikobereiche aufzuzeigen wurden beispielhaft für das Gebiet an der Glems Starkregengefahrenkarten entwickelt. Sie zeigen nicht die Vorhersage und Lokalisierung des Auftretens von extremen Niederschlagsereignissen, sondern enthalten als wichtigstes inhaltliches Element die Darstellung der potenziell vom Starkregenabfluss betroffenen Flächen. An der Glems wurden diese Flächen für drei verschiedene Niederschlagsszenarien berechnet und liegen in einem Kartensatz von jeweils 37 Karten für das gesamte Einzugsgebiet vor. Da die Originalkarten (DIN A1) mit den verschiedenen Überschwemmungstiefen nur in farbiger Version kartographisch aufbereitet wurden, ist ein Abdruck hier nicht möglich. In Abbildung 1 sind daher beispielhaft drei Ausschnitte für die simulierten Szenarios in vereinfachter Form und in angepassten Graustufen abgebildet.

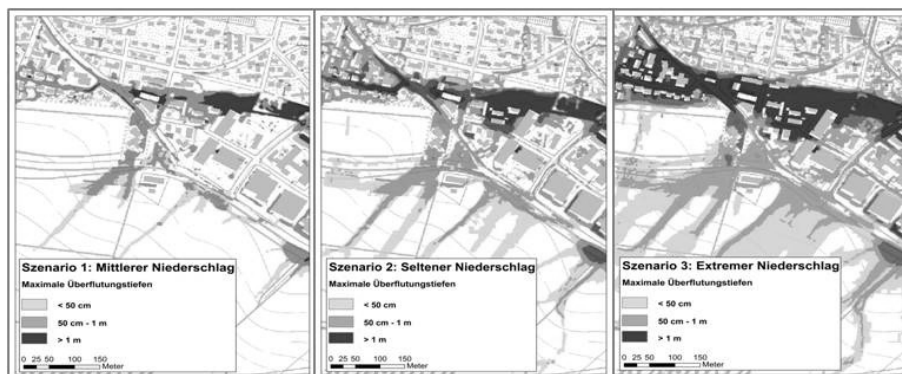


Abb. 1: Ausschnitt aus den Gefahrenkarten mit Überschwemmungstiefen (dunkelgrau gefärbte Flächen) für drei verschiedene Niederschlagsszenarien

Die erstellten Karten dienen nun als Planungsinstrument in der Raumordnung, bei der Bauleitplanung oder zur Krisenbewältigung. Auch für den privaten Nutzer eignen sich die dargestellten Informationen zur Sensibilisierung und Identifizierung von Risikobereichen. Letzteres ist für die Schadensbegrenzung durch Starkregen besonders wichtig, da meist mit kleinen Maßnahmen erhebliche Wirkungen erzielt werden können (ASSMANN 2007).

Im Vergleich zur allgemeinen Abflussmodellierung befindet sich die Berechnung von Starkregengefährdungsflächen speziell noch in ihren Anfängen. Nach STEIN et al. (2010) gibt es bisher noch keine einheitliche Vorgehensweise für die Ausweisung von Starkregengefährdungsgebieten, wie sie beispielsweise für Gefahrenbereiche von Flusseinzugsgebieten existieren. Eine besondere Herausforderung für die Modellierung von Starkregengefährdungsbereichen liegt zum einen in der Datenaufbereitung, beispielsweise bei der Festlegung von Niederschlagsverteilungen für ein gesamtes Einzugsgebiet (siehe Kapitel 3.1). Diese können durch die hohe räumliche und zeitliche Variabilität nicht mit realen Starkregenereignissen und deren Auswirkungen im direkten Vergleich stehen und dennoch sollten die Berechnungen kleinräumige Fließstrukturen möglichst realitätsnah abbilden. Zum anderen gilt es aus den komplexen Modellierungsergebnissen ein vereinfachtes Kartenwerk zu erstellen, das sowohl als Planungsinstrument bei Behörden als auch für den privaten Nutzer schlüssig und anwendbar ist.

