Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Teilabschlussbericht AP3

3. Titel

EvaSim - Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen

AP3 Hydrauliksimulation zur Ermittlung der Verkehrsbehinderung durch Überschwemmungen und Ermittlung von Evakuierungswegen

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2012
Dispert, Ingrid Pohl, Christian Gelfort, Almut	6. Veröffentlichungsdatum 30.04.2013
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
DHI WASY GmbH Max Planck Str. 6 28857 Syke, Germany	10. Förderkennzeichen 13N10595
	11. Seitenzahl 38
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)	13. Literaturangaben -
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 27

16. Zusätzliche Angaben

-

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

Technische Informationsbibliothek Hannover, 30.04.2013

18. Kurzfassung

Das Vorhaben EvaSim- „Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulationen zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen“ ist ein Beitrag im Rahmen des Sicherheitsforschungsprogramms der Bundesregierung, in dem innovative Lösungen entwickelt werden, um die Sicherheit der Bürgerinnen und Bürger im Falle von Hochwasserereignissen zu erhöhen. Durch die Kopplung der Simulation von Hochwasser- und Flutwellenausbreitung mit der Simulation von Verkehrsabläufen wird eine optimierte Evakuierung der Bevölkerung gewährleistet. Der interdisziplinäre Ansatz, der von der Hydrologie des Einzugsgebietes bis hin zum operationellen Einsatz im Hochwasserfall reicht, ist eine konsequente und durchgängige Methodik zur Verbesserung bestehender Katastrophenschutzpläne und wurde im Rahmen des Verbundprojektes an zwei beispielhaften Projektgebieten verwirklicht. Dieses Gebrauchsmuster steht nun für andere Projekte zur Verfügung.

Im Arbeitspaketes 3 wurden auf Basis hydrodynamisch-numerischer Modellierung von extremen Hochwasserereignissen potentielle Überschwemmungsbereiche in Bereich der Stadt Altensteig aufgezeigt sowie spezifische Schnittstellen zur Integration dieser Berechnungsergebnisse in Verkehrs- und Evakuierungsmodelle generiert.

19. Schlagwörter
EvaSim, Hydrologie, Hydrauliksimulationen, Katastrophenschutz

20. Verlag -	21. Preis -

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report (project segment 3)

3. title

EvaSim – Integration of Traffic and Hydrodynamic Modelling for Evacuation Plans due to Flooding Hazard

4. author(s) (family name, first name(s))	5. end of project 31.10.2012
Dispert, Ingrid Pohl, Christian Gelfort, Almut	6. publication date 30.04.2013
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) DHI WASY GmbH Max Planck Str. 6 28857 Syke, Germany	9. originator's report no. -
	10. reference no. 13N10595
	11. no. of pages 38
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references -
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 27

16. supplementary notes
-

17. presented at (title, place, date)
Technische Informationsbibliothek Hannover, 30.04.2013

18. abstract

The joint research project EvaSim – „Integration of Traffic and Hydrodynamic Modelling for Evacuations Plans due to Flooding Hazards" is a contribution in the context of the Security Research Program funded by the German Federal Ministry of Education and Research. The scope of research is the coupling of a hydrodynamic model with a traffic model to ensure an optimized evacuation of the population in the case of a flood disaster. This interdisciplinary approach, which lasts from the hydrology in the catchment area to the emergency operation during a flood event, is a consequent and integrated methodology for the improvement of existing evacuation plans. Scenarios such as rainfall runoff, flash flood and dam failure are being modelled for two exemplary urban areas in order to investigate different time frames for alerting the population.

The main focus of project segment 3 was on hydrodynamic numerical simulations of extreme flooding events and determination of resulting flooding areas in the city of Altensteig as well as on the generation of specific interfaces for integration of these results into traffic and evacuation models.

19. keywords
EvaSim, Hydrology, Hydraulic Modelling, Disaster Management

20. publisher	21. price
-	-

Teilabschlussbericht

Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen

AP 3: Hydrauliksimulation zur Ermittlung der Verkehrsbehinderung durch Überschwemmungen und Ermittlung von Evakuierungswegen

gefördert durch das BMBF

Förderkennzeichen

13N10595

April 2013

DHI-WASY GmbH

Niederlassung Syke
Max Planck Str. 4-6
28857 Syke

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzdarstellung....5
1.1 Aufgabenstellung....5
1.2 Voraussetzung für das Vorhaben....6
1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens....7
1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde....8
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen....11
2 Eingehende Darstellung....12
2.1 Arbeitsergebnisse AP3....12
2.1.1 Modellaufbau....12
2.1.2 Hydrologische Rand- und Anfangsbedingungen....15
2.1.3 Modellkalibirierung....16
2.1.4 Voruntersuchungen Dammbruch....17
2.1.5 Modellläufe....20
2.1.6 Zusatzuntersuchung Verklausungsszenario....21
2.1.7 Schnittstellengenerierung....22
2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises....37
2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit....37
2.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Verwertungsplans....38
2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen....38
2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse....38

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Untersuchungsgebiet - Reservoir der Nagoldtalsperre und Stadt Altensteig (Google Earth, 2012) 6
Abb. 1-2: Konzept der eindimensionalen hydrodynamischen Modellierung....8
Abb. 1-3: Konzept der zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung 9
Abb. 1-4: Konzept der gekoppelten ein- und zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung 10
Abb. 2-1: Modellgebiet Nagold 12
Abb. 2-2: Verwendete Rasterdaten mit Geländehöhenangaben aus Befliegungsdaten 13
Abb. 2-3: Ausschnitt aus dem verwendeten Berechnungsnetzes (Mesh) mit berücksichtigten Bauwerken im Bereich der Stadt Altensteig....14
Abb. 2-4: Verwendete Bauwerksdaten aus Katasterauszug der Stadt Altensteig....15
Abb. 2-5: Zeitreihen für gemessenen Wasserstand und Abfluss im Untersuchungsgebiet 1993....16
Abb. 2-6: Kalibrierergebnisse am Pegel Altensteig für den Zeitraum Dezember 1993 17
Abb. 2-7: Satellitenbild der Erzgrube mit Nagoldtalsperre am nordöstlichen Ende des Stausees (Google Earth, 2013) 18
Abb. 2-8: Schematische Darstellung der Versagensmechanismen „Dam Breach“ (links) und „Piping“ (rechts)....19
Abb. 2-9: Generierte Abflussganglinien für die untersuchten Dammbruchmechanismen....19
Abb. 2-10: Mesh und Lage von Brückenquerschnitten 21
Abb. 2-11: Beispiel eines berücksichtigten Brückenquerschnitts als 1D-Struktur in MIKE 11....22
Abb. 2-12: Projektstruktur des Forschungsvorhabens EvaSim....23
Abb. 2-13: Beispiel eines Simulationsergebnisses von AP2....24
Abb. 2-14: DHI Flood Toolbox und Darstellung von Überflutungsfläche in Altensteig 25
Abb. 2-15: Darstellung von Überflutungsfläche in Altensteig unter Verwendung des Flood Map Generation Tools von DHI 26
Abb. 2-16: Berücksichtigtes Verkehrswegenetz entlang der Nagold und in Altensteig 28
Abb. 2-17: Berücksichtigtes Verkehrswegenetz Stadtbereich Altensteig, überfluteter Zustand....29
Abb. 2-18: Konvention zur Bestimmung der Straßenwinkel....30
Abb. 2-19: Konvention zur Bestimmung der Anströmwinkel in Bezug zur Straßenrichtung 30
Abb. 2-20: Übergabeformat für Ergebnisse 31
Abb. 2-21: Grafische Oberfläche des programmierten Auswertungstools für die Ausgabe der Ergebnisse der hydrodynamischen Untersuchungen im Übergabeformat 33
Abb. 2-22: Darstellung der errechneten Überschwemmungsfläche mit den zugehörigen Wassertiefen zu Beginn der Ausuferungen in Altensteig 35
Abb. 2-23: Darstellung der Strömungsgeschwindigkeiten bei Überflutungsereignis in Altensteig (Flood Toolbox)....37

Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1: Zeitplanung für AP3 (x = ursprüngliche Planung) 7
Tab. 2-1: Intensitätsklassifizierung nach Schweizer Modell – Gebäude (Ingenieurbüro aquasoli) 36

1 Kurzdarstellung

1.1 Aufgabenstellung

Extreme Überflutungsereignisse, wie z.B. durch Talsperrenversagen oder extreme Niederschlagsereignisse bergen eine hohe Gefahr für betroffene Siedlungsgebiete. Ein adäquates Krisenmanagement in einem solchen Überschwemmungsszenario ist Basis für die optimierte Koordination von Evakuierungsmaßnahmen.

Ziel des Verbundvorhabens EvaSim war es, durch eine Kopplung unterschiedlicher Forschungsbereiche und fachlicher Disziplinen, ein Planungswerkzeug für effektive Evakuierungs- und Katastrophenschutzmaßnahmen zu entwickeln. Das Projekt berücksichtigte u.a. die relevanten Einflussgrößen aus Hydrologie, Meteorologie, Verkehrsplanung und Soziologie. Zwei Untersuchungsgebiete in Süddeutschland wurden während der Bearbeitung von EvaSim im Detail betrachtet: Altensteig (Baden Württemberg) und Bad Reichenhall (Bayern).

Innerhalb des Arbeitspaketes 3 (AP3) „Hydrauliksimulation zur Ermittlung der Verkehrsbehinderung durch Überschwemmungen und Ermittlung von Evakuierungswegen“ war die DHI-WASY GmbH mit der Durchführung von Hydrauliksimulationen zur Ermittlung der bei Extremereignissen zu erwartenden Hochwasserbelastung im Untersuchungsgebiet Altensteig betraut. Ziel dieses Teilprojektes war die Generierung und Identifizierung von Überschwemmungsflächen für unterschiedliche Hochwasserszenarien mittels hydrodynamisch-numerischer Modellberechnungen.

