

Das Projekt HiOS – Erstellung einer Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzfluten für bayerische Gemeinden

Karl Broich, Maria Kaiser, Qing Lin, Johannes Mitterer, Hai Nguyen, Thomas Pflugbeil, Fabian von Trentini, Florian Willkofer, Markus Disse, Ralf Ludwig

Zusammenfassung

Das Ziel des Projekts HiOS (Hinweiskarte Oberflächenabfluss und Sturzflut) ist die Entwicklung, Erprobung und Optimierung eines Verfahrens zur Evaluierung und Klassifizierung der Gefährdung der bayerischen Kommunen durch Oberflächenabfluss und Sturzfluten. Mithilfe einer GIS-Anwendung soll die Ausprägung von oberflächenabfluss- und sturzflutbegünstigenden bzw. -auslösenden Faktoren abgefragt, verknüpft und bewertet werden. Diese GIS-Anwendung stellt die Grundlage für eine bayernweite Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut dar. Im Rahmen des Projekts sollen außerdem die Möglichkeiten und Grenzen der hydrologischen und hydrodynamischen Modellierung von Oberflächenabfluss und Sturzfluten untersucht werden. Zu diesem Zweck ist die Nachmodellierung von vergangenen Schadensereignissen unter Einsatz von Hochleistungsrechnern (High Performance Computing) vorgesehen. Dieser Beitrag fasst Ziele und erste Ergebnisse des Projektes zusammen.

1. Das Projekt HiOS

Die durch Starkregen verursachten Hochwasserereignisse der vergangenen Jahre in Deutschland haben teils gravierende Schäden angerichtet. Besonders in Erinnerung blieben aufgrund ihrer Schwere die Ereignisse von Braunsbach und Simbach am Inn. Da die auslösenden Starkregenereignisse kleinräumig und sehr variabel sind, ist eine Vorhersage mit ausreichender Vorwarnzeit beinahe unmöglich. Infolgedessen gewinnt die Vorsorge umso mehr an Bedeutung.

Das Projekt HiOS (**H**inweiskarte **O**berflächenabfluss und **S**turzflut) befasst sich mit der Entwicklung und Umsetzung eines GIS-basierten Verfahrens zur Bewertung und Klassifizierung der Gefährdung bayerischer Kommunen durch Oberflächenabfluss und Sturzfluten. Die Erkenntnisse für das Klassifizierungsverfahren kommen aus der hydrologischen und hydrodynamischen Modellierung von Sturzfluten sowie der geostatistischen Auswertung vergangener Ereignisse. Außerdem werden verschiedene hydrologische und hydrodynamische Modelle anhand ausgewählter Kommunen und deren Einzugsgebiete auf ihre Eignung für die Modellierung von Oberflächenabfluss und Sturzfluten untersucht. Die Erkenntnisse aus den Modellvergleichen fließen anschließend in einen Vorschlag für einen standardisierten Modellierungsablauf ein, der auch auf andere Kommunen angewendet werden könnte.

2. Rechen- und Dateninfrastruktur in HiOS

Im Projekt wurde eine zentrale Datenablage und Ordnerstruktur erarbeitet, die die gemeinsame Nutzung und den Austausch der Daten und Ergebnisse zwischen den Fachgruppen der Hydrologie, Hydrodynamik und Geoinformatik vereinfacht. Der Netzwerkspeicher, als zugrundeliegendes System, stellt die nachhaltige Verfügbarkeit der im Projekt verwendeten meteorologischen, geologischen und hydrologischen Daten sicher. Mit dem Einsatz von virtuellen Maschinen in einer Cloud-Infrastruktur können die einzelnen Modelle in einer isolierten Umgebung betrachtet und analysiert werden. Bei Bedarf lassen sich diese Maschinen vielfältig duplizieren, sodass ausgehend von einem vorkonfigurierten System verschiedene Lösungsan-

sätze getestet werden können. Darüber hinaus erlaubt die Nutzung einer Hochleistungsrecheninfrastruktur, dass Modellierungen ausgeführt werden können, die die Rechenleistung und den Speicherbedarf eines Arbeitsplatzrechners übersteigen. Dies ist der Fall wenn Modelle wie WaSiM und TELEMAC-2D mit der Anzahl der Prozessorkerne skalieren und sich damit eine Reduzierung der Modellierungslaufzeit bemerkbar macht.

3. Benchmark-Tests der hydrodynamischen Modelle

Im Hinblick auf die Simulation von Oberflächenabfluss und Sturzfluten werden vier hydrodynamische Modelle miteinander verglichen (Tabelle 1). Zwei der ausgewählten Modelle werden kommerziell vertrieben (HYDRO_AS-2D und FloodArea), ein Modell ist frei verfügbar (TELEMAC-2D) und ein weiteres Modell wurde von einem Mitarbeiter des Lehrstuhls für Hydrologie und Flussgebietsmanagement der Technischen Universität München entwickelt (P-DWave).

Tab. 1: Für die Benchmark-Tests herangezogene hydrodynamische Modelle mit den jeweils verwendeten Grundgleichungen und Verfahren.

Modell	Entwickler	Grundgleichung	Lösungsverfahren	Zeitschrittverfahren
HYDRO_AS-2D	Firma Hydrotec (Nujic 2016)	Dynamische Welle	Finite Differenzen	Explizit
TELEMAC-2D	Konsortium (Artelia, BAW, EDF, CEREMA, HR Wallingford) (Ata 2017)	Dynamische Welle	Finite Differenzen / Finite Elemente	Implizit
P-DWave	Jorge Leandro (Leandro et al. 2014)	Diffusive Welle	Finite Differenzen	Explizit
FloodArea	Firma geomer (geomer 2017)	Kinematische Welle	Finite Volumen	Explizit

Der Vergleich der Modelle erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt werden vier vordefinierte Benchmark-Tests (BMT) durchgeführt. Diese sind in Hunter et al. (2015) (BMT 1) und Néelz & Pender (2013) (BMT 2 bis 4) beschrieben. Im zweiten Schritt werden die Hochwasserereignisse aus Starkregen von Baiersdorf im Juli 2007 und von Simbach am Inn im Mai/Juni 2016 mit den vier Modellen simuliert. Im Folgenden werden die Ergebnisse der BMT vorgestellt, die mit den jeweiligen Modellentwicklern abgestimmt wurden.

3.1 Benchmark-Test 1 (Dambruch)

Der erste BMT bildet die eindimensionale Ausbreitung einer generalisierten Dambruchwelle auf einer 5.000 m langen ebenen Fläche ab. Die Modellauflösung beträgt 25 m. Als Randbedingung wird am linken Rand ein Wasserstand vorgegeben. Die Rauigkeit nach Manning beträgt überall $0,01 \text{ s/m}^{1/3}$. Die Besonderheit dieses BMT ist, dass die Modellergebnisse mit einer analytischen Lösung verglichen werden können, welche unter der Annahme einer lokalen Fließgeschwindigkeit von 1 m/s berechnet werden kann (Hunter et al. 2005). In Abbildung 1 sind die Ergebnisse für den BMT 1 nach einer Stunde dargestellt.