2.4 Starkregengefahrenkarten vs. Hochwassergefahrenkarten

Da in Baden-Württemberg aktuell für alle größeren Gewässer (ca. 10 km² Einzugsgebietsgröße) des Landes Hochwassergefahrenkarten erstellt werden ist eine inhaltliche Abgrenzung zwischen Gefahrenkarten für Starkregenereignisse und Gefahrenkarten für Fließgewässer nötig. Die Untergliederung der Abflussprozesses in folgende verschiedene Phasen vereinfacht diese Thematik:

- Flächiger Abfluss (dargestellt in der Starkregengefahrenkarte)
- Abfluss in Tiefenlinien (Starkregengefahrenkarte)
- Abfluss in kleinen Gräben und Bächen (Hochwassergefahrenkarte)
- Gewässerabfluss (Hochwassergefahrenkarte)

Bei Starkregenereignissen dominieren zunächst die flächenhaften Abflussprozesse außerhalb der Fließgewässer bis das Wasser über Tiefenlinien und kleinere Gräben zum Gewässer gelangt. Die dominierenden Einflussfaktoren von der Fläche zum Gerinne ändern sich hier bezüglich der Fließprozesse. Bei den flächigen Fließprozessen sind es vor allem die Rauigkeit (durch Nutzung vorgegeben) und das Relief die steuernden Faktoren, im Gerinne dominiert dann das Querprofil und eventuelle Bauwerke beeinflussen das Fließverhalten.

Abbildung 2 soll diesen Unterschied zwischen flächigen Fließprozessen und Gewässerabfluss schematisch verdeutlichen. Die Starkregengefahrenkarten lösen die „black box“ des einzelnen Teileinzugsgebietes aus der Hydrologie fein auf (in Rasterweite) und können damit auch die internen Strukturen und deren Verteilung abbilden (Abb. 2, rechte Seite).

Damit wird die Ganglinie am Auslass des Einzugsgebietes präzisiert. Vor allem aber werden die Teileinzugsgebiet-internen Fließprozesse detailliert aufgelöst. Dadurch lassen sich unterschiedliche Abflussbereiche differenzieren, z. B. flächenhafter von linienhaftem Abfluss. Im Weiteren werden die Abflusspfade kenntlich, also die Wege, die das Wasser während des Ereignisses potenziell nimmt.

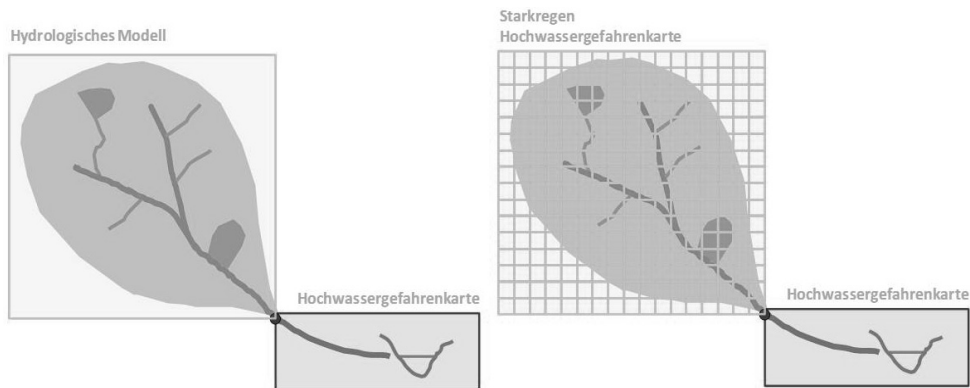


Abb. 2: Unterscheidung der Einsatzbereiche zwischen Starkregengefahrenkarte und Hochwassergefahrenkarte

Die erstellten Starkregengefahrenkarten sollen die Inhalte der Hochwassergefahrenkarten im Bezug auf flächenhaften Abfluss durch Starkregen ergänzen, da sie den Oberflächenabfluss nur bis zum Gerinne darstellen.

Zur Betrachtung der Überflutungsflächen ausgehend von Gewässern und dem Oberflächenabfluss, müssen die Ergebnisse beider Gefahrenkarten kombiniert werden. Diese Vorgehensweise wird bewusst gewählt, um eine Doppelbearbeitung zu vermeiden und die Ursachen der jeweiligen Überflutung inhaltlich zu trennen.

3 Hydrodynamische Modellierung von Starkregengefährdungsbereichen

Zur Darstellung von Überschwemmungsflächen für die Gefahrenkarten werden verschiedene Simulationsszenarien mit einem gekoppelten Niederschlag-Abfluss-Modell unter Einbeziehung eines 2D-Hydraulikansatzes durchgeführt. Dieses Konzept basiert auf der Modellierungssoftware *FloodArea^{HPC}* und einem mit *ArcGIS* gekoppelten Hydrologie-Modul zur Berücksichtigung zeitvariabler Abflussbildung (GEOMER GMBH 2011).