Im betrachteten Gebiet befindet sich die Nagoldtalsperre, die durch einen Erddamm den Fluss Nagold ca. 10 km oberhalb der nächsten Ortschaft Altensteig einstaut. In einem ersten Arbeitsschritt wurde für das Untersuchungsgebiet ein hydrodynamisch-numerisches Modell aufgebaut. Dieses wurde für die Berechnung von Szenarien mit unterschiedlichen hydraulischen Belastungen wie Bemessungshochwasserabfluss und Talsperrenversagen verwendet. Ergebnis der Untersuchungen waren die in den jeweiligen Szenarien auftretenden Überschwemmungsflächen in Abhängigkeit der Zeit.

In einem letzten Schritt wurden die Ergebnisse aufbereitet, um eine Weiterbearbeitung durch die anderen Arbeitspakete zu ermöglichen. Spezifische Schnittstellen sind hierfür jeweils generiert worden. Die erhaltenen Informationen dienten als Eingangsdaten für die darauffolgenden Arbeitspakete, in welchen u.a. die Auswirkung der Überschwemmungen auf das vorhandene Verkehrswegenetz und folglich auf die zur Verfügung stehenden Evakuierungswege analysiert wurde.

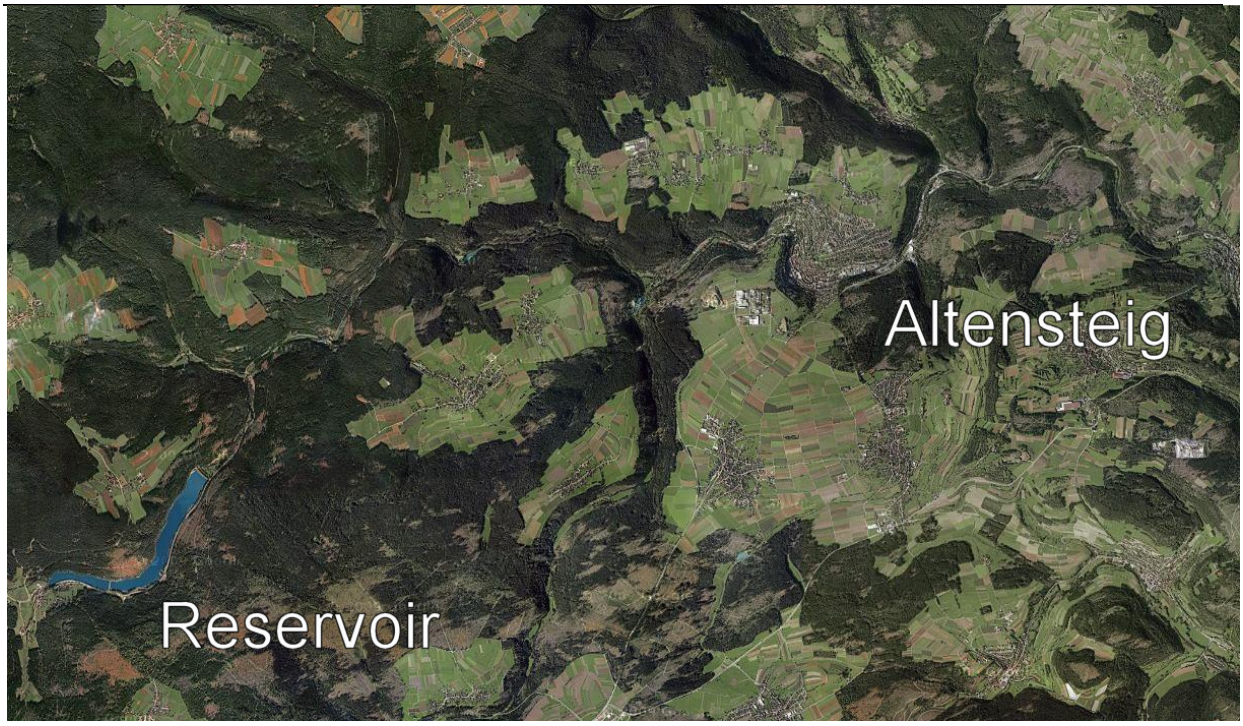

Abb. 1-1: Untersuchungsgebiet - Reservoir der Nagoldtalsperre und Stadt Altensteig (Google Earth, 2012)

Insgesamt waren sechs Projektpartner aus Hochschulen und Wirtschaft an dem Verbundvorhaben beteiligt. Die Kombination der Ergebnisse aller Arbeitspakete bietet einen interdisziplinären Lösungsansatz, der nach Projektabschluss zur Anwendung auf andere Untersuchungsgebiete zur Verfügung steht.

1.2 Voraussetzung für das Vorhaben

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) hat ein Konsortium von sechs Projektpartnern aus Forschung und Wirtschaft mit dem Projekt EvaSim beauftragt. Das Projekt hatte eine Laufzeit vom 01.06.2009 bis zum 31.10.2012.

Bewilligungsempfänger des Arbeitspaketes 3 war die DHI-WASY GmbH, ein Unternehmen der DHI Gruppe. Die DHI-WASY GmbH mit Sitz in Berlin und Niederlassungen in Syke, Dresden, Köln und München ist ein Tochterunternehmen des DHI (Danish Hydraulic Institute), Dänemark, einer gemeinnützigen Forschungsstiftung.

DHI verfügt über langjährige Erfahrungen im Consultingbereich der Überschwemmungsmodellierung, in der Entwicklung kommerzieller Software für hydrodynamische Berechnungen und ist kompetenter Partner in Forschungsprogrammen mit Bezug zur Wasserwirtschaft. Die DHI-WASY GmbH entwickelt zudem seit vielen Jahren GIS-basierte Entscheidungshilfesysteme und Lösungen für das Hochwassermanagement.

Das Unternehmen kann auf eine hohe, seit über 20 Jahren bestehende Kompetenz in den Bereichen Wasserwirtschaft, Hydrologie und numerische Modellierung zurückgreifen.

Das Projekt wurde unter folgenden Voraussetzungen durchgeführt:

- Die DHI-WASY GmbH ist seit vielen Jahren im Forschungsbereich tätig und ist sowohl mit der deutschen als auch mit der internationalen Forschungslandschaft im Bereich der Hydrodynamik vertraut.
- Die DHI-WASY GmbH hat Erfahrung bei der Erstellung von Handbüchern und wissenschaftlichen Veröffentlichungen.
- Die DHI-WASY GmbH kann auf jahrelange Erfahrung von DHI im Gebiet der Überschwemmungsmodellierung zurückgreifen.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Projektstart von EvaSim war der 01.06.2009. Die DHI-WASY GmbH war von Beginn an Partner in diesem Verbundprojekt. Die Beantragung einer kostenneutralen Verlängerung der Projektlaufzeit bis zum 31.10.2012 wurde Anfang 2012 gestellt. Maßgebend für diesen Antrag waren Verzögerungen zu Beginn (Datenbeschaffung) und während der Projektbearbeitung.

Die kostenneutrale Verlängerung wurde für alle Teilprojekte des Verbundprojektes vom Projektträger genehmigt.

Das Verbundprojekt war in insgesamt 6 Arbeitspakete unterteilt. Die DHI-WASY GmbH hat das o.g. Arbeitspaket 3 bearbeitet, welches sich in zwei Untersuchungsbereiche untergliedert: Altensteig (Bearbeitung durch die DHI-WASY GmbH) und Bad Reichenhall (Bearbeitung durch Ingenieurbüro aquasoli). Die Koordination des gesamten Verbundforschungsprojektes wurde vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft an der Universität Stuttgart übernommen.

Für alle Projektabschnitte lagen Planungen und Aufgabenbeschreibungen vor, die während der Bearbeitung eingehalten wurden.

Tab. 1-1: Zeitplanung für AP3 (x = ursprüngliche Planung)

Vorgänge	2009				2010				2011				2012			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
AP3: Hydraulische Simulationen																
Bereitstellung Gebietsdaten			x	x	x	x										
Aufbau, Kalibrierung und Verifizierung der hydraulischen Modelle					x	x	x									
Übernahmen von hydrometeorologischen Szenarien, Verifizierung						x	x	x		x		x				
Umsetzung von Szenarien								x				x				
Simulationsrechnungen der Projektgebiete								x	x	x	x	x	x			
Schnittstellengenerierung, Validierung																
Dokumentation und Publikation						x				x				x		

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Im Folgenden wird der wissenschaftliche Stand kurz umrissen, an welchen in AP 3 angeknüpft wurde. Die verwendeten Methoden können in zwei Bereiche untergliedert werden: Fließgewässermodellierung und GIS-basierte Aufbereitung von Ergebnissen.

Den Schwerpunkt des im AP3 bearbeiteten Teilvorhabens stellten hydraulische Simulationen dar. Bei hydraulischen Berechnungen handelt es sich um die Ermittlung von Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, Strömungsrichtung oder Sohlenschubspannung auf Basis von Vermessungsdaten, die die örtlichen Gegebenheiten widerspiegeln. Für diese Untersuchungen stehen unterschiedliche Simulationstechniken zur Verfügung, die sich in ihrer Dimensionalität unterscheiden. Bei eindimensionalen Berechnungen werden Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, usw. querschnittsgemittelt berechnet. Das heißt, es müssen für eine detaillierte Überschwemmungsstudie entsprechende Annahmen getroffen werden, um ein exaktes Abbild der natürlichen Gegebenheiten zu erhalten. Wie in der nachfolgenden Abbildung zu sehen ist, wird zum einen das Hauptgerinne abgebildet und zum anderen separat die Überschwemmungsflächen (violett: Hauptgerinne; türkis: Überschwemmungsflächen). Die Übernahme der Topographie erfolgt dabei über Querschnitte in einem frei spezifizierbaren Abstand zwischen denen linear interpoliert wird. Durch dieses Vorgehen kann ein mehrdimensionaler Prozess, wie er bei einer Ausuferungen auftritt, mit einem vereinfachten Modell abgebildet werden. Vorteil dieser 1D-Modelle ist eine schnelle Rechenzeit, was gerade für Online-Systeme unerlässlich ist. Nachteil hierbei ist, dass viele vereinfachende Annahmen getroffen werden müssen.