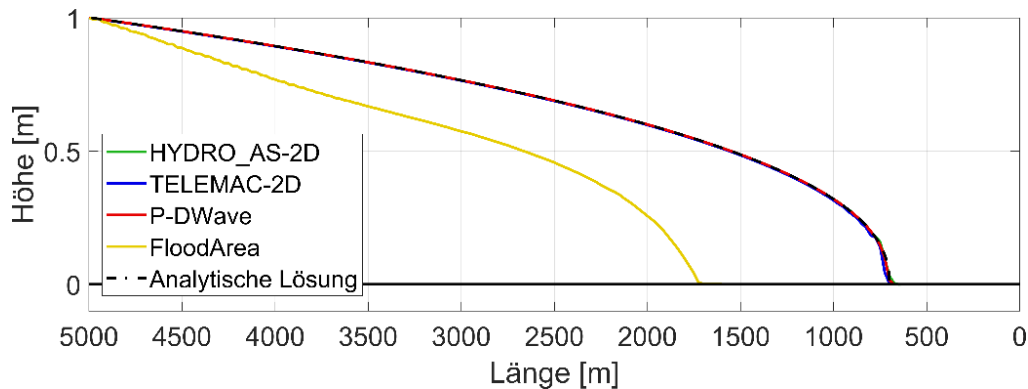


Abb. 1: Eindimensionale Ausbreitung einer Dammbrechwelle auf einer 5.000 m langen ebenen Fläche (Benchmark-Test 1). Dargestellt ist der simulierte Wasserstand nach 3.600 s.

Die Modelle HYDRO_AS-2D, TELEMAC-2D und P-DWave erreichen die analytische Lösung. FloodArea hingegen zeigt eine zu geringe Wellenausbreitung. Dies liegt zum einen daran, dass in FloodArea keine Anfangsgeschwindigkeit eingestellt werden kann. Zum anderen verwendet das Modell eine vereinfachte Form der Flachwassergleichung.

3.2 Benchmark-Test 2 (See)

Der zweite BMT untersucht das Füllen und Absenken zweier nicht verbundener Wasserkörper (Abbildung 2). Die Modellauflösung beträgt 10 m. Als Randbedingung wird ein Wasserstand von 9,7 m am linken Rand vorgegeben. Innerhalb von elf Stunden wird dieser Wasserstand auf 10,35 m angehoben und anschließend wieder auf 9,7 m abgesenkt. Die Schwelle zwischen den beiden Wasserkörpern liegt auf 10,25 m Höhe. Die Simulationsergebnisse in Abbildung 3 werden für die zwei Pegel aus Abbildung 2 dargestellt.

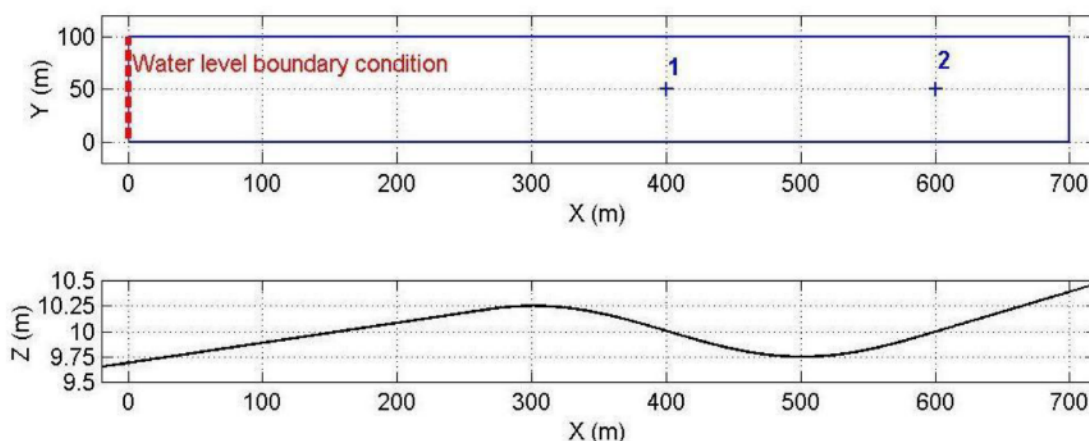


Abb. 2: Zwei nicht verbundene Wasserkörper (Querschnitt, unten) und die Lage zweier Pegel in der Senke (Draufsicht, oben) des Benchmark-Tests 2 (Néelz & Pender 2013).

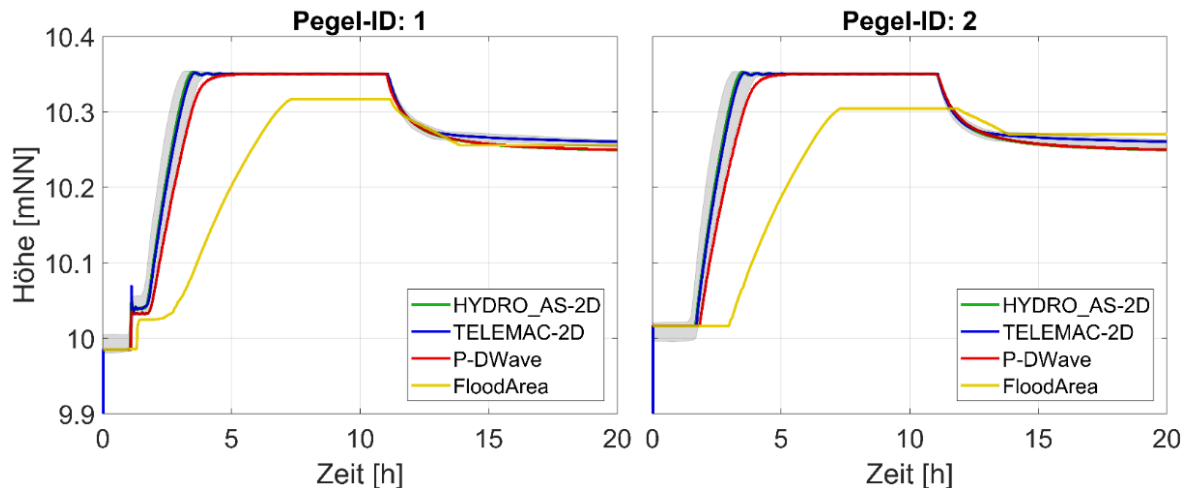


Abb. 3: Füllen und Absenken zweier nicht verbundener Wasserkörper (Benchmark-Test 2). Simulierte Wasserstände an zwei Pegelpunkten. Die grauen Bänder stellen die Modellergebnisse aus Néelz & Pender (2013) dar.