3.1 Datengrundlagen und Aufbereitung

Als wichtige Grundlagendaten werden Bodendaten (BÜK50), Landnutzungsdaten (ALK/ATKIS) und das 1-m-Laserscan-Höhenmodell verwendet. Um potenzielle Fließwege, Leitstrukturen und Fließhindernisse bei der hohen Reliefauflösung genau berücksichtigen zu können, wird das Geländemodell weiter aufbereitet. Dies beinhaltet beispielsweise das Durchbrechen von Strukturen, die nur im digitalen Datensatz ein Hindernis darstellen (z. B. Brücken und Unterführungen) und die Lagekorrektur der Gewässerlinien. Eine zusätzliche Geländekartierung ermöglicht die genauere Erfassung von relevanten Fließhindernissen wie z. B. Mauern, den Verlauf und den Durchmesser von bedeutenden Rohrdurchlässen und Einläufe in das Kanalnetz. Eine weitere wichtige Datengrundlage für das Niederschlag-Abfluss-Modell sind die verwendeten Niederschlagsdaten.

Im Juli 2010 wurden für den Raum Ditzingen gemäß der angeeichten Radar-Daten Niederschlagsmengen von bis zu 180mm in einer Stunde erreicht, Maximalintensitäten für ein einzelnes 5-min-Intervall erreichten bis zu 300 mm/h. Im Vergleich mit den 100-jährlichen Niederschlagsmengen nach KOSTRA, zeigt sich, dass die beobachteten Mengen ein Mehrfaches darüber liegen. Die dazugehörige Jährlichkeit lässt sich nicht mehr vernünftig abschätzen.

Nach Rücksprache mit dem Deutschen Wetterdienst (DWD) liegt die Problematik bereits in der Erfassung dieser Niederschlagsdaten begründet. Wie auch beim Ereignis von 2010 haben entsprechende Niederschlagszellen eine Ausdehnung von wenigen Kilometern und werden entweder gar nicht oder meist nur randlich von den für diese Fragestellung viel zu weit auseinanderliegenden DWD-Messstationen aufgezeichnet. Entsprechend sind diese sehr lokalen Niederschläge in der Statistik nicht korrekt repräsentiert. Um für das Bearbeitungsgebiet repräsentative Szenarien darzustellen, werden folgende Festlegungen zur Verwendung der Niederschlagsdaten getroffen:

- Mittlere Ereignisse (60 mm Niederschlag in einer Stunde)
- Seltene Ereignisse (120 mm Niederschlag in einer Stunde)
- Extreme Ereignisse (240 mm Niederschlag in einer Stunde)

Mit diesen Bezeichnungen wird bewusst auf eine Zuordnung zu Jährlichkeiten verzichtet, sie orientieren sich vielmehr an für das Hochwassermanagement sinnvollen Größenordnungen.

Alle Inputdaten werden nach abgeschlossener Aufbereitung als Rasterdaten in das Modell implementiert und in einer Auflösung von $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ an das vorliegende Laserscan-Höhenmodell angepasst.

3.2 Aufbau der Modellierung und technische Umsetzung

In Abbildung 3 sind die Hauptmodule der Vorgehensweise bei der Modellierung schematisch dargestellt und werden anhand dieses Schemas im Folgenden kurz erläutert. Die zugeführte Wassermenge wird über die Auswertung der Radardaten, KOSTRA-Daten und einen endbetonten Niederschlagsverlauf festgelegt.

Für die Infiltration und den daraus abgeleiteten Abflussbeiwert wird ein datenbankbasiertes Hydrologie-Modul vorgeschaltet. Da die komplexe Modellierung des Infiltrationsprozesses über mehrere Bodenhorizonte aufgrund der Verfügbarkeit der Datengrundlage für großräumige Untersuchungen ausgeschlossen ist, wird dieser Prozess vereinfacht und mit räumlich und zeitlich variierenden Abflussbeiwerten abgeschätzt. Für die veränderte räumliche Ausprägung der Haupteinflussfaktoren Boden, Landnutzung und Relief dient eine dreidimensionale Matrix. Je nach den Eigenschaften wird für jede Rasterzelle nun der entsprechende Wert aus der Matrix abgegriffen. Diese Matrix ist anhand von Literaturwerten aufgebaut und an das Lutz-Verfahren (LUTZ 1984) angelehnt. Beispielhaft sind folgende Werte nach dieser Zuordnung in Tabelle 1 aufgelistet.