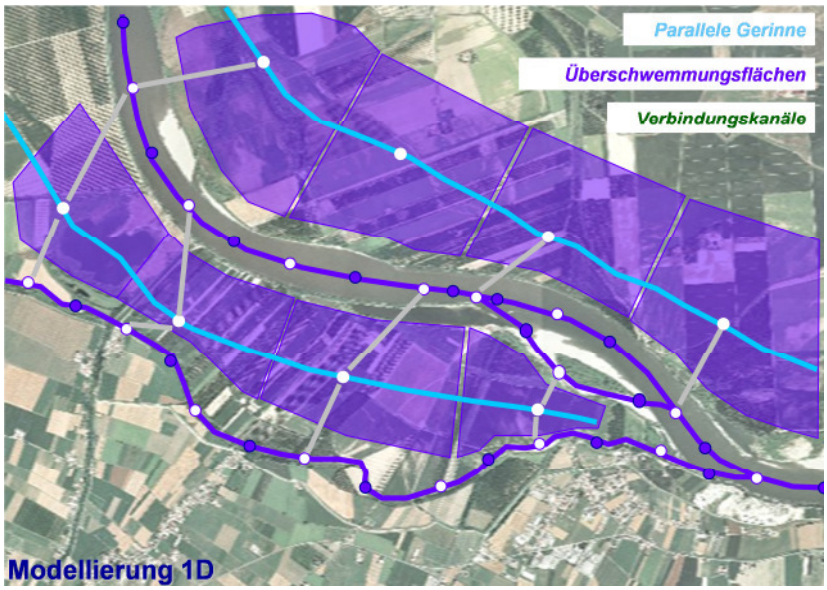

Abb. 1-2: Konzept der eindimensionalen hydrodynamischen Modellierung

Bei der zweidimensionalen Modellierung wird auf einem Raster oder einem Netz gerechnet. Hierbei wird das Gelände flächenhaft in das Berechnungsmodell übernommen. Hieraus ist ein Vorteil zur 1D Berechnung ersichtlich. Ausuferungsprozesse oder Querströmungsprozesse müssen nicht durch genaue Geländekenntnisse vorhergesehen werden, um diese dann mit entsprechenden Maßnahmen nachbilden zu können. In einem Berechnungsnetz kann das Wasser sich jetzt anhand der Bathymetrie ausbreiten, da diese lückenlos in die Berechnung eingeht. Nachteil einer 2D Berechnung ist eine längere Berechnungszeit im Gegensatz zu 1D Modellen. Hierbei ist jedoch zu erwähnen, dass im Rahmen der neuen Computertechnik gute Fortschritte gemacht werden konnten. Bei der Netzberechnung auf einem unregelmäßigen Netz (z.B. mit der Software MIKE 21 Flexible Mesh) können Multiprozessor Rechner voll ausgenutzt werden, da diese Programme eine vollständig parallelisierte Berechnung ermöglichen. Dies hat in den nächsten Jahren wahrscheinlich zur Folge, dass die 1D Simulation immer mehr ins Hintertreffen geraten wird, da in 2D-Simulationen bei gleichem Zeitaufwand Ergebnisse mit deutlich höherem Detailierungsgrad zu erzielen sind.

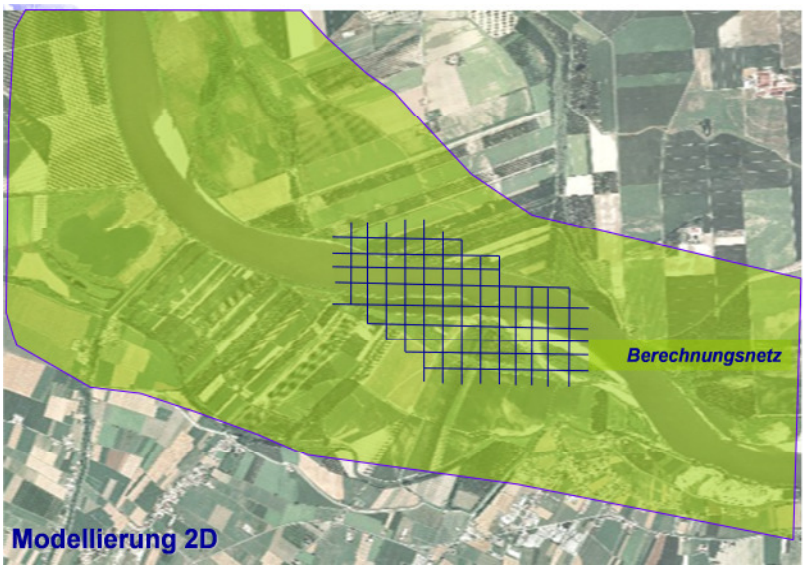

Abb. 1-3: Konzept der zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung

Bei der 3D Berechnung werden zusätzlich über die Wassertiefe bestimmte Parameter mit berechnet, so dass an z.B. Bauwerken Detailstudien erstellt werden können. Ein weiteres Anwendungsgebiet der 3D Modellierung sind z.B. Temperaturverteilungen, die nicht über die Tiefe gemittelt sein dürfen, was in einer 2D Berechnung der Fall wäre. 3D Berechnungen sind jedoch sehr zeitintensiv, weshalb sie häufig z.B. in tidebeeinflussten Gebieten nur für einen Tidezyklus gerechnet werden. Auch hier wird die Rechnertechnik in den nächsten Jahren wahrscheinlich Abhilfe schaffen.

Der jeweilige Einsatzbereich richtet sich zum einen nach den geforderten Aussagen und ist zum anderen durch die gegebenenfalls deutlich längere Rechenzeit begrenzt. Als Stand der Technik werden alle Modelle instationär gerechnet. Dies gewährleistet, dass Wasserstände nicht ausgespiegelt werden, was bei einer stationären Betrachtung geschieht. Hier fließt dem Modell solange Wasser hinzu, bis sich ein stationärer Zustand einstellt. Das System muss dazu oft mit sehr großen Mengen Wasser über einen sehr langen Zeitraum beaufschlagt werden. Diese Menge entspricht aber nicht den natürlichen Gegebenheiten, da hierfür Regenereignisse benötigt werden, die in dieser Form regional nie auftreten würden. Die DHI-WASY GmbH verwendet für die oben vorgestellten Berechnungsmethoden die Programme MIKE 11 (1D), MIKE 21 (2D) und MIKE 3 (3D). Das Programmsystem MIKE FLOOD ist eine Kopplung mehrerer Programmteile. Durch eine Kopplung von MIKE 11 und MIKE 21 können z.B. der Flussschlauch eindimensional und die Überschwemmungsflächen zweidimensional gerechnet werden.

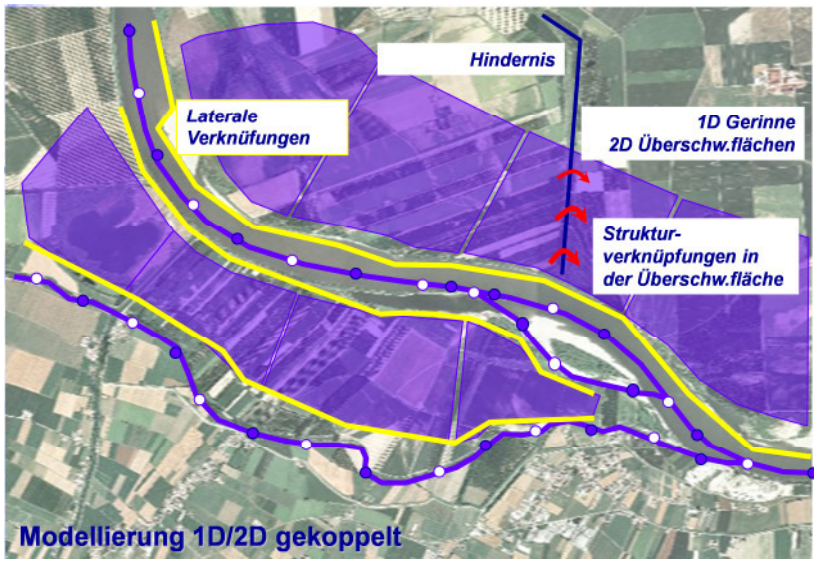

Abb. 1-4: Konzept der gekoppelten ein- und zweidimensionalen hydrodynamischen Modellierung

Dies bringt eine Rechenzeitersparnis mit sich, da an den entsprechenden Stellen mit dem jeweils besten Ansatz für die Fragestellung gerechnet wird. Als weiterer Vorteil kann zusätzlich eine Kanalnetzmodellierung mit angeschlossen werden, die gerade im Bereich besiedelter Flächen eine große Bedeutung haben kann. Mit den Programmlösungen von DHI ist somit eine Simulationssoftware im Einsatz, die sich schon in tausenden Projekten weltweit bewährt hat und somit verlässliche Ergebnisse für die Kopplung mit der Verkehrssimulation liefert.