HYDRO_AS-2D und TELEMAC-2D bilden den Verlauf des An- und Abstiegs des Wasserstandes ähnlich wie die Modelle aus Néelz & Pender (2013) ab. P-DWave zeigt einen langsameren Anstieg, liegt aber noch nahe bei den anderen Modellen. FloodArea hingegen weicht stark von den anderen Modellen ab. Bei FloodArea erfolgt der Anstieg auf den Maximalwasserstand im See erst vier Stunden später und erreicht auch nicht die 10,35 m. Der Unterschied in den Maximalwasserständen bei FloodArea liegt daran, dass sehr geringe Wasserstandsdifferenzen ($\Delta W \approx 0,1 \text{ mm/m}$) modelltechnisch nicht mehr ausgeglichen werden. Der zu geringe Wasserspiegelanstieg im See lässt sich durch die vereinfachte Grundgleichung im Modell erklären. Nach einer Simulationszeit von 20 h erreichen nur HYDRO_AS-2D und P-DWave den exakten Endwasserstand von 10,25 m.

3.3 Benchmark-Test 3 (Senken)

Der dritte BMT bildet ein 2 x 2 km großes Gebiet mit 16 Senken ab (Abbildung 4). Die Modellauflösung beträgt 2 m. Das Gelände weist ein Gefälle von 1:1.500 in Nord-Süd-Richtung und ein Gefälle von 1:3.000 in West-Ost-Richtung auf. Die 16 Senken sind jeweils ca. 0,5 m tief und werden durch eine Cosinuswelle beschrieben. Als Randbedingung wird in der oberen linken Ecke ein Zufluss von $20 \text{ m}^3/\text{s}$ über den Zeitraum von ca. 85 min vorgegeben. Über die Simulationszeit werden Pegel an den tiefsten Stellen der Senken betrachtet. Die Modellierungsergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

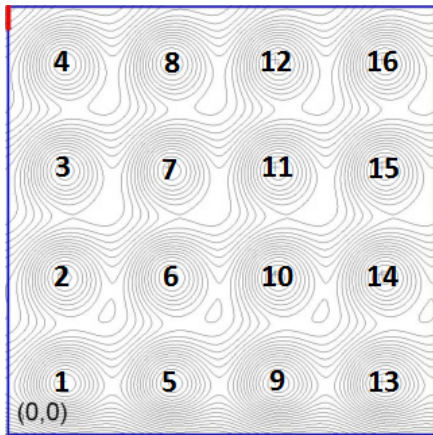


Abb. 4: Draufsicht auf ein Gebiet mit 16 Senken für den Benchmark-Test 3 (Néelz & Pender 2013).

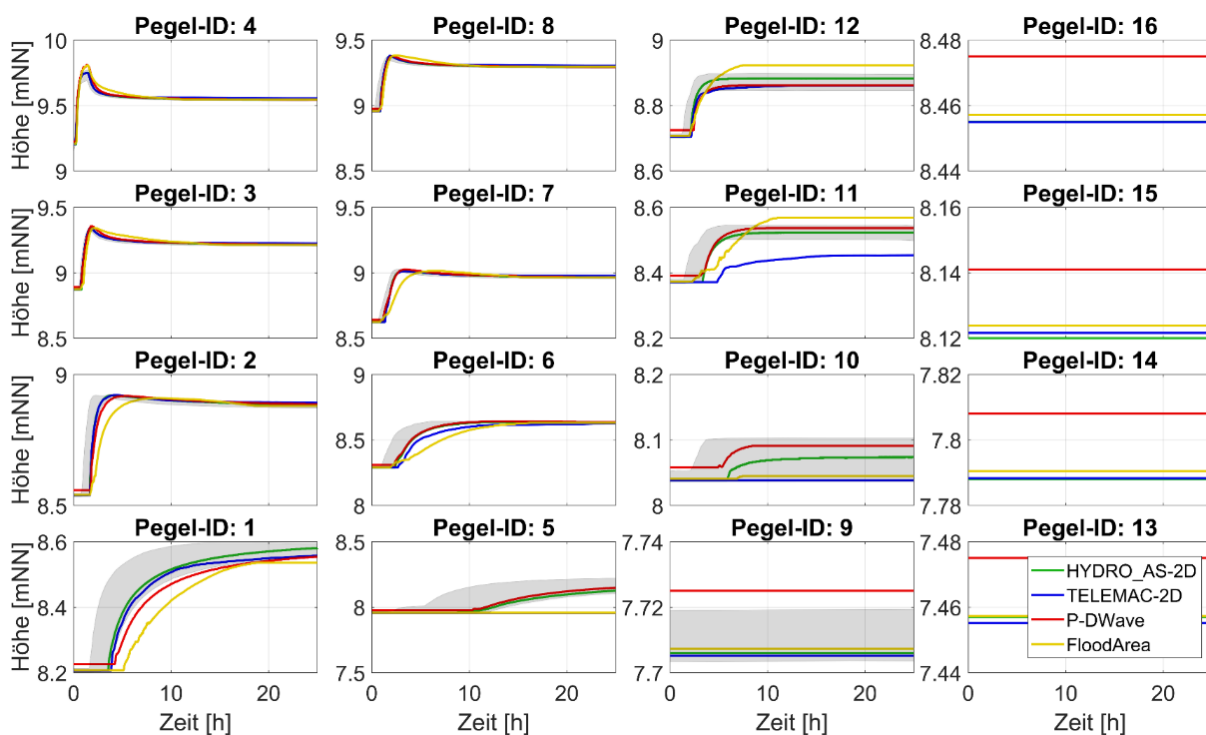


Abb. 5: Simulierte Wasserstände in den 16 Senken des Benchmark-Tests 3. Die grauen Bänder stellen die Modellergebnisse aus Néelz & Pender (2013) dar.

Die nahe dem Zufluss bei Senke 4 liegenden Pegel werden von allen Modellen ähnlich befüllt. Allein FloodArea zeigt einige Abweichungen. Die weiter weg liegenden Pegel zeigen deutlich größere Unterschiede in den simulierten Wasserständen. So befüllen TELEMAC-2D und FloodArea Senke 5 und 10 nicht. TELEMAC-2D zeigt bei Pegel 11 Abweichungen von den anderen Modellen. FloodArea befüllt die Senken generell später als die anderen Modelle. Auch die Modelle aus Néelz & Pender (2013) zeigen bei größeren Entfernungen von der Zugabestelle größere Bandbreiten an modellierten Wasserspiegellagen. Generell liegen die Abweichungen bei ca. 0,05 – 0,1 m.

3.4 Benchmark-Test 4 (Urbanes Gebiet)

Der letzte BMT untersucht ein reales Gebiet mit einer Größe von ca. 0,4 km² (Abbildung 6). Die Modellauflösung beträgt 2 m. Die Straßen und das Gelände werden mit unterschiedlichen Rauigkeiten belegt. Als Randbedingungen wird zuerst ein Niederschlagsereignis von 20 mm innerhalb von 3 min und danach ein Zufluss in der oberen rechten Ecke ($Q_{\max} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$) festgelegt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 7 dargestellt.