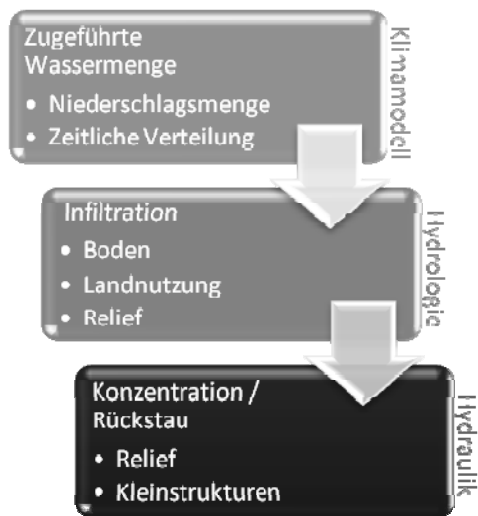


Abb. 3: Abfolge der Hauptmodule bei der Berechnung von Starkregengefährdungen

Tabelle 1: Beispielhafte Zusammenstellung der Abflussbeiwertmatrix nach den drei verschiedenen Einflussfaktoren Landnutzung, Boden und Relief (in Anlehnung an LUTZ 1984)

Landnutzung	Boden	Relief	Abflussbeiwert
Wald	Boden B	10 % Neigung	0,49
Wald	Boden D	10 % Neigung	0,67
Mais	Boden D	5 % Neigung	0,80
Wiese	Boden A	5 % Neigung	0,35

Um die Veränderung der Infiltrationskapazität und somit auch des Oberflächenabflusses während eines Niederschlages nachzubilden, wird der Abflussbeiwert während der Simulation zeitvariabel angepasst. Dies erfolgt durch die Verwendung eines aus Bodeneigenschaften abgeleiteten Infiltrationsverlaufes. Der Verlauf wird in Abhängigkeit von Niederschlagsintensität, Vorfeuchte und hydraulischer Leitfähigkeit für verschiedene Bodenarten mit einem vereinfachten Infiltrationsansatz nach GREEN & AMPT (1911) berechnet. Abbildung 4 zeigt beispielhaft drei differenzierte Abflussbeiwertkurven für die Bodenarten toniger Ton, schluffiger Lehm und stark lehmigen Sand.

Um den Verlauf besser vergleichen zu können sind die Kurven jeweils auf einen Endbeiwert von 1 normiert. In der Modellierung werden daher die zeitabhängigen Anteile jeweils mit den für jede Rasterzelle errechneten Endabflussbeiwert aus der Matrix multipliziert.

Als letztes Modul des Modellaufbaus (Abb. 3) erfolgt nun die hydraulische 2D-Modellierung. Dies ermöglicht die komplexe Erfassung der Hydrodynamik des Oberflächenabflusses

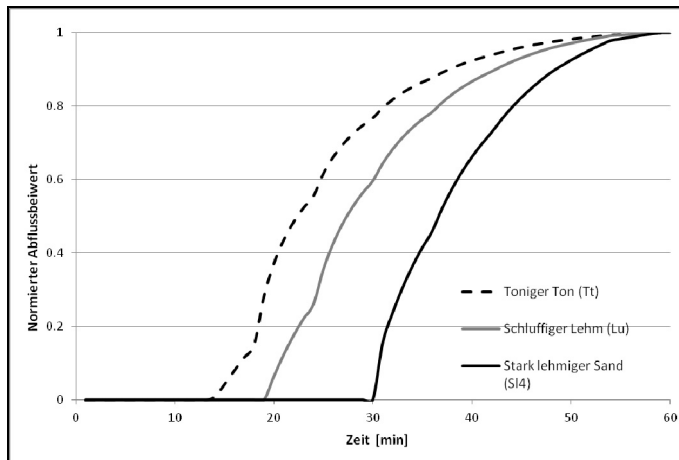


Abb. 4: Differenzierte Abflussbeiwertentwicklung für drei ausgewählte Bodenarten während eines ca. 60 mm Niederschlages mit endbetontem Verlauf

und somit auch die Abbildung von Konzentrationsbereichen sowie Rückstauwirkungen etc. Die Verwendung der Modellierungssoftware *FloodArea^{HPC}* ermöglicht es hierbei mit Computer-Clustern und Parallelprozessierung die Verarbeitung einer sehr hohen Datenmenge in einem gekoppelten flächendetaillierten Modell zu verarbeiten. Dabei erfolgt der Fließübergang zwischen den einzelnen Kacheln vollautomatisch.