Im Rahmen des Projektes EvaSim sind MIKE 11, MIKE 21 sowie die Kopplung dieser Komponenten durch MIKE FLOOD zum Einsatz gekommen. Für die Auswertung und Weitergabe der Berechnungsergebnisse ist zusätzlich die Flood Toolbox verwendet

worden. Hierbei handelt es sich um ein von DHI entwickeltes, GIS-basiertes Auswertungstool. Eine detaillierte Erläuterung dieser Programmanwendung ist in Kap. 2.1.7.2 dargestellt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Am Verbundforschungsprojekt EvaSim waren die folgenden Projektpartner beteiligt:

Universitäten und Forschungseinrichtungen

- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft (LWW)
- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie (LHG)
- Universität Stuttgart, Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung (ZIRIUS)
- Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (VUV)

Industriepartner

- DHI-WASY GmbH
- Aquasoli Ingenieurbüro

Assoziierte Partner

- Stadt Altensteig
- Stadt Bad Reichenhall
- Regierungspräsidium Karlsruhe
- Landratsamt Calw

Innerhalb des Verbundprojektes bestand eine Zusammenarbeit zwischen DHI und allen anderen beteiligten Projektpartnern. Vom AP 2 (Hydrologie) wurden Ergebnisse übernommen, die als Eingangsdaten für die Untersuchungen von DHI-WASY dienten. Alle anderen Arbeitspakete haben Ergebnisse von den im AP 3 durchgeführten numerischen Berechnungen erhalten und im Rahmen Ihrer Untersuchungen weiterbearbeitet.

Über den gesamten Zeitraum der Bearbeitung des Projektes EvaSim haben in regelmäßigen Zeitabständen Abstimmungsgespräche und Meilensteintreffen unter Teilnahme aller beteiligten Projektpartner stattgefunden, die von dem Institut für Wasserbau an der Universität Stuttgart (Projektleitung) organisiert und koordiniert wurden.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Arbeitsergebnisse AP3

2.1.1 Modellaufbau

Zu Beginn des Projektes wurden die für die Bearbeitung der jeweiligen Arbeitspakete erforderlichen Datengrundlagen bestimmt und Datenformate für den Austausch zwischen den unterschiedlichen Arbeitspaketen definiert. Für die in AP3 vorgesehenen Simulationen erfasste das aufgebaute Modell den gesamten Lauf der Nagold zwischen der Nagoldtalsperre und der Stadt Nagold.

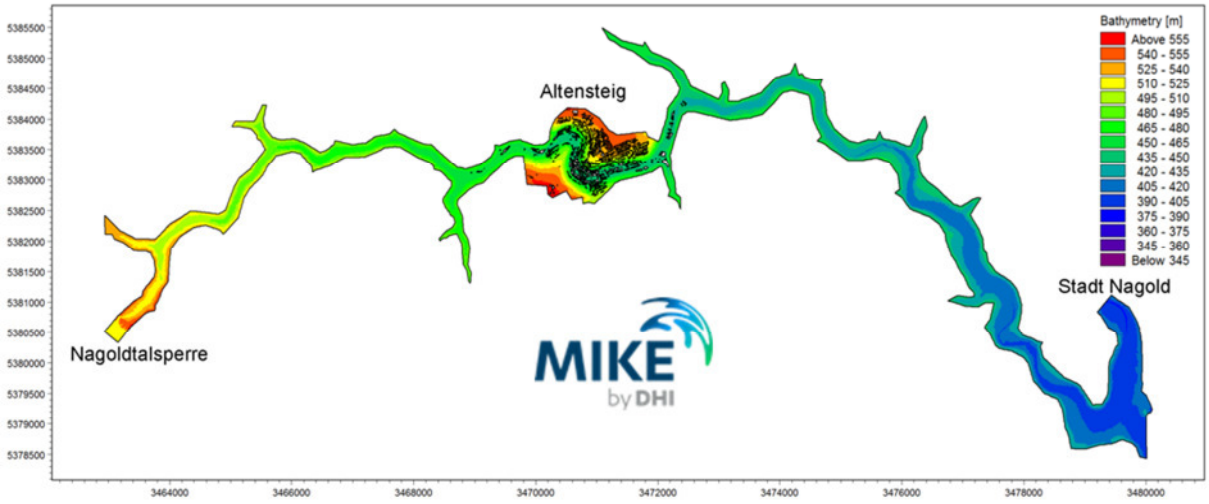

Abb. 2-1: Modellgebiet Nagold

Die erforderlichen Informationen und Daten wurden beschaffen, gesichtet und aufbereitet, also wo erforderlich vervollständigt und korrigiert. Nach Erhalt der Daten und Informationen, konnte mit dem Modellaufbau begonnen werden.

Die für den Modellaufbau verwendeten Daten waren unter anderem die im Rahmen des Projektes Hochwassergefahrenkarten Baden-Württemberg (HWGK) vermessenen Flussquerschnitte von 2008 inkl. Informationen zu den im Modellgebiet befindlichen Brücken (Querbauwerke). Informationen zur Topografie lagen in Form eines digitalen Geländemodells (DGM) auf Basis flugzeuggestützter Laserscanning-Daten mit einem Rasterabstand von 1 m vor. Hier wurden teilweise aufbereitete Daten von AP 2 übernommen. Ein genaues DGM war für eine Interpolation der Flächen außerhalb des Flusslaufes erforderlich, da diese Flächen später die Überschwemmungsflächen darstellten. Zusätzlich lagen Informationen zur Lage der Verkehrswege und Bebauung (bzw. Flächennutzung) vor. Weiterhin lieferten topografische Karten und Bildmaterial zusätzliche Informationen zu den örtlichen Gegebenheiten.

Die Auflösung und Ausdehnung des DGM (Digitales Geländemodell) wurde zunächst angepasst, da die großen Datenmengen die Handhabung des Modells erschwerten. Die Datendichte wurde reduziert und auf eine 1x1 m Auflösung entlang der Nagold und in Altensteig sowie auf eine 2x2 m Auflösung im übrigen Modellgebiet gebracht (Abb. 2-2). Die blau-gelben Kacheln im Bereich des Flusslaufes stellen den feiner aufgelösten Bereich dar. Anschließend erfolgte eine endgültige Festlegung der Modellränder auf einer Höhenlinie von 20 m über der Uferlinie, da ein weiteres Ausufern ausgeschlossen werden konnte.

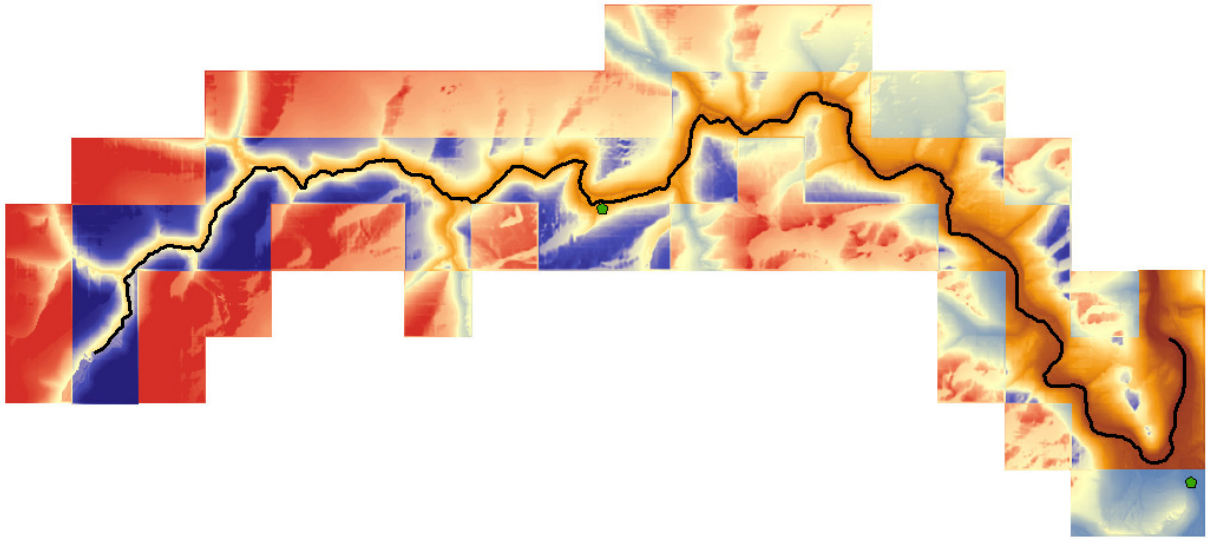

Abb. 2-2: Verwendete Rasterdaten mit Geländehöhenangaben aus Befliegungsdaten

Für die Einbindung des Flussschlauches in das Modell wurde zunächst ein eindimensionaler Modellansatz (MIKE 11 by DHI) angewendet. Hierfür wurden die vermessenen Querprofile der Nagold gesichtet, sortiert und eingelesen. Durch eine Interpolation der Querschnitte wurde eine flächendeckende Abbildung der Gewässersohle generiert. Diese Höhen- und Lageinformationen (Bathymetrie) stellten die Grundlage der Flussschlauchmodellierung im 2D Modell dar.

Das gewählte Lösungsverfahren für die 2D-Hydrauliksimulationen (MIKE 21 FM) beruht auf der Finite-Volumen-Methode. Grundlage hierbei ist ein Berechnungsnetz (Mesh), welches die Berechnungselemente darstellt. Das Berechnungsnetz liefert dem Modell die Höhen- und Lageinformationen für das Modellgebiet. Innerhalb des Berechnungsnetzes werden für jeden Simulationszeitschritt die numerischen Gleichungen gelöst. Das Modellgebiet wird mittels eines unstrukturierten Meshs mit drei- und viereckigen Elementen abgebildet (Abb. 2-3). Der Flussschlauch wird mit viereckigen Elementen und die Vorländer mit dreieckigen Elementen abgebildet. Die Diskretisierung richtet sich hierbei nach der vorliegenden Topographie und der zu erwartenden Komplexität der Strömungsprozesse. Im Verlauf der Hauptströmung

wurde das Modell in viereckige Elemente gegliedert, wodurch gute Ergebnisse bei geringeren Rechenzeiten erzielt werden konnten. In den angrenzenden Ufer- und Vorlandbereichen ist eine triangulare Gitternetzstruktur zum Einsatz gekommen. Die Auflösung des Berechnungsgitters variiert in Abhängigkeit von der Entfernung zum hydraulisch relevanten Bereich. In den ufernahen und demnach bei Überflutungsszenarien hydrodynamisch aktiven Bereichen wurde mit einer größeren Auflösung gearbeitet, um die dort ermittelten Überflutungsprozesse detaillierter abbilden zu können.