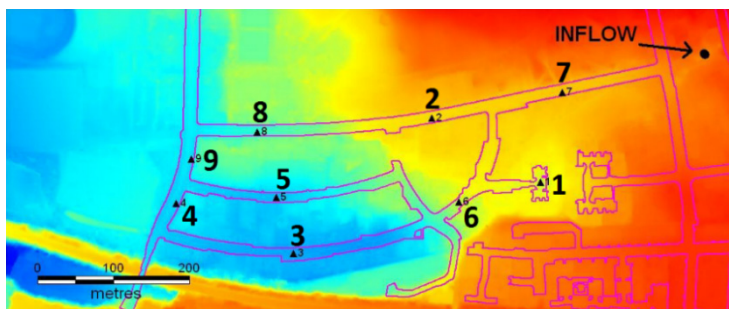


Abb. 6: Simulation eines Niederschlagsereignisses über einem urbanen Gebiet mit 9 Pegeln in Benchmark-Test 4 (Néelz & Pender 2013).

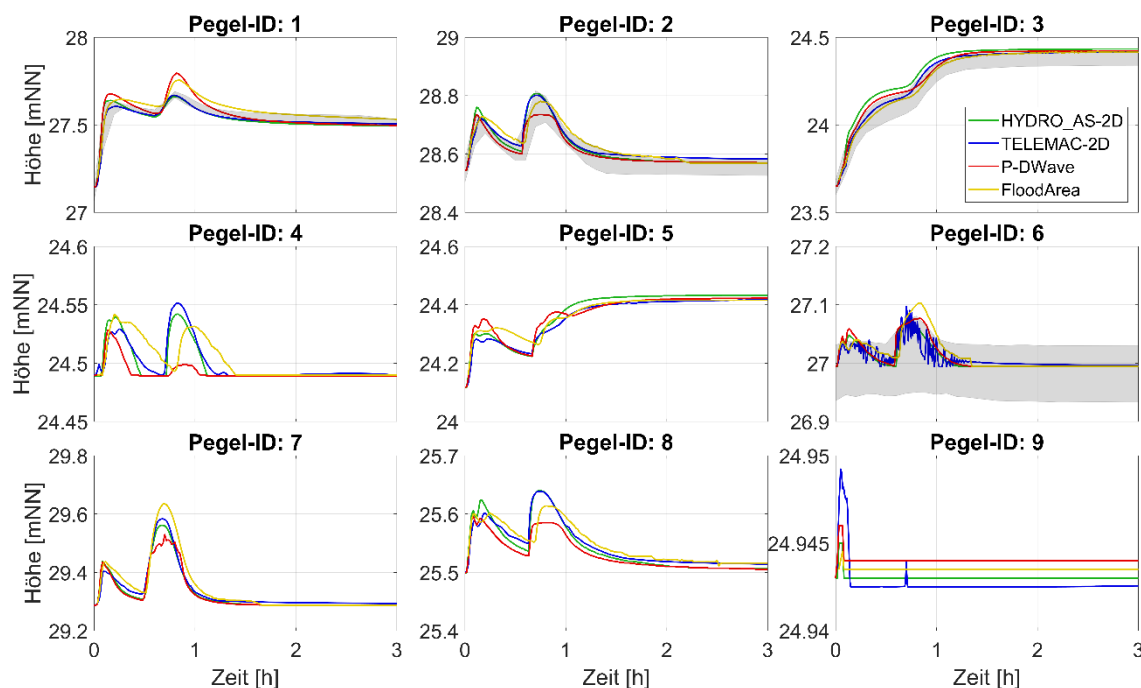


Abb. 7: Simulierte Wasserstände an den 9 Pegel des Benchmark-Tests 4. Die grauen Bänder stellen die Modellergebnisse aus Néelz & Pender (2013) dar.

Die erste Abflussspitze stellt die Wirkung des Niederschlags und die zweite Abflussspitze die Wirkung des Zuflusses dar. Alle vier Modelle können diese beiden Abflussspitzen wiedergeben, jedoch über- bzw. unterschätzen FloodArea und P-DWave vor allem die Zuflussspitze im Vergleich mit den anderen beiden Modellen und jenen aus Néelz & Pender (2013). Die Differenzen sind jedoch meist kleiner als 0,05 m. TELEMAC-2D weist aufgrund seines Nass-Tro-

cken-Algorithmus bei Pegel 6 Oszillationen auf. Generell können alle Modelle das Abflussverhalten wiedergeben, auch FloodArea, welches bei den Benchmarktests 1 bis 3 noch größere Abweichungen zu den anderen Modellen gezeigt hat.

4. Hydrologische Modellierung in HiOS

Die hydrologische Modellierung umfasst in HiOS mehrere Fragestellungen, die mit den im deutschsprachigen Raum weitverbreiteten Modellen LARSIM und WaSiM beantwortet werden sollen. Beide Modelle sind deterministische, rasterbasierte und damit flächenverteilte Wasserbilanzmodelle mit zumindest teilweise konzeptionellen Modulen.

Zu Beginn ist zu klären, welche Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Abbildung von Hochwasserereignissen infolge von Starkregen erfüllt sein müssen. Dazu gehören eine adäquate Wahl der räumlichen und zeitlichen Skalenebenen, sowie eine realitätsnahe Berechnung der maßgebenden Abflussprozesse (Kapitel 4.1). Beide Modelle erfordern eine multidimensionale Kalibrierung der hydrologischen Prozesse. Damit eine stabile Berechnung auch bei kleinen Einzugsgebieten ohne Pegelmessungen erfolgen kann, ist die bisherige Kalibrierungsstrategie unter den Rahmenbedingungen von Oberflächenabfluss- und Sturzflutereignissen zu prüfen und gegebenenfalls anzupassen (Kapitel 4.2). Abschließend sind für Bemessungsverfahren maßgebende meteorologische und hydrologische Szenarien zu definieren, durch die Zufluss-Ganglinien für eine Risikoabschätzung mittels hydrodynamischer Modellierung erstellt werden können (Kapitel 4.3).