Da bei *FloodArea^{HPC}* weder Gebietsgröße noch die Auflösung von der Modellseite limitiert sind, bietet dieses Modell deutliche Vorteile. Gerade Kleinstrukturen wie kleine Mulden bestimmen oft die Eintrittswege in die Gebäude, diese dürfen daher keinesfalls im Rahmen einer Netzgenerierung vereinfacht werden. Durch die hohe Auflösung (1 m × 1 m Raster) wird sichergestellt, dass keine dieser vorliegenden Geländeinformationen verloren gehen.

Schließlich wird das beschriebene Prä- und anschließende Postprocessing mit *ArcGIS* durchgeführt und die Ergebnisdaten in Form von ESRI-Grids ausgegeben.

3.3 Validierung und Ergebnisaufbereitung

Für die Simulation der endgültigen Ergebnistraster mit Überschwemmungstiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden nach der Datenaufbereitung verschiedene Rechenläufe mit jeweils angepassten Grundlagendaten durchgeführt. Die Validierung beinhaltet hierbei folgende Punkte:

- Plausibilitätskontrolle
- Diskussion der Zwischenergebnisse vor Ort um evtl. fehlende Hauptstrukturen zu integrieren
- Vergleich mit dem vorliegenden Hydrologie-Modell (Quervalidierung)
- Vergleich der Modellergebnisse mit den Beobachtungen der vorherigen Ereignisse

Die Berechnungsergebnisse zeichnen sich durch einen hohen räumlichen und zeitlichen Detaillierungsgrad bezüglich der Fließstrukturen aus. In Abbildung 5 sind hierfür beispielsweise die länglichen Pfützen auf einer Obstwiese gut mit den Überschwemmungsflächen aus den Simulationsergebnissen vergleichbar.



Abb. 5: Darstellung kleinräumiger Fließstrukturen (links: Berechnungsergebnis Szenario 2, rechts: nach einem beobachteten Niederschlag)

Auch die nach den stattgefundenen Ereignissen bekannten gefährdeten Bereiche, wie zum Beispiel überflutete Tiefgaragen im Siedlungsbereich stimmen mit den Modellergebnissen gut überein. Jedoch sind bei dem Vergleich mit beobachteten Fließwegen und simulierten Fließstrukturen für manche Bereiche Abweichungen zu erkennen, die auf eine nicht korrekte Verortung (beim Karteneintrag) zurückzuführen sind. Bei der digitalen Verortung von Feuerwehreinsätzen sind keine Lagefehler zu erwarten, allerdings werden die eingegangenen Einsatzmeldung nicht nach der Ursache der Alarmierung unterschieden und enthalten somit beispielsweise auch Windschäden oder gebäudespezifische Ursachen.

Eine automatisierte oder reine 1:1-Validierung der Modellergebnisse ist nicht möglich, da die Simulationsergebnisse niemals exakt die vorherrschenden Randbedingungen während eines Realereignisses abbilden können. Besonders sind hier die immer stark variable und lokal begrenzte Niederschlagsverteilung, die jahreszeitbedingte Abhängigkeit der Oberflächenrauigkeit von der Vegetationsbedeckung und die ständige Veränderung kleinräumiger Fließhindernisse im Siedlungsbereich zu nennen.

In Abstimmung mit den beteiligten Kommunen werden nun die Simulationsergebnisse in unterschiedlichen Kartenentwürfen und mit folgenden Inhalten für die Gefahrenkarte übernommen:

- Bereiche mit breitflächigem Oberflächenabfluss
- Bereiche mit linearem Oberflächenabfluss in unterschiedlichen Tiefenklassen
- Für das Extremereignis auch Bereiche mit hohen Fließgeschwindigkeiten

Der Kartensatz für das gesamte Berechnungsgebiet im Maßstab 1: 5.000 umfasst somit 37 Karten jeweils für die drei verschiedenen Szenarios eines mittleren, seltenen oder extremen Niederschlagsereignisses.

Da die Simulationsergebnisse iterativ für jeden Zeitschritt berechnet und ausgegeben werden, können für einzelne Ausschnitte auch Animationen zur zeitlichen Entwicklung der Überschwemmungsflächen erstellt werden.

4 Anschließendes Risikomanagement

Extreme Hochwasserlagen setzen sich aus so vielen einzelnen Schadenergebnissen zusammen, dass unmöglich allen Betroffenen sofort und umfassend geholfen werden kann. Oft sind die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben sogar selbst betroffen, sei es weil das Ordnungsamt auch unter Wasser steht oder die Feuerwehrleute wegen der überfluteten Straße erst gar nicht in ihren Feuerwehrhäusern einrücken können. Hier bieten die Gefahrenkarten die Chance, grundsätzliche Prioritätensetzungen „im Trockenem“ und ohne den Zeitdruck des Ernstfalls diskutieren und entscheiden zu können, zum Beispiel welche Straßen (für die allgemeine Sicherheit) besonders wichtig und deshalb gegen das Hochwasser zu verteidigen beziehungsweise als erste wieder befahrbar zu machen sind. Oder ob zuerst der Kindergarten oder zuerst das Krankenhaus evakuiert werden muss. Oder ob die Bevölkerung eines bestimmten Wohngebietes horizontal (zum Beispiel in Turnhallen eines anderen Ortes) oder vertikal evakuiert werden und sich in höher gelegene Stockwerke begeben soll.

Die vorliegenden vielfältigen Informationen müssen nun in Kooperation der betroffenen Kommunen mit jeweiligen Fachleuten in Handlungsschritte umgesetzt werden. Dazu sind bereits weitere Arbeitsgrundlagen (Risikoschwerpunkte und Schadenpotenziale) erstellt worden, die für die zukünftigen Planungen erste Hinweise geben. Mit diesen „arbeiten zu lernen“ ist ein wichtiger Teilschritt im Prozess eines nachhaltigen Risikomanagements.

5 Zusammenfassung

Nach den Erfahrungen der Glems-Gemeinden hat die Starkregenengefahr eine ähnliche Bedeutung wie die bei Hochwasser vom Gewässer ausgehenden Gefahren. Die entwickelten Gefahrenkarten für Starkregenereignisse dienen hier als hilfreiches Werkzeug, diese Gefahren- und Risikobereiche zu lokalisieren und priorisieren.

Methodisch ist die Erstellung der Karten mit einer aufwendigen, vorgeschalteten Datenaufbereitung und stetigen Aktualisierung verbunden, diese kann aber für ein 300 km² Arbeitsgebiet im gewünschtem Umfang gut bewältigt werden. Zudem wird für die Ergebnisse ein sehr hoher Detaillierungsgrad für kleinräumige Fließstrukturen erzielt. Die vorgestellte Vorgehensweise ist entsprechend der zur Verfügung stehenden Datengrundlagen auf andere Einzugsgebiete übertragbar und wurde bereits in anderen Gebieten wie beispielsweise im Einzugsgebiet der Lippe angewendet (GEOMER 2009).

Ziel der anschließenden Risikomanagement-Konzeption ist die praktische Nutzung der Gefahrenkarten für Maßnahmenplanungen unterschiedlichster Art und die Kommunikation der Karteninhalte insbesondere unter kommunalpolitischen Aspekten zu fördern. Ein genereller Lösungsansatz besteht darin, das Arbeiten mit Gefahrenkarten gemeinsam mit Nutzern zu üben, damit diese letztlich selbstständig Aufgabenstellungen aus den Karten ableiten, planen und umsetzen können.

Literatur

- ASSMANN, A. (2007), Starkregen-Gefahrenkarten und Schutzkonzepte. Verband Region Rhein-Neckar, 5. Hochwasserschutzforum Rhein-Neckar, 4, 51-57.
- DWA – DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V. (2010), Audit „Hochwasser – wie gut sind wir vorbereitet“. Merkblatt 55. Hennef.
- GEOMER GMBH (2009), Starkregengefährdung und Potential dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen für das Gebiet des Lippe-Verbandes. Projektbericht, Heidelberg.
- GEOMER GMBH (2011), FloodArea und FloodArea^{HPC} – ArcGIS-Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsflächen. Anwenderhandbuch, Heidelberg.
- GREEN, W. H. & AMPT, G. A. (1911), Studies on soil physics: I – The flow of air and water through soils. In: Journal of Agricultural Science, 4, 1-24.
- LANDESHAUPTSTADT STUTTGART – AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2004), Gewässerbericht 2003. Schriftenreihe des Amtes für Umweltschutz, 2, Stuttgart.
- LUTZ, L. (1984), Berechnung von Hochwasserabflüssen unter Anwendung von Gebietskenngrößen. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- STEIN, K., FÖRSTER, K., RIEDEL, G. & FLACHMEIER, K. (2010), Ein integrierter Ansatz zur Identifizierung von Gebieten mit Starkregengefahren in Ostwestfalen. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft, GFA, 3, 130-135.