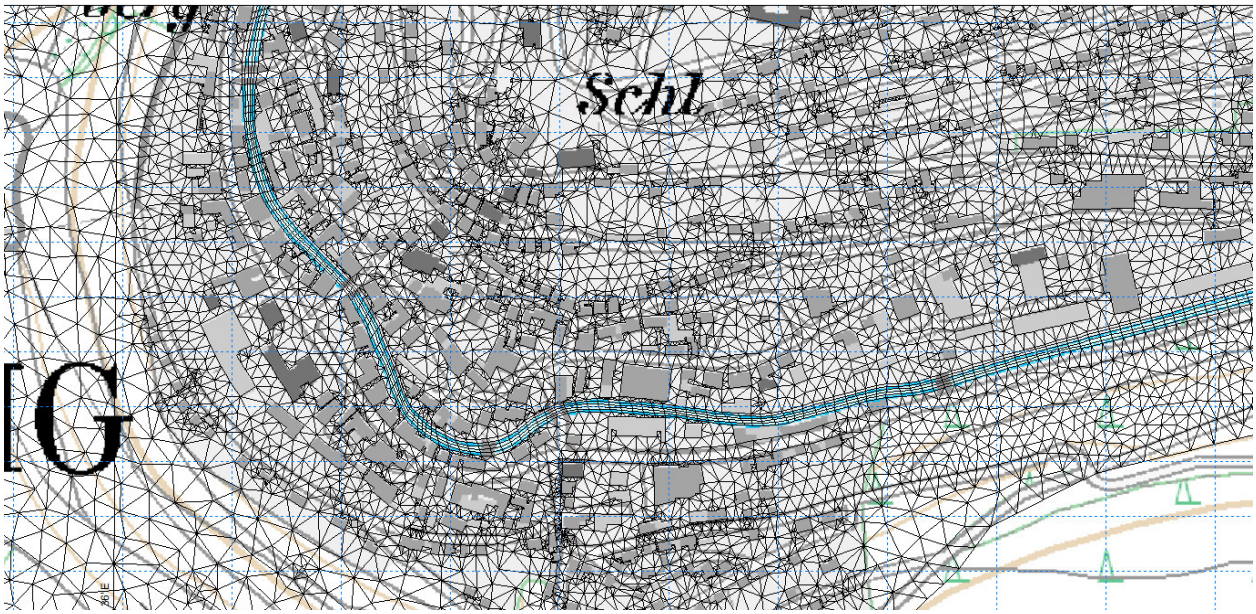

Abb. 2-3: Ausschnitt aus dem verwendeten Berechnungsnetzes (Mesh) mit berücksichtigten Bauwerken im Bereich der Stadt Altensteig

Für den Bereich im Modellgebiet, für den keine Flussschlauchdaten aus dem 1D-Modell vorlagen, wurde das DGM hinzugezogen. Beide Teile zusammen ergaben eine flächendeckende Datengrundlage für sowohl Höhe als auch die Lage des Untersuchungsgebietes. Diese somit zur Verfügung stehenden Höheninformationen wurden im Zuge des Modellaufbaus auf das generierte Berechnungsgitter interpoliert.

Dabei wurden die örtlichen Gegebenheiten ihrem Einfluss auf die Berechnungsergebnisse entsprechend diskretisiert und die erhaltenen Lage- und Höheninformationen der Topographie auf die Eckpunkte der drei- und viereckigen Elemente des Berechnungsnetzes übertragen. Als Grundlage für die Darstellung von Bauwerken im Untersuchungsgebiet diente ein digitalisierter Katasterauszug der Gemeinde Altensteig. Nach Aufbereitung der Daten wurden die Gebäude in der Stadt Altensteig im Mesh integriert. Hierfür wurden die Bauwerksumrisse als Polygone definiert. Bei der Generierung des Berechnungsnetzes wurden diese geschlossenen Strukturen aus dem Mesh exkludiert und fungierten in den Berechnungen als wasserundurchlässige Elemente.

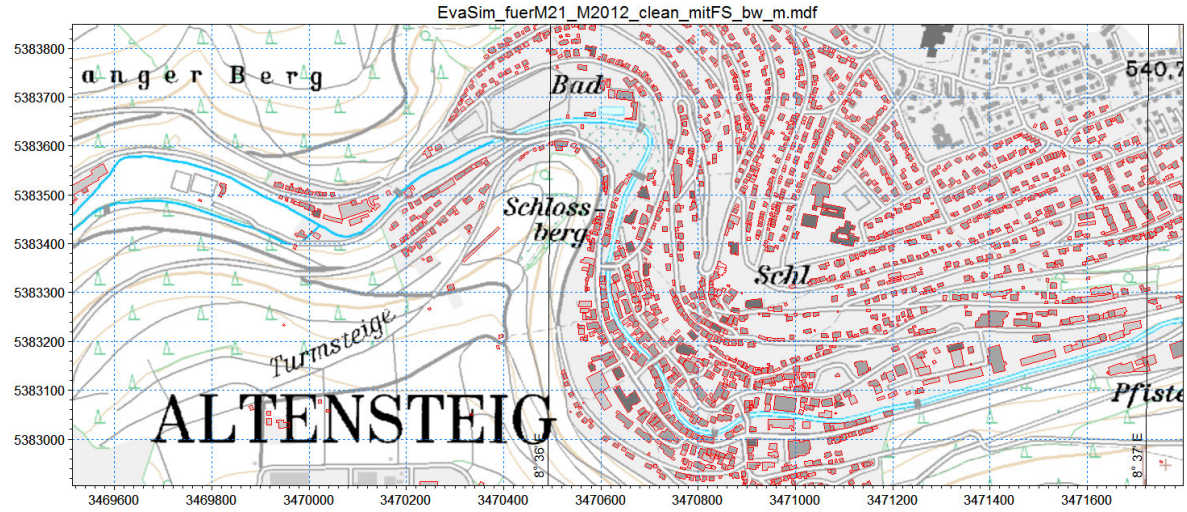

Abb. 2-4: Verwendete Bauwerksdaten aus Katasterauszug der Stadt Altensteig

Die Mesh-Erstellung im urbanen Bereich (Stadt Altensteig) stand hierbei im Fokus des Modellaufbaus, da nur mit einer adäquaten Diskretisierung beschleunigende oder rückstauende Effekte in den Modellergebnissen der hydrodynamischen Simulationen abgebildet werden können.

Das vorhandene Verkehrswegenetz wurde diskretisiert und ebenfalls zur Meshgenerierung hinzugezogen. Basierend auf den Verkehrswegenetzknoten wurden Zwangspunkte im Berechnungsnetz erzeugt. Die Berücksichtigung dieser Informationen ermöglichte die für die Schnittstelle zu AP6 (Verkehrsmodellierung) erforderliche Auswertung von Ergebnissen durch Bereitstellung geeigneter Auswertungspunkte.

2.1.2 Hydrologische Rand- und Anfangsbedingungen

Für die Modellierung werden ober- und unterstromseitig Randbedingungen benötigt. Hierbei wird am oberen Modellrand (Nagoldtalsperre Erzgrube) der Abfluss (m³/s) eingesteuert und am unteren Modellrand (Pegel in der Stadt Nagold) der Wasserstand (mNN).

Anhand von Abflussmessungen an den Pegeln Altensteig und Nagold Stadt konnte eine Differenz in den jeweiligen Abflussmengen identifiziert werden. Diese Abweichung ist auf die im Untersuchungsgebiet vorhanden Zuflüsse zurückzuführen, zu welchen jedoch keine Messdaten für den untersuchten Zeitraum vorlagen. Die Differenzen sind anhand der vorhandenen Daten ermittelt worden und als Punktquellen ins Modell eingesteuert worden. Diese Zeitreihen stellen den Zufluss in die Nagold durch die Nebenflüsse (z.B. Zinsbach) dar.

Für die Modellierung wurden zur Steuerung des Modells die hydrologischen Daten des Jahren 1993 herangezogen. Für diesen Zeitraum lagen Messdaten für alle o.g. Pegel als 1-Stunden-Werte vor.

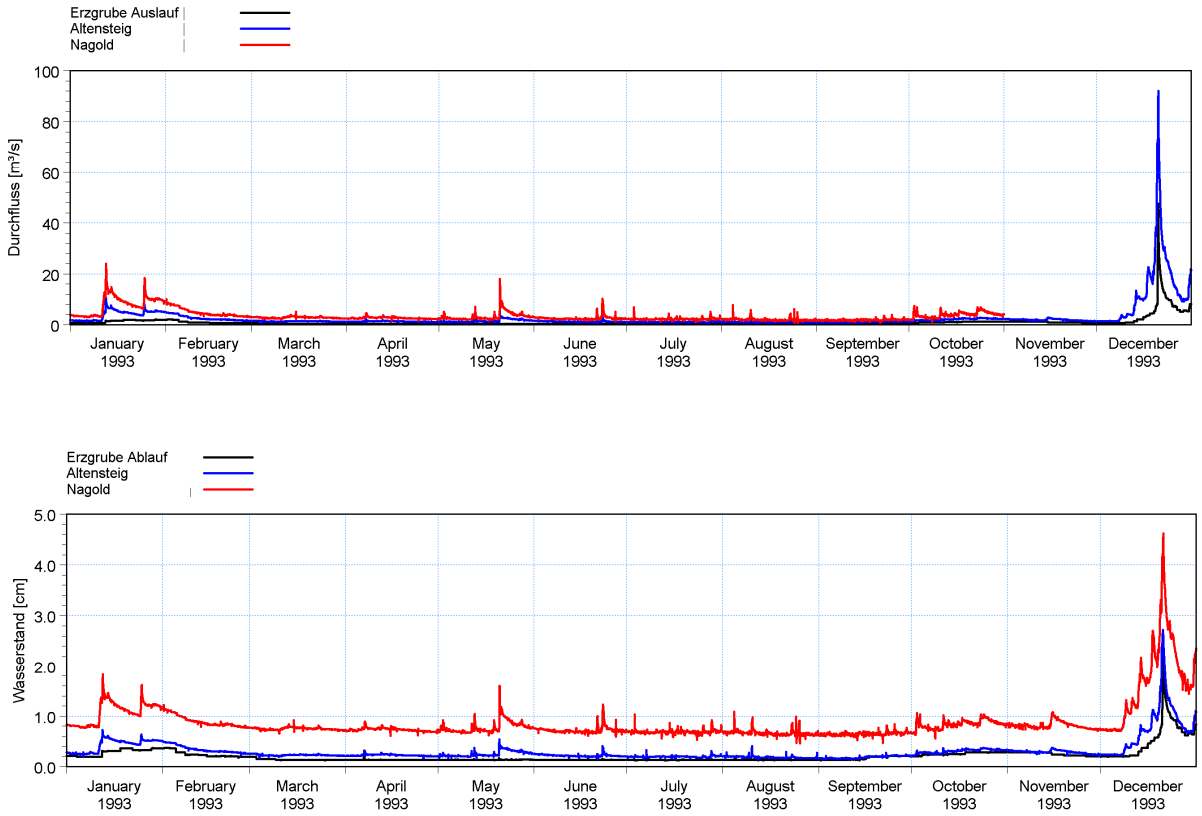

Abb. 2-5: Zeitreihen für gemessenen Wasserstand und Abfluss im Untersuchungsgebiet 1993

2.1.3 Modellkalibirierung

Um belastbare Aussagen zu den zu erwartenden Überschwemmungsflächen treffen zu können, musste das Modell zunächst kalibriert werden. Durch Abgleich von in der Natur gemessenen und im Modell simulierten Parametern (in diesem Fall Wasserstand und Durchfluss) wurde im Zuge der Kalibrierung die Genauigkeit und naturgetreue Funktionsweise des numerischen Modells nachgewiesen. Für die Kalibrierung wurde zunächst der Zeitraum mit dem letzten aufgezeichneten Extremhochwasserereignis vom Dezember 1993 hinzugezogen. Hauptkalibrierparameter war der Beiwert der Sohlrauheit (Manning M), der das Fließverhalten des Wassers über die Gewässersohle bzw. das Überflutungsgelände steuert. Zur Bestimmung der Sohlrauheiten wurden Informationen zu Zusammensetzung des Sohlmaterials im Flussbett der Nagold sowie Angaben zur Beschaffenheit des angrenzenden Geländes hinzugezogen. Darüber hinaus dienten Rückkontrollen im Mesh (Auflösung, Interpolation) und der Bathymetrie ebenfalls der Kalibrierung. Für den gewählten Zeitraum konnte eine den Anforderungen

entsprechende Übereinstimmung erzielt werden. Die Abweichung des gemessenen Wasserstands zum modellierten liegt bei weniger als 10 cm, was einem guten Kalibrierergebnis entspricht. Für einen zusätzlichen Nachweis der Modellgenauigkeit wurde ein Zeitraum im Oktober 1993 hinzugezogen, in welchem über einen Zeitraum von mehreren Tagen ein konstanter, erhöhter Abfluss herrschte. Für diesen Zeitraum wurden sehr gute Kalibrierergebnisse von weniger als 5 cm Abweichung erzielt.

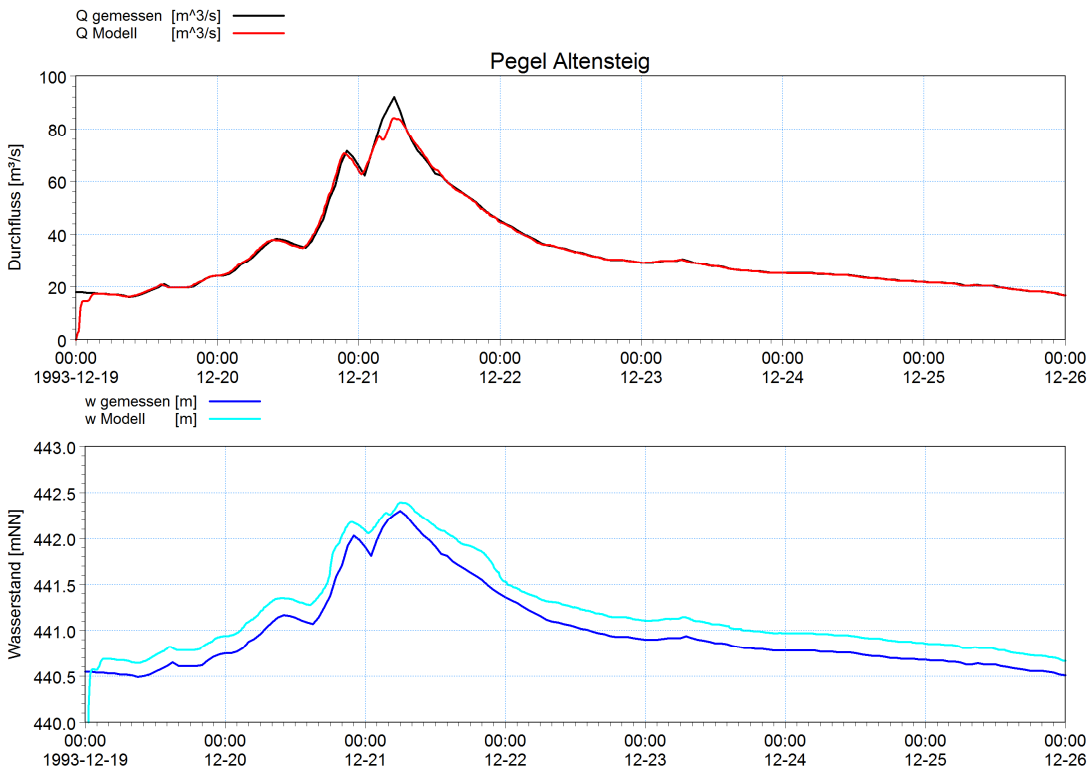

Abb. 2-6: Kalibrierergebnisse am Pegel Altensteig für den Zeitraum Dezember 1993

Um der Fließzeit zwischen dem oberen Modellrand und der Stadt Altensteig Rechnung zu tragen, wurden die Abflussdaten zusätzlich um eine Stunde verschoben. Diese Anpassung der Abflussganglinie führte zu einer guten Übereinstimmung mit den Aufzeichnungen am Pegel Altensteig.

2.1.4 Voruntersuchungen Dammbruch

Um das Systemverhalten und Anhaltspunkte für potentielle Überschwemmungsflächen, sowie die Dauer des Fortschreitens einer Flutwelle, bzw. das Eintreffen dieser im Stadtbereich Altensteig zu quantifizieren, sind im Vorfeld der Untersuchungen zwei Dammbruchszenarien entwickelt und modelliert worden.

Unter Verwendung der MIKE by DHI Software MIKE 11 und eines darin integrierten Dammbruchmoduls wurde zunächst ein eindimensionales Modell der Nagold unter Berücksichtigung der Nagoldtalsperre aufgebaut. Die Nagoldtalsperre befindet sich ca. 10 km nördlich von Freudenstadt im Schwarzwald und wurde zwischen 1965 und

1970 erbaut. Die Konstruktion besteht aus einem Erddamm mit Asphaltdichtung und hat eine Kronenhöhe von 32 m. Der ca. 2,8 km lange Stausee hat ein Fassungsvermögen von ca. 5 Mio. m³ und wurde mit 31 Querschnitten im 1D-Modell nachgebildet.

Abb. 2-7: Satellitenbild der Erzgrube mit Nagoldtalsperre am nordöstlichen Ende des Stausees (Google Earth, 2013)

Es wurden die zwei im Folgenden beschriebenen Versagensmechanismen untersucht: Dambreach und Piping Failure.

Durch das Szenario **Dam Breach** (Breschenbildung anhand Erosion) wird das Versagen eines Erddammes von der Dammkrone aus beginnend beschrieben. Dieser Fall kann z.B. eintreten, wenn extreme Wasserstände in einem Reservoir nicht über die vorhandene Hochwasserentlastungsanlage abgeführt werden können und es zu einem Überströmen der Dammkrone kommt. Zu Beginn des Dammversagens bricht die Dammkrone und es bildet sich eine vordefinierte initiale Bresche. Die Erosion und somit Vergrößerung der Bresche setzt sich im weiteren Simulationsverlauf unter Berücksichtigung der Beschaffenheit des vorgegebenen Dammmaterials fort.

Im Szenario **Piping Failure** beginnt der Versagensmechanismus an einer Schwachstelle im Dammkörper, an welcher es zum Wasseraustritt und zur Bildung einer Sickerströmung kommt. Durch Erosion des Dammmaterials vergrößert sich die Schadensstelle bis zum Kollabieren der Dammkrone durch Stabilitätsverlust. Anschließend kommt der gleiche Ansatz wie beim Dam Breach Szenario zum Einsatz.

Für die Berechnung der Dammbruchszenarien wurde ein Damm-Querschnitt im Modell integriert, an welchem die erforderlichen Parameter zur Definition der Dammstruktur beschrieben wurden. MIKE 11 bietet zwei Optionen zur Berechnung von Dammbrüchen. Es kann ein linearer Zuwachs der Größe der Öffnung an der Versagensstelle unter Vorgabe eines Anfangs- und Endradius ermittelt werden. In der zweiten Option wird ein erosionsbasierter Ansatz verwendet, unter Verwendung von vordefinierten strukturellen und geotechnischen Parametern, die den Dammkörper beschreiben. Für alle vorgenommenen Berechnungen im Projekt EvaSim wurde das erosionsbasierte Verfahren verwendet.