4.1 Skalenstudie und Modultests

Die räumliche und zeitliche Auflösung spielt bei der Modellierung von Sturzfluten und Oberflächenabfluss eine wichtige Rolle, da die auslösenden Starkniederschläge wenige Minuten bis Stunden dauern und lokal stark begrenzt sind, so dass eine schnelle und intensive Abflussreaktion aus dem Einzugsgebiet erfolgt. Mit zunehmender Komplexität der Modelle durch verfeinerte Raster und kleinere Zeitschritte erhöht sich jedoch auch der Datenbedarf. Dadurch steigt bei Extremereignissen, potentiell die resultierende Unsicherheit trotz verbesserter räumlicher und zeitlicher Abbildung. In HiOS wird der Einfluss verschiedener Auflösungskombinationen auf die Modellgüte sowohl auf die Wasserbilanz, als auch auf das Extremereignis untersucht. In einer Vorabstudie wurden Skaleneffekte für das Einzugsgebiet der Wertach (östlich von Kempten) bis zum Pegel Wertach (31,5 km²) und dem hydrologischen Modell WaSiM untersucht (Rosenauer 2017). Die hydrologischen Hauptwerte für diesen Pegel zeigen, dass das hier untersuchte Ereignis vom 20.07.2007 mit 68,8 m³/s den angegebenen HQ100 von 60 m³/s übertrifft. Das Modell wurde in einer Auflösung von 25 m und 3 Stunden für das hydrologische Jahr 2007 anhand der Nash und Sutcliffe Effizienz (Nash & Sutcliffe 1970; NSE) und der modifizierten Kling-Gupta Effizienz (Kling et al. 2012, KGE') kalibriert und validiert. Der hierbei gewonnene Parametersatz wurde anschließend auf weitere Auflösungskombinationen (50 m, 100 m, 1 h, 3 h) angewandt und der Einfluss auf die Gütekriterien untersucht. Zudem wurden diese Parameter verwendet, um ein stattgefundenes Hochwasserereignis im Einzugsgebiet nach zu modellieren. Hierbei zeigte sich, dass in WaSiM einige Parameterwerte aus der Modellkalibrierung für den Gesamtzeitraum, wie beispielsweise die Speicherkonstante für den Direktabfluss, für die Konzentration des Oberflächenabflusses angepasst werden müssen.

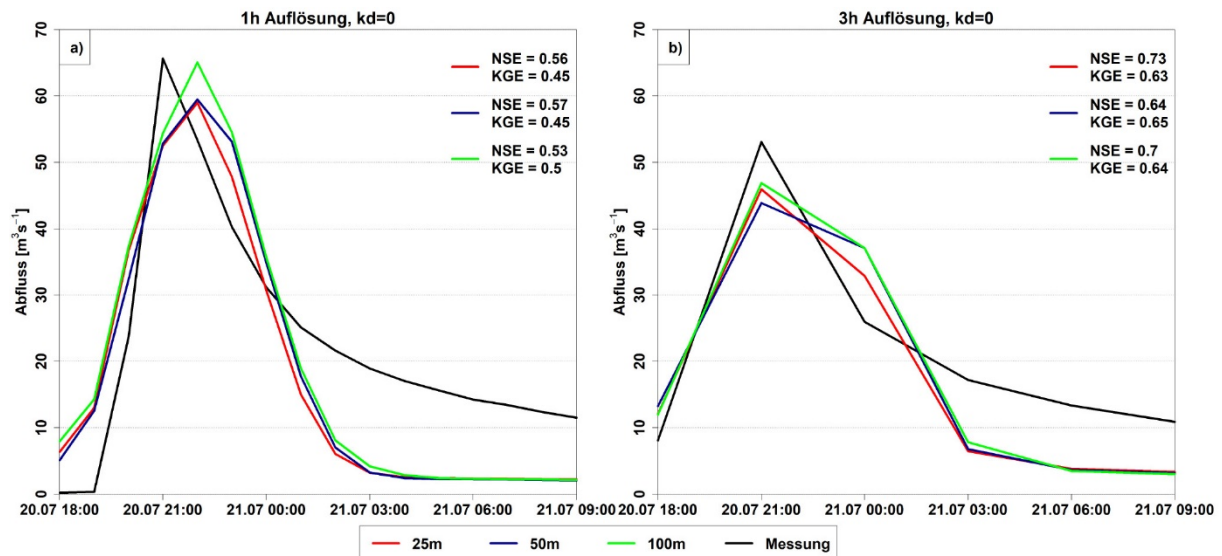


Abb. 8: Modellierung des Ereignisses vom 20.07.2007 im Einzugsgebiet der Wertach in verschiedenen räumlichen und zeitlichen Auflösungen (nach Rosenauer 2017).

Sowohl für die Wasserbilanz als auch für das Extremereignis wurde weiterhin festgestellt, dass die zeitliche Auflösung einen größeren Einfluss auf die Güte der Modellierung hat, als die räumliche (Tabelle 2).

Tab. 2: Güte der Wasserbilanz- und Ereignismodellierung mit WaSiM (nach Rosenauer 2017).

	Wasserbilanz				Sturzflutereignis			
	NSE		KGE'		NSE		KGE'	
	1 h	3 h	1 h	3 h	1 h	3 h	1 h	3 h
25 m	0.75	0.74	0.78	0.75	0.56	0.73	0.45	0.63
50 m	0.74	0.73	0.80	0.77	0.57	0.64	0.45	0.65
100 m	0.74	0.74	0.81	0.78	0.53	0.70	0.50	0.64

Im weiteren Verlauf des Projekts werden diese Skaleneffekte für zusätzliche Einzugsgebiete mit den Modellen WaSiM und LARSIM untersucht.

Die Evaluation der Modellkomponenten der Modelle LARSIM und WaSiM erfolgt naturgemäß angepasst an die verfügbaren Berechnungsmodule. Generell werden bei beiden die Module Abflussbildung, Abflusskonzentration und Gerinne-Abfluss untersucht. In LARSIM wird der Bodenspeicher und damit die Abflussbildung mit dem Xinanjiang-Modell vorgestellt von Zhao (1977) und Zhao et al. (1980) und modifiziert nach Dümenil & Todini (1992) und DKRZ (1994) abgebildet. Die Abflusskonzentration folgt dann innerhalb der Rasterzellen nach dem modifizierten Clark-Verfahren (Isochronenmodell und Einzellinearspeicher). Im Anschluss werden sämtliche Abflusskomponenten in jeder Rasterzelle ins Gerinne übergeben. Wellenverformungen und Abflussverhalten können dann mit dem Translations-Retentions-Verfahren, dem Verfahren nach Williams (1969) und nach Kalinin-Miljukov berechnet werden. In WaSiM werden sowohl das Verschlammungsmodul (siltin-up) und das Modul der Abflusskonzentration des Oberflächenabflusses (surface-routing) getestet. Das Verschlammungsmodul steuert dabei die Infiltration des Wassers in den Boden durch eine exponentielle Reduktionsgleichung.

Durch dieses Modul soll eine Berechnung der Infiltrationsrate in Abhängigkeit des Bodenzustands ermöglicht werden. Das Modul zur Simulation des Oberflächenabflusses wird für kleinkalige Anwendungen empfohlen. Der Oberflächenabfluss folgt dabei den Fließpfaden, bis ein vorab definiertes Flusspixel erreicht wird. Dadurch erhält WaSiM neben dem Grundwassermodul eine weitere laterale Komponente und eine realistischere Abflusskonzentration.

4.2 Kalibrierungsstrategien

Die Kalibrierung der beiden hydrologischen Modelle zur Anwendung auf Oberflächenabfluss- und Sturzflutereignisse stellt eine der großen Herausforderungen im Projekt dar, da die Modelle bisher lediglich zur Hochwassermodellierung auf deutlich größerer zeitlicher und räumlicher Skala verwendet wurden. Zum einen ist nicht klar, ob und in welcher Güte die Modelle jeweils in der Lage sind, die entscheidenden Prozesse einer Sturzflut abzubilden. Zum anderen lässt die oft spärliche Datenlage unter Umständen keine solide Kalibrierung auf Sturzfluten zu, so dass hier neue Wege gegangen werden müssen. Die Datenlage gestaltet sich insofern schwierig, da viele der zu untersuchenden Einzugsgebiete keinen eigenen Abflusspegel vorweisen und der nächste stromabwärts gelegene oft weit entfernt ist. Auch Niederschlags- und Bodenfeuchtemessungen liegen in der Regel nur unzureichend vor. In einigen Einzugsgebieten ist zudem eventuell gar keine Sturzflut in den Daten registriert worden – entweder da kein Ereignis stattgefunden hat oder da es nicht von den Messinstrumenten erfasst wurde. Die Strategie zur Kalibrierung von Sturzflutereignissen in HiOS baut daher auf zwei Bausteinen auf: Erstens werden mit Hilfe von RADOLAN Daten und Abflusspegeldaten Einzugsgebiete identifiziert, in denen eine Kombination aus Starkregen- und korrespondierendem Sturzflutereignis aufgezeichnet wurden. Hier werden dann Modelle erstellt, die zunächst auf den Wasserhaushalt hin kalibriert werden. In einem zweiten Schritt werden dann ereignisbasierte Parametrisierungen der Modelle kalibriert, um daraus Transformationsregeln für die Parametrisierung abzuleiten, die anschließend regionalisiert auch auf weitere Einzugsgebiete angewandt werden sollen, die aufgrund fehlender Daten lediglich auf Wasserbilanz kalibriert werden können.

4.3 Szenarien

Um eine Risikoabschätzung im gesamtbayerischen Raum zu ermöglichen, sind Rahmenbedingungen zur Simulation der Abflussganglinien bei Bemessungsaufgaben zu definieren. Dabei werden in HiOS die für Oberflächenabfluss und Sturzfluten maßgebenden Elemente berücksichtigt: Niederschlag und Bodenfeuchte. Die Wahl der Szenarien verfolgt drei unterschiedliche Ziele.

Zum einen werden, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, erfasste historische RADAR-YW-Datensätze von Starkregenereignissen betrachtet, um Informationen zu den hydrologischen Prozessen zu gewinnen. Zweitens werden als Grundlage der Risiko-Bewertung alle Dauerstufen der 100-jährlichen Niederschläge des KOSTRA-Atlas 2010R des Deutschen Wetterdienstes, sowie deren 1000-jährliche Extrapolation nach PEN (Verworn & Kummer 2003) herangezogen und räumlich interpoliert. Weiterhin werden zur perspektivischen Entwicklung einer Vorwarnung die gleichverteilten Starkregen-Warnstufen 3 und 4 des DWD für die Dauern von einer

und sechs Stunden betrachtet. Sämtliche genannte, räumlich definierte Summen werden anschließend auf vier zeitliche Verteilungen übertragen: anfangs-, mitten- und endbetonte Intensitätsverläufe, sowie nach DVWK.

Da für die Bodenfeuchte keine flächenverteilten verlässlichen Messwerte vorliegen, werden zwei Ansätze parallel verfolgt. Zum einen wird unabhängig der Landnutzung und der Bodeneigenschaften eine Gleichverteilung für trockene, feuchte und nasse Böden angenommen. Diese wird zusammen mit Experten der Land- und Forstwirtschaft näher spezifiziert. Um auch eine flächenverteilte Betrachtung zu ermöglichen, dienen Simulationen des Projektes ClimEx als Input. Dabei wurde mit WaSiM unter anderem der bayerische Bodenwasserhaushalt flächenverteilt zwischen 1980 und 2014 simuliert. Dieser Datensatz wird in HiOS geostatistisch ausgewertet und die 5%-, 50%- und 95%-Quantile als repräsentativer Zustand für trockene, feuchte und nasse Vorfeuchtebedingungen interpretiert.

In Kombination von Niederschlag und Vorfeuchte ergeben sich damit mehrere hundert Ganglinien je Einzugsgebiet, die als Ensemble ausgewertet werden. Die Ganglinien des höchsten und niedrigsten Scheitels, sowie des größten und kleinsten Abflussvolumens werden als Zufluss-Ganglinien an die hydrodynamische Modellierung übergeben, um die Bandbreite möglicher Überflutungen abzubilden.

5. Umfragen unter bayerischen Kommunen und Wasserwirtschaftsämtern

Die Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut soll die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung, sowie die Kommunen und Bürger bei der Umsetzung von lokalen Präventionsmaßnahmen unterstützen und als Grundlage für detailliertere Untersuchungen dienen. Damit die Hinweiskarte den Anforderungen von Experten wie auch Fachfremden gerecht wird, wurden Online-Umfragen unter den zu erwartenden Hauptnutzerguppen – der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung und den bayerischen Kommunen – durchgeführt. Nachfolgende Ausführungen stellen einen Auszug aus dem Projektbericht über die Umfrageergebnisse von Kaiser et al. (2018) dar.

Von 400 zufällig ausgewählten Kommunen haben 100 an der Umfrage teilgenommen (Abbildung 9). Die durchschnittliche Rückmeldequote war in Mittelfranken, Oberbayern und Niederbayern mit über 30 % am höchsten. Mehrheitlich haben Bürgermeister kleiner Gemeinden (< 5.000 Einwohner) teilgenommen. Von den Wasserwirtschaftsämtern (WWA) sind insgesamt 71 Rückmeldungen eingegangen, wobei sich Abteilungs- und Sachgebietsleiter am häufigsten beteiligt haben.

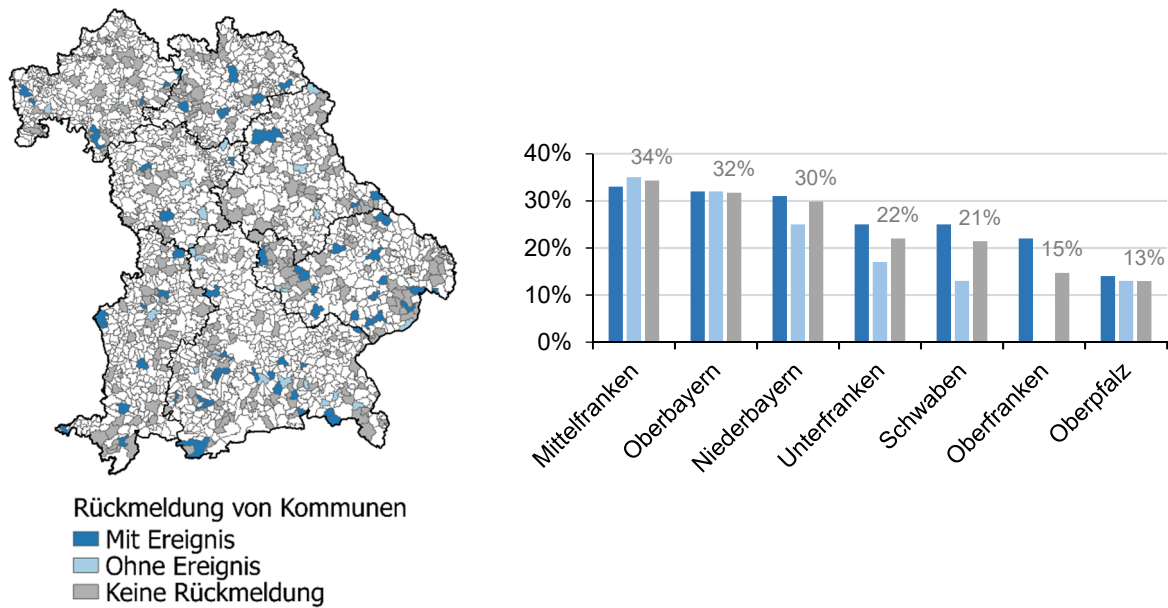


Abb. 9: Teilnehmerquote der Kommunen an der Umfrage aufgeschlüsselt nach Kommunen mit bekanntem Hochwasserereignis aus Starkregen und ohne bekanntem Ereignis (Kaiser et al. 2018)

Die Umfrageergebnisse zeigten, dass das Thema Hochwasser infolge von Starkregen in der Arbeit der WWA eine nicht unerhebliche Bedeutung hat. Viele Befragte gaben die Sommerereignisse von 2016, insbesondere das Ereignis von Simbach am Inn, als ausschlaggebend für eine verstärkte Auseinandersetzung mit der Thematik an. Im Allgemeinen existieren in den Kommunen grundlegende bis gute Kenntnisse über Hochwasser infolge von Starkregen. Dennoch gaben nur 13 Teilnehmer an, dass ihre Kommune Karten zu Sturzfluten bzw. Oberflächenabfluss aus einem Starkregenereignis besitzt. Unter den WWA verfügen nur neun von 17 WWA über solches Kartenmaterial. In der Folge geben über 90 % beider Nutzergruppen einen mittleren bis hohen Bedarf an der Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut an (Abbildung 10).

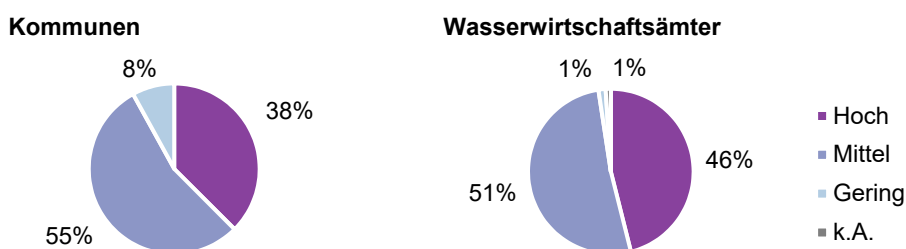


Abb. 10: Einschätzung des Bedarfs der Kommunen bzw. Wasserwirtschaftsämters an der Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut (Kaiser et al. 2018)

Beide Nutzergruppen konnten sich vielfältige Verwendungszwecke für die Hinweiskarte vorstellen (Abbildung 11). Die WWA sehen den Einsatz der Hinweiskarte vor allem in der Bauleitplanung (67 %) und der Kommunalberatung (38 %). Während die Kommunen die Hinweiskarte hauptsächlich zur Bestimmung gefährdeter Bereiche, für Veranschaulichungszwecke und zur Ableitung von Handlungsmaßnahmen nutzen möchten.

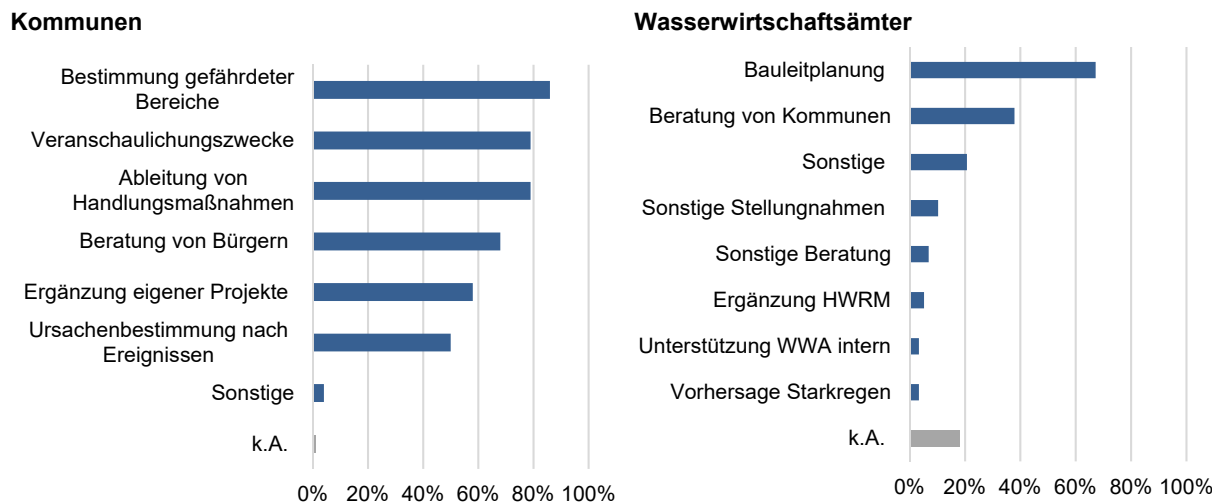


Abb. 11: Mögliche Verwendungszwecke der Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut aus Sicht der Kommunen und Wasserwirtschaftsämter (Kaiser et al. 2018)

Beide Gruppen wünschen sich in erster Linie die Darstellung von infrastrukturellen Engstellen und Siedlungsbereichen in der Hinweiskarte. Die Abbildung von Fließwegen wird ebenfalls gewünscht – dies ist jedoch nicht Aufgabe der Hinweiskarte, die in erster Linie eine Gefährdungszonierung der urbanen Gebiete vornimmt. Weniger wichtig sind den Befragten Informationen zu Bodeneigenschaften, Kanalnetzen oder land- und forstwirtschaftlichen Flächen. Verschiedene Kartenhintergründe und Zoomstufen sollte das Leistungsangebot der Hinweiskarte nach Meinung beider Gruppen umfassen. Die Umfrageteilnehmer wünschen sich außerdem ein Erläuterungsblatt, das den Karteninhalt beschreibt und über Anwendung, Zweck und Grenzen der Karte aufklärt. Trotz grundlegender Kenntnisse in den Kommunen sollten darin auch Schlüsselbegriffe wie Starkregen oder Sturzflut erklärt und voneinander abgegrenzt werden.

6. Fazit und Ausblick

Im Projekt HiOS wird ein breiter Ansatz zur Beantwortung von vielfältigen Fragestellungen verfolgt, der neben Ingenieurmethoden auch modellierungstechnische und soziologische Aspekte berücksichtigt. Die Modellierung von Oberflächenabfluss- und Sturzflutereignissen soll zuverlässig und effizient erfolgen. Dies erfordert den Einsatz verifizierter Simulationsmodelle auf einer optimierten Hardwareplattform (High Performance Computing). Hierbei kommen die hydrologischen Modelle WaSiM und LARSIM sowie die hydrodynamischen Modelle FloodA-

rea, Hydro_AS-2D, TELEMAC-2D und P-DWave zum Einsatz. Für die Kalibrierung der Modelle und für geostatistische Auswertungen wurden umfangreiche Datenbestände wie z. B. Niederschlagsdaten oder Ereignisinformationen gesammelt und aufbereitet.

Für den nachhaltigen Zugriff auf die Daten und Projektergebnisse wird von Beginn an ein Forschungsdatenmanagement betrieben, welches die Rechen- und Datenablageinfrastruktur optimiert. Die hydrodynamischen Modelle wurden in ersten, einfachen Benchmark-Tests miteinander verglichen. Alle geprüften Modelle sind prinzipiell zur Simulation von Sturzflutereignissen geeignet. Zur Vorbereitung der hydrologischen Berechnungen wurden Skalenstudien sowie Betrachtungen zur Szenarienauswahl und zur Kalibrierungsstrategie durchgeführt. In einer Umfrage unter den bayerischen Kommunen und Wasserwirtschaftsämtern konnte die Relevanz der Thematik und der Bedarf nach einer Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut festgestellt werden. Allerdings wurden auch die unterschiedlichen Ansprüche der zukünftigen Nutzer an die zu entwickelnde Hinweiskarte deutlich.

Als nächster Schritt ist ein detaillierter Vergleich der vier hydrodynamischen Modelle anhand von zwei realen und abgelaufenen Hochwasserereignissen geplant. Einige Teilmodule der hydrologischen Modelle LARSIM (Abflussbildung, Abflusskonzentration und Translation) und WaSiM (Abflussbildung und Abflusskonzentration inkl. Verschlammung und Oberflächenabflussrouting) werden auf ihre Anwendbarkeit in der Sturzflutmodellierung untersucht. Ein allgemeiner Modellvergleich anhand realer Ereignisse soll zudem deren generelle Eignung für die Modellierung von Hochwasserereignissen infolge von Starkregen zeigen. Auf Grundlage von aufbereiteten Ereignisinformationen werden geostatistische Auswertungen durchgeführt, um Erkenntnisse über die Einflussfaktoren auf Entstehung und Ausmaß von Oberflächenabfluss und Sturzfluten zu erlangen. Die Erkenntnisse aus Modellierung und Geostatistik werden anschließend in einem GIS-Tool zusammengeführt, mit dessen Hilfe die Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut entwickelt wird.

News zum Projekt sowie wissenschaftliche Publikationen und Projektberichte finden Sie auf der Projekthomepage www.hios-projekt.de.

Literatur

- Ata, R., 2017. Telemac2d User Manual, Version 7.2, Paris.
- DKRZ, 1994. The ECHAM 3 Atmospheric General Circulation Model. Deutsches Klimarechenzentrum, Technischer Bericht Nr. 6, Revision 3, Juli 1994, Hamburg.
- Dümenil, L., Todini, E., 1992. A rainfall-runoff scheme for use in the Hamburg climate model. In: *Advances In Theoretical Hydrology, A tribute to James Dooge*. European Geophysical Society Series on Hydrological Sciences, 1, Elsevier, S. 129-157.
- geomer GmbH (Hrsg.), 2017. FloodAreaHPC-Desktop – ArcGIS Erweiterung zur Berechnung von Überschwemmungsbereichen, Anwenderhandbuch, Version 10.3, Heidelberg.
- Hunter, N. M., Horritt, M. S., Bates, P. D., Wilson, M. D., Werner, M. G. F., 2005. An adaptive time step solution for raster-based storage cell modelling of floodplain inundation. *Advances in Water Resources*, 28 (9), 975-991.

- Kaiser, M., Handelshäuser, E., Disse, M., 2018. Befragung bayerischer Kommunen und Wasserwirtschaftsämter zur Hinweiskarte für Oberflächenabfluss und Sturzflut. Zusammenfassung der Ergebnisse. Projektbericht. München.
- Kirpich, Z.P., 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil Engineering* 10, Nr. 6.
- Kling, H., Fuchs, M., Paulin, M., 2012. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios. In: *Journal of Hydrology*, 424-425, S. 264-277.
- Leandro, J., Chen, A. S., Schumann, A., 2014. A 2D parallel diffusive wave model for floodplain inundation with variable time step (P-DWave). *Journal of Hydrology* 517, 250-259.
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, Volume 10, Issue 3, Pages 282-290, ISSN 0022-1694, [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- Néelz, S., Pender, G., 2013. Benchmarking the latest generation of 2D hydraulic modelling packages, Report – SC120002. Environment Agency, Bristol.
- Nujić, M., Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH (Hrsg.), 2016. HYDRO_AS-2D – 2D-Strömungsmodell für die wasserwirtschaftliche Praxis. Benutzerhandbuch, Version 4.2.1, Rosenheim.
- Rosenauer, C., 2017. Skalenabhängigkeit bei der hydrologischen Modellierung von Sturzfluten in Bayern. Masterarbeit. Department für Geographie, LMU München.
- Verworn, H.-R., Kummer, U., 2003. Praxisrelevante Extremwerte des Niederschlags (PEN). Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau, Universität Hannover, LAWA-Projekt Abschlussbericht, August 2004, Hannover.
- Williams, J.R., 1969. Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. *Transactions of the ASAE*, S. 100.
- Zhao, R.J., 1977. Flood forecasting method for humid regions of China. East China Institute of Hydraulic Engineering, Nanjing, China.
- Zhao, R.J., Zhang, Y.-L., Fang, L.-R., Liu, X.-R., Zhang, Q.-S., 1980. The Xinanjiang model. In: *Hydrological Forecasting (Proc. Oxford Symposium, April 1980)*, S. 351-356. IAHS Publ. 129, IAHS Press, Wallingford, UK.