

Operationelle Überflutungssimulation für Deichbrüche

Katharina Anders, André Assmann und Kathrina Fritsch
geomer GmbH, Heidelberg · kandera@geomer.de

Short paper

Zusammenfassung

Herkömmliche Hochwassergefahrenkarten können die Konsequenzen von Deichversagen nicht hinreichend darstellen, da der Eintritt unzähliger Szenarien möglich ist. Die operationelle Durchführung eines hydraulischen Simulationsmodells – im Gegensatz zu szenarienbasierten Voraussimulationen – stellt eine Alternative dar, angemessen auf die Folgen eines Deichbruchs zu reagieren. Hierbei erfolgt die Überschwemmungsberechnung erst, wenn ein Ereignis unmittelbar bevorsteht bzw. bereits eingetreten ist und damit wesentliche Parameter für die Modellierung bekannt sind. Für eine verlässliche Unterstützung des Hochwassermanagements im Falle von Deichversagen sind jedoch schnelle Modellierungsergebnisse einer gewissen Qualität von entscheidender Bedeutung. Ein wesentlicher Aspekt liegt dabei auch in der Vorbereitung der operationellen Überflutungssimulation für den Einsatzfall. Es hat sich gezeigt, dass die Überschwemmungsmodellierung im Falle eines Deichbruchereignisses durchführbar ist und das Potenzial birgt, das Hochwassermanagement in diesen Situationen maßgeblich zu stärken. Für eine verbesserte Einsatzfähigkeit werden einige Optimierungsmöglichkeiten weitergehend untersucht, um zuverlässig Ergebnisse immer höherer Qualität in einem begrenzten Zeitrahmen und den erschwerten Arbeitsbedingungen des operationellen Einsatzes zu erstellen.

1 Motivation der operationellen Simulation von Überschwemmungen durch Deichbrüche

Die Gefahr eines Deichbruchs stellt im Hinterland von Deichen ein Risiko für das Leben und Wirtschaften von Menschen dar. Zahlreiche Deichbruchereignisse in den letzten Jahren – ein prominentes Beispiel ist der Deichbruch bei Fischbeck im Juni 2013 (s. Abb. 1) – haben das gesellschaftliche Bewusstsein für potenzielles Deichversagen geschärft. Dies ging einher mit einem grundsätzlichen Wandel im Hochwasserschutz-Denken, welches sich zunehmend vom Ziel der Gewährleistung absoluter Sicherheit im Hochwasserschutz abwandte. Der Ansatz im Hochwasserschutz ist nunmehr in erster Linie risikobasiert und in dieser Form in der Hochwasserschutzrichtlinie der EU (2007) verankert, infolge derer im vergangenen Jahrzehnt Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten für sämtliche relevanten Flusseinzugsgebiete in Europa erstellt wurden. Doch sind die Auswirkungen von Deichbrüchen in den vorhandenen Karten nur sehr generalisiert abgedeckt. Herkömmliche Hochwassergefahrenkarten können die Konsequenzen von Deichversagen nicht hinreichend darstellen.



Abb. 1:
Deichbruch an der Elbe
bei Fischbeck
(Quelle: Robert Jüpner
2013)

Da bei der Betrachtung von Deichversagen der Eintritt unzähliger Szenarien möglich ist, muss zur Vorbereitung auf eventuelle Deichbruchereignisse eine Vielzahl an Szenarien vorausberechnet werden, deren Ergebnisse dann im Ereignisfall herangezogen werden. Doch können die dargestellten Szenarien unter Umständen stark von dem jeweiligen Realereignis abweichen und die Konsequenzen gegebener Versagenssituationen sind daraus schwierig abzuschätzen. Jeder Deichbruch weist eine spezifische Überschwemmungsausbreitung und Verteilung von Wassertiefen auf und durch den plötzlichen Eintritt kommt es bei der Überflutung typischerweise zu hohen Fließgeschwindigkeiten. Damit stellt Deichversagen eine hochkritische Situation für betroffene Gebiete dar.

Eine Alternative, angemessen auf die Folgen eines Deichbruchs zu reagieren, stellt die operationelle Durchführung einer hydraulischen Simulation dar. Das bedeutet, die aus einem Deichbruch resultierende Überschwemmung erst dann zu berechnen, wenn ein Ereignis unmittelbar bevorsteht bzw. bereits eingetreten ist und damit die wesentlichen Parameter für die Modellierung bekannt sind. Relevante Parameter sind zum Beispiel die Deichbruchstelle oder der Wasserstand des Hochwasser führenden Flusses, von dem der Deichbruch ausgeht. Dies bedeutet nicht nur, dass die realen Gegebenheiten der ereignis-spezifischen Situation erheblich besser abgeschätzt werden können. Auch können das Vorschreiten und die Ankunftszeit der Überschwemmung in gewissen Bereichen im Einzelnen nachvollzogen werden, während bisherige Karten häufig nur einen auf einer relativ fiktiven Definition basierenden Maximalstand der jeweiligen Überflutungsfläche und -tiefen darstellen. Zudem ist ein wesentlicher Vorteil gegeben durch die Möglichkeit, Interventionsmaßnahmen zu jedem Zeitpunkt der Simulation im Modell zu implementieren und deren Einfluss auf das Fließverhalten und die gesamte Überflutungsentwicklung abzuschätzen.

2 Vorgehensweise bei der operationellen Modellierung

Um das Hochwassermanagement verlässlich zu unterstützen, muss ein klarer Arbeitsablauf mit festgelegten Arbeitsschritten und Ergebnissen definiert sein. Im operationellen Einsatz ist die Reaktionszeit von herausgehobener Bedeutung. Während die meisten Arbeitsschritte bei unterschiedlichen Situationen und Gebieten ungefähr die gleiche Zeit einnehmen, ist die Simulationszeit in einem gewissen Rahmen durch die Parametrisierung steuerbar. Dazu müssen die Rechengeschwindigkeit und die in dieser Zeit erreichbare bestmögliche Qualität gegeneinander abgewägt werden.

2.1 Hydraulische Modellierung der Überschwemmungsbereiche

Als Simulationsmodell wurde das rasterbasierte Modell FloodArea HPC eingesetzt. Die Software zur hydraulischen Überschwemmungsberechnung ist vollständig in ArcGIS integriert. Neben der Benutzeroberfläche (s. Abb. 2) steht auch eine ArcMap-Toolbox zur Verfügung, die dem Anwender die Nutzung im Batchbetrieb ermöglicht. Für die grundsätzliche Funktionsweise und Berechnungsmethodik des FloodArea-Modells soll an dieser Stelle auf das Handbuch verwiesen werden (GEOMER GMBH & RZB GBR 2014). Besonderheit des Modells ist die hohe Rechengeschwindigkeit, die durch die Parallelisierung auf mehrere Rechenkerne noch erheblich erhöht wurde, bei einer gleichzeitig großen Stabilität des Simulationsprozesses.

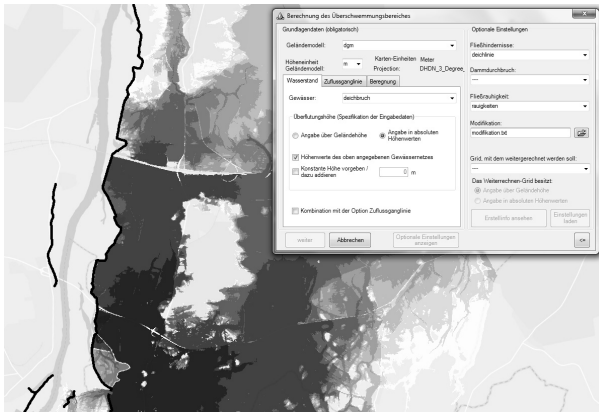


Abb. 2: Ausschnitt aus der FloodArea-Benutzeroberfläche in ArcMap und Darstellung einer berechneten Überschwemmungsfläche nach Flutankunftszeit

Die effektive Geschwindigkeit einer Simulation hängt jedoch von unterschiedlichen internen und externen Parametern ab, welche die Berechnung beeinflussen. Wesentliche Parameter, die hinsichtlich ihres Einflusses, aber auch auf gegenseitige Abhängigkeiten untersucht werden, sind dabei zum einen die Größe des Untersuchungsgebiets, spezifische Gebietseigenschaften, wie Neigung und Strukturierung, und die räumliche Auflösung der Daten, repräsentiert durch die verwendete Zellgröße im Raster. Zum anderen gilt es auch, hardwaregebundene Parameter wie Recherausstattung mit einzubeziehen und vor allem den Einfluss interner Parameter zu analysieren. Dies sind insbesondere die Kachelgröße und der Parameter zur Festlegung des Iterationsintervalls. Die angeführten Parameter nehmen fast alle einen weitgehend linearen Einfluss auf die Rechengeschwindigkeit. Insbesondere vor dem Hintergrund der operationellen Einsetzbarkeit des Modells, wurden umfangreiche Tests durchgeführt, um das Optimum zwischen der benötigten Rechenzeit und der Qualität der Ergebnisse zu erreichen.

2.2 Arbeitsablauf der operationellen Modellierung

Neben der Entwicklung einer geeigneten Methodik für die reine Überschwemmungsberechnung liegt ein bedeutender Schwerpunkt für die Erstellung eines Arbeitsablaufes auf der Frage, in welcher Weise Überflutungssimulationen für den operationellen Einsatz optimal vorbereitet werden können. Dieser Aspekt trat bei der Modellierung zweier Deichbrüche an der Elbe während des Hochwassers im Jahre 2013 hervor. Ein hoher Zeiteinsatz musste

insbesondere für die Beschaffung und Prozessierung von Daten als Eingangsdaten für die hydraulische Modellierung eingeräumt werden. Diese Thematik wird speziell in einem laufenden Projekt im Auftrag des LHW Sachsen-Anhalt zum operationellen Umgang mit Deichbrüchen behandelt.

Für den Ereignisfall ist eine klare Einordnung der Modellierungsarbeitsgruppe in den Krisenstab bedeutsam. Es muss eindeutig kommuniziert werden, was zu welchem Zeitpunkt geliefert werden kann. Hierfür müssen auf der Nutzerseite der Bedarf sowie die benötigten Datenformate möglichst genau definiert sein. In Abbildung 3 ist das Schema eines einfachen Arbeitsablaufes dargestellt. Hier wird auf Basis der verfügbaren Daten eine erste Simulation gestartet, nach Anforderung weiterer Daten und deren Bereitstellung kann dann ein weiterer Berechnungslauf gestartet werden. Eine Verzweigung des Rechenlaufes kann ebenso erfolgen, um Maßnahmenoptionen in ihrer Auswirkung zu testen. In diesem Fall können vorliegende Simulationen verzweigt werden in eine Variante ohne und eine mit den geplanten Maßnahmen. Bis zu dem Zeitpunkt, an dem eine mögliche Maßnahme greift, braucht nur ein Simulationslauf durchgeführt werden.

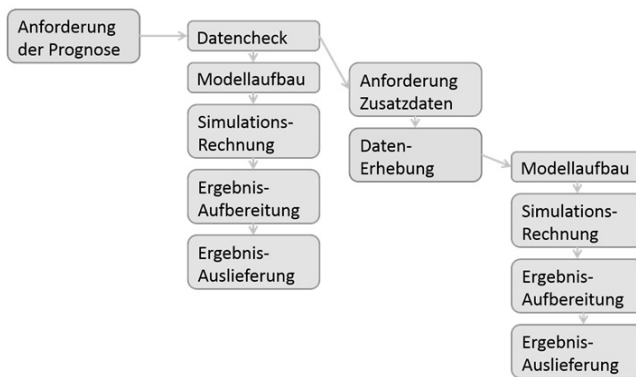


Abb. 3:
Vereinfachtes Schema
eines exemplarischen
Ablaufs der operationel-
len Modellierung

2.3 Vorprozessierung der Eingangsdaten

Insbesondere das Geländemodell und entsprechende Rauigkeitsbeiwerte können dahingehend vorbereitet werden, im Einsatzfall umgehend verfügbar zu sein. Da vor allem die Aufbereitung des Geländemodells großen Einfluss auf die Ergebnisqualität nimmt und weitergehend vergleichsweise komplex ist, sollte dieser Schritt unbedingt im Vorfeld stattfinden.

Die Rasterweite bestimmt neben der Gebietsgröße wesentlich die Rechenzeit für die Simulation. Die Rechenzeiten zwischen Rastern der Zellgröße 1 m und 10 m unterscheiden sich näherungsweise um den Faktor 1.000. Bei einer entsprechenden Aufarbeitung ist die Qualität eines 5-m- bzw. 10-m-Rasters jedoch kaum schlechter als bei der vollen Auflösung. Für die Qualität der Simulationsergebnisse ist ausschlaggebend, hydrologische Strukturen so vollständig wie möglich in die Geländedaten mit größerer Auflösung zu übertragen. Hydrologisch relevante Strukturen bezeichnet zum einen Bauwerke im Gewässernetz und das Gewässernetz selbst und zum anderen Strukturen, die Fließhindernisse darstellen und beispielsweise aus dem Verkehrsnetz (Straße und Schiene) abgeleitet werden können. Nachfolgend ist dargestellt, welche Anforderungen für das Resampling in gröbere Auflösungen

definiert wurden. Die angesprochene Problematik kann in Abbildung 4 nachvollzogen werden.

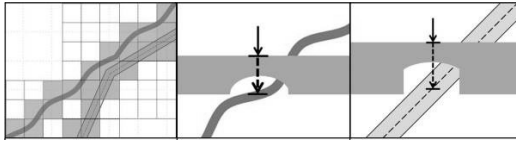


Abb. 3:
Schematische Darstellung der Anforderungen beim Resampling auf eine größere Auflösung

Verkehrs- und Gewässerstrukturen müssen grundsätzlich erhalten bleiben, wobei Verkehrswege als Fließhindernisse vor Gewässerstrukturen priorisiert werden. Dies ist dann relevant, wenn die Entfernung zwischen zwei linearen Elementen kleiner ist als die Rasterweite. Die Durchgängigkeit von Fließhindernissen und Gewässerachsen muss bei der Rasterisierung von linienhaften Elementen gewährleistet sein (s. Abb. 4, links). An Schnittpunkten zwischen Verkehrs- und Gewässerachsen (z. B. Brücken, Verdolungen) sind Verkehrswege zu durchbrechen und die niedrigeren Geländehöhen des Gewässers für den Durchbruchbereich zu übernehmen (s. Abb. 4, Mitte und rechts). Unterführungen an Straßenkreuzungen sind zu identifizieren, um in diesen Bereichen ebenfalls niedrigere Geländehöhen übernehmen zu können.

2.4 Übertragbarkeit auf europäische und globale Ebene

Eine wesentliche Implikation der operationellen Modellierung, die bei Deichbruchereignissen für spezifisch betroffene Gebiete einsetzbar sein soll, ist die Übertragbarkeit der Methodik auf verschiedene geographische Regionen.

Im Kontext der Beschaffung von Eingangsdaten kann die grundsätzliche Verfügbarkeit hoch aufgelöster Geländedaten in Abhängigkeit von der Region problematisch sein. Im Rahmen des EU-Projekts IncREO wurde deshalb in einer europäischen Sichtweise speziell der Einsatz EO-basierter Geländemodelle für operationelle Deichbruchmodellierungen untersucht. Hintergrund dieser Studie war die Frage, ob EO-basierte Höhendaten eine leistungsfähige Möglichkeit der Erhebung von Geländedaten für hydrologische bzw. hydraulische Fragestellungen darstellen können. Aus Stereo-Satellitenaufnahmen wurde exemplarisch ein DHM mit einer Auflösung von 4 m generiert (basierend auf Pléiades-Bildern, generiert und bereitgestellt durch Airbus DS), welches in einem weitgehend automatisierten Workflow zu einem Geländemodell aufbereitet werden konnte zur Verwendung als Grundlage der hydraulischen Modellierung. Aus den gleichen Grundlagendaten können, wenn auch zu höheren Kosten, DGMs mit einer Auflösung von 1 m erstellt werden. Trotz weitgehender Automatisierung beträgt der Zeitraum zwischen Anforderung, Satellitenaufnahme und Abschluss der Prozessierung zumindest wenige Tage. Dies kann dennoch schneller sein, als lokale Daten zu beschaffen und aufzubereiten, setzt aber internationale Kooperation und eine gesicherte Finanzierung voraus. Die ausgelieferten Oberflächenmodelle müssen dann noch entsprechend korrigiert werden. Diese Aufbereitung zu Geländedaten ist in hohem Grade von der jeweiligen Region abhängig und lässt sich bisher nicht vollständig automatisieren. Vielmehr ist die Bearbeitung durch qualifizierte Fachleute erforderlich, gegebenenfalls unter Einbeziehung lokalen Expertenwissens. Die eigentliche hydraulische Modellierung ist davon unabhängig und ohne Probleme weltweit einsetzbar.

2.5 Anforderungsprofil an operationelles Einsatzzentrum

In diesem Abschnitt sind die derzeitigen Anforderungen an ein operationelles Einsatzzentrum unter Abwägung einer zuverlässigen Einsatzfähigkeit und einer Aufwands- und Kostenminimierung formuliert. Demnach müssen aufseiten des verfügbaren Personals kontinuierlich zwei Personen zur Verfügung stehen. Dies erfordert täglich bei zwei Schichten zu je 12 Stunden mindestens vier Personen. Mindestens eine Person sollte zusätzlich verfügbar sein, um Krankheitsfälle und andere Eventualitäten abfangen zu können. Diese Personen sollten natürlich vorrangig der zuständigen Behörde oder Organisation entspringen, können aber aus Firmen und Universitäten verstärkt werden. Grundlegend ist ein regelmäßiges gemeinsames Training. Dabei ist es sinnvoll, wenn die GIS- und Modellanwendung zum Tagesgeschäft gehört, da nur so eine sichere Bedienung unter operationellen Bedingungen sichergestellt ist. Bereits gerechnete Szenarien und Zusatzdaten sollten stets griffbereit sein. Hierzu ist ein intuitiv zu benutzendes Archivierungssystem unumgänglich. Bezüglich der technischen Ausstattung werden vier Simulationssysteme (ArcGIS und FloodArea HPC, 16 Core) vorgeschlagen.

3 Fazit und Ausblick

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die operationelle Überschwemmungsmodellierung im Falle eines Deichbruchereignisses durchführbar ist und das Potenzial birgt, das Hochwassermanagement in diesen Situationen maßgeblich zu unterstützen. Dafür ist jedoch wesentlich, dass die operationelle Modellierung entsprechend vorbereitet und in die Stabsarbeit integriert ist. Zu dieser Vorbereitung gehört neben der technischen Ausstattung mit Rechnern, Software und vorbereiteten Daten vor allem die hinreichende Verfügbarkeit von ausgebildetem und kontinuierlich trainiertem Personal. Das stetige Training birgt den bedeutenden Nebeneffekt, dass im Zuge dessen bereits zahlreiche Szenarien durchgerechnet werden und bei gewissenhafter Aufbereitung jederzeit zur Verfügung stehen. Darüber hinaus lernen die Modellierer schon unabhängig von konkreten Ereignissen spezifische Problemstellen kennen. Diese Erkenntnisse können wiederum im Rahmen der Vorbereitung des Risikomanagements genutzt werden. Für eine verbesserte Einsatzfähigkeit der operationellen Überflutungssimulation werden einige Optimierungsmöglichkeiten weitergehend untersucht, um zuverlässig Ergebnisse immer höherer Qualität in einem begrenzten Zeitrahmen und den erschwerten Arbeitsbedingungen des operationellen Einsatzes zu erstellen.

Literatur

- EU (2007), Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union (L 288), 27-34.
- GEOMER GMBH & RZB GBR (2014), FloodArea^{HPC}-Desktop: ArcGIS-Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen. Anwenderhandbuch, Version 10.2. geomer GmbH, Ruiz Rodriguez + Zeisler + Blank GbR, Heidelberg, Wiesbaden-Bierstadt.