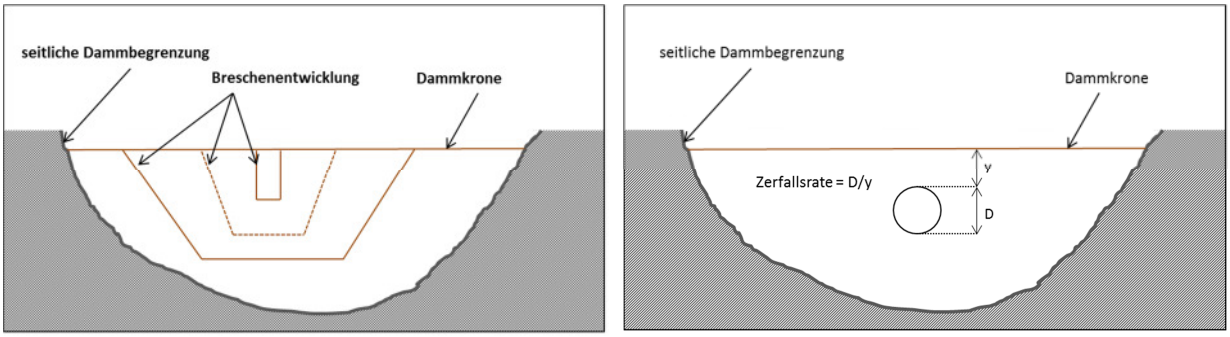

Abb. 2-8: Schematische Darstellung der Versagensmechanismen „Dam Breach“ (links) und „Piping“ (rechts)

Diese Untersuchungen lieferten Informationen zum Verlauf der in den untersuchten Dammbruchszenarien entstehenden Flutwelle sowie der Fortbewegungsgeschwindigkeit dieser. Anhand dieser Berechnungen konnten erste Anhaltspunkte bezüglich der Vorwarnzeiten für die Katastrophenschutzplanung ermittelt werden. Das Ergebnis in Form von Abflusszeitreihen wurde als Randbedingung in das 2D-Modell eingesteuert.

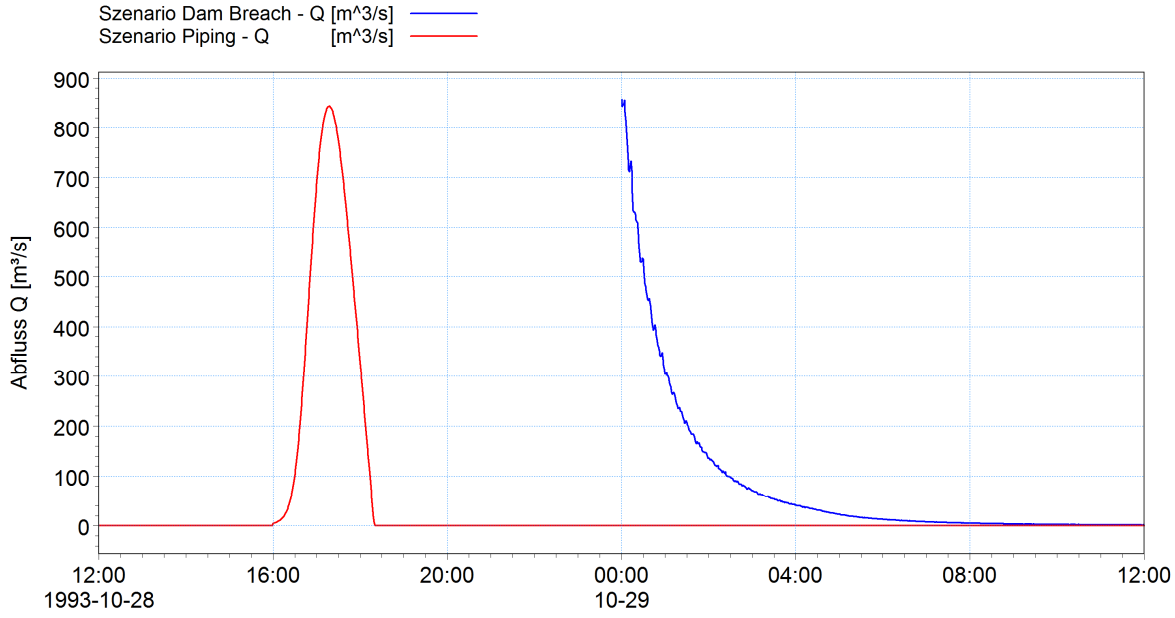

Abb. 2-9: Generierte Abflussganglinien für die untersuchten Dammbruchmechanismen

2.1.5 Modellläufe

Nach einer eingehenden Überprüfung und Optimierung der Modellstabilität, insbesondere bei der Berücksichtigung großer Wassermengen, konnten die finalen zu untersuchenden Szenarien festgelegt werden.

Talsperren- sowie Deichbrüche oder Starkregenereignisse unterscheiden sich von normalen Hochwasserereignissen, insbesondere in Bezug auf die Schnelligkeit ihrer Ausbreitung. Solche extremen Ereignisse gehen mit einer stark verkürzten Vorwarnzeit in gefährdeten Gebieten einher. Daher wurden diese Szenarien in den hydraulischen Untersuchungen im Detail betrachtet und als Basis zur Erstellung von Evakuierungsplänen verwendet.

Auf Basis der eindimensionalen Voruntersuchungen sowie einer Literaturrecherche sind die zu untersuchenden Dammbruchszenarien festgelegt worden. Es wurde ein Dammbruch durch Versagen der Dammkrone simuliert (Dam Breach) sowie ein Versagensmechanismus durch Bildung von Sickerströmungen innerhalb des Dammkörpers (Piping). Für beide Dammbruchszenarien wurden die im 1D-Modell generierten Abflussganglinien als Randbedingung verwendet. Diese wurden als Quellen im 2D Modell eingesteuert (Abflussmenge und Ausbreitungsgeschwindigkeit).

Extreme Niederschläge können zu einem starken Anstieg des Wasserstandes im Reservoir führen, was einen Einsatz der vorhandenen Hochwasserentlastungsanlage erforderlich machen kann. Um die Auswirkungen eines solchen Szenarios nachzubilden, ist eine Hochwasserentlastung über einen Zeitraum von zwei Tagen mit dem Modell nachgebildet worden. Hierbei wurde ein konstanter Abfluss von 146 m^3/s berücksichtigt. Als Grundlage für die Wahl der Eingangsparameter für dieses Szenario dienten Aufzeichnungen der Steuerungs- und Betriebsabläufe der Nagoldtalsperre während des extremen Hochwasserereignisses vom Dezember 1993.

In den letzten untersuchten Szenarien wurden extreme Regenereignisse mithilfe von Ergebnissen aus AP2 (Meteorologie / Hydrologie) simuliert. Hier gingen die anhand von Niederschlag-Abfluss-Modellen ermittelten Wassermengen als Randbedingung in die MIKE 21-Simulationen ein (vgl. 2.1.7.1).

Das Ergebnis aller zweidimensionalen hydraulischen Modellierungen bestand aus einer flächenhaften Darstellung der zeitabhängigen Parameter (Wasserstand, Strömungsrichtung, Strömungsgeschwindigkeit, etc.) innerhalb des betrachteten Gebietes.

2.1.6 Zusatzuntersuchung Verklausungsszenario

Bei Hochwasserereignissen kommt es häufig zu einer Überströmung der angrenzenden Uferbereiche eines Flusslaufs, sodass große Mengen an Material (Vegetation, Holz) mit der Hochwasserwelle häufig abgetragen werden. An Engstellen wie Brücken, Stauwehren und engen Flusskrümmungen kann es zu einer Verkantung und Ablagerung dieses Materials kommen, die mit einer Verengung des durchflusswirksamen Gerinnequerschnittes einhergeht. Dies kann zu einem partiellen oder vollständigen Verschluss des Durchflussquerschnittes (Verklausung) führen.

Im Rahmen von EvaSim sind extreme Hochwasserereignisse mit dem numerischen Modell nachgebildet worden. Durch die vorhandene Topographie im betrachteten Untersuchungsgebiet ist beim Auftreten solcher Extremereignisse entlang der Nagold mit einer Verklausung zu rechnen. Aufgrund des engen Kerbtals, das entlang beider Ufer eine hohe Vegetationsdichte aufweist, ist eine überdurchschnittliche Menge mitgeführten Treibguts zu erwarten.

Bei dem letzten aufgezeichneten extremen Hochwasserereignis im Dezember 1993 ist es an mehreren Brückendurchlässen durch Treibgutansammlungen zu einem teilweisen oder gar vollständigen Verschluss des Durchflussquerschnittes durch das im Wasserkörper mitgeführte Material gekommen. Unter anderem ist es hierbei zu einer großflächigen Überflutung eines ufernahmen Campingplatzes gekommen, wodurch neben erhöhten Mengen an Treibholz auch große Elemente wie Wohnwagen und Campingausrüstung vor Brücken angeschwemmt wurden.

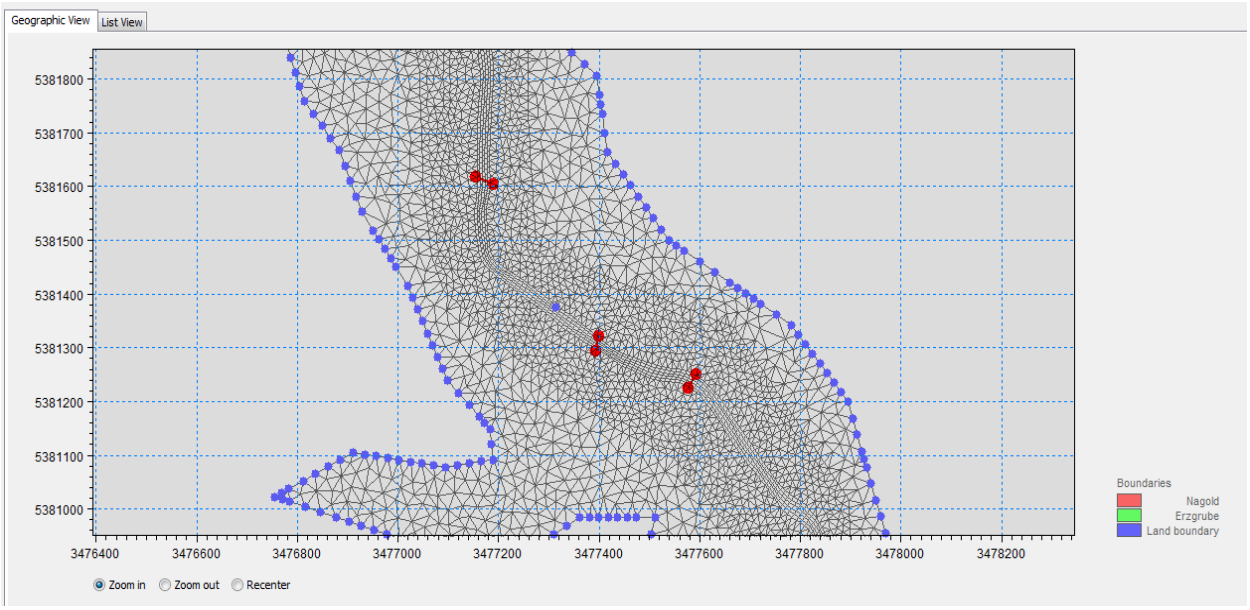

Abb. 2-10: Mesh und Lage von Brückenquerschnitten

Um eine mögliche Verklausung in den hydraulischen Untersuchungen zu berücksichtigen, sind 24 Brücken entlang der Nagold zwischen den Pegeln Erzgrube

und Nagold im numerischen Modell integriert worden und deren Abflusskapazität entsprechend einer Verklausung um 80 % reduziert worden. Anhand von Vermessungsdaten sind die vorhandenen Brückenquerschnitte digitalisiert und im Modell berücksichtigt worden. Unter Verwendung der Software MIKE Flood wurde für die Untersuchung der Wirksamkeit der Brückenquerschnitte eine Kopplung der 1D- und 2D-Modelle vorgenommen.

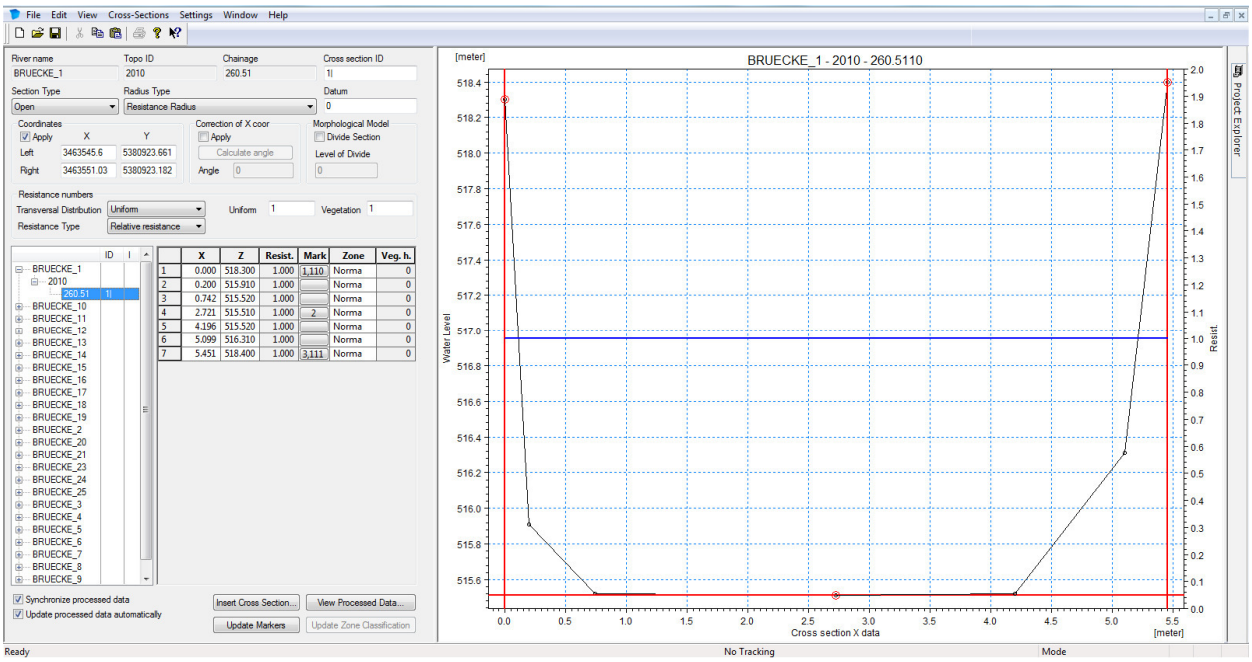

Abb. 2-11: Beispiel eines berücksichtigten Brückenquerschnitts als 1D-Struktur in MIKE 11

Die Simulationsergebnisse haben gezeigt, dass für die Betrachtung extremer Hochwasserereignisse die Brückenöffnungen von geringer Bedeutung sind. Während bei mittleren Hochwasserereignissen ein Wasseraufstau vor den Brückendurchlässen in den Simulationsergebnissen zu erkennen ist, kommt es bei Extremereignissen sowohl bei vollständig geöffneten als auch bei den durch Verklausung verringerten Querschnitten zu einem raschen Umströmen der Brückenkonstruktion. Dies ist auf die großen Wassermengen und -geschwindigkeiten zurückzuführen.

2.1.7 Schnittstellengenerierung

Ein essentieller Bearbeitungspunkt im Verbundforschungsprojekt war die Weitergabe der Ergebnisse. Dies erfolgte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anforderungen, Formate und Softwareanwendungen. Die Ergebnisse der hydrodynamischen Modellierung wurden den Anforderungen der nachgestellten Bearbeitungsschritte entsprechend ausgewertet und derart formatiert, dass das Weiterverwenden dieser problemlos erfolgen konnte. Übergabeformate wurden zu Projektbeginn zwischen den betroffenen Instanzen abgesprochen und definiert. Die

folgende Grafik verdeutlicht schematisch die Relation der einzelnen Arbeitspakete untereinander:

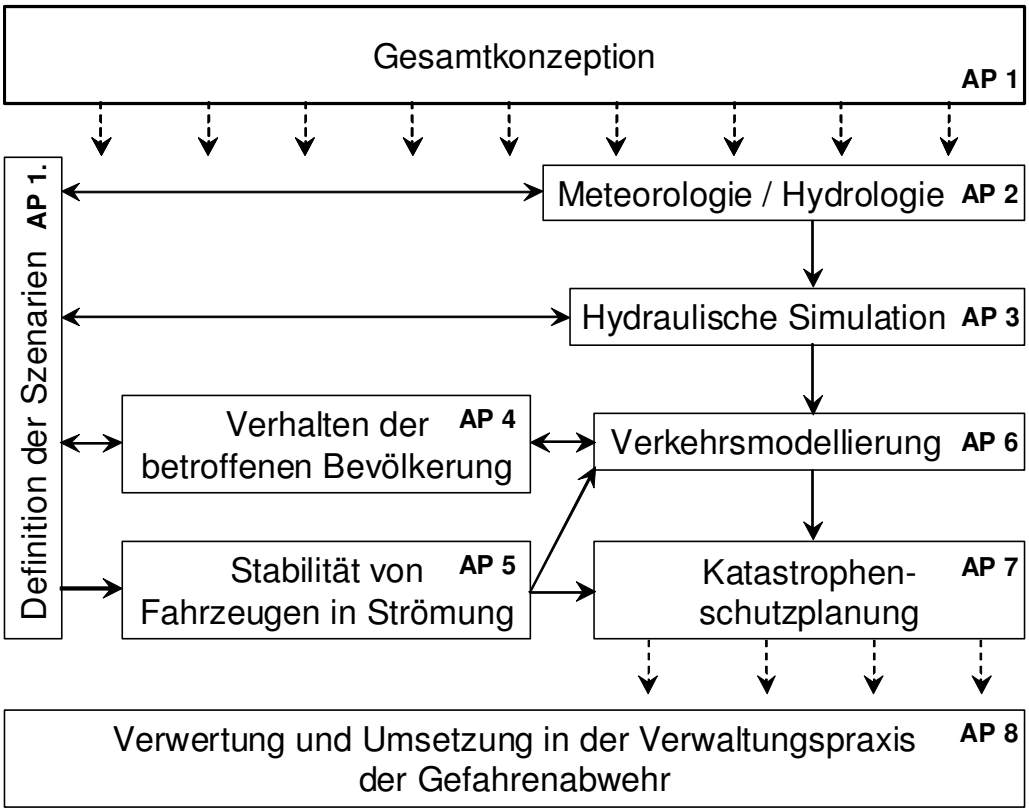

Abb. 2-12: Projektstruktur des Forschungsvorhabens EvaSim

Für die Schnittstellengenerierung waren mehrere Arbeitsschritte erforderlich, um das abgestimmte Datenformat zu erhalten. Die wissenschaftliche Herausforderung lag aus wasserbaulicher Sicht darin, die Übergabe der modelltechnisch diskret ermittelten, flächenhaft ausgegebenen hydraulischen Parameter an das Verkehrssimulationsprogramm, das mit vektorbasierten Straßendaten rechnet, zu realisieren. Die Schnittstellengenerierung erfolgte in Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern. Auf die einzelnen Schnittstellen wird in den folgenden Kapiteln eingegangen.

2.1.7.1 Schnittstelle zu AP2 – Meteorologie / Hydrologie

Im Rahmen des AP2 – Meteorologie / Hydrologie, sind historische Klimadaten für das Untersuchungsgebiet ausgewertet und extreme Belastungsszenarien für die Nagoldtalsperre an der Universität Stuttgart (Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie) generiert worden. Unter Berücksichtigung des zu erwartenden Klimawandels sind diese Ereignisse numerisch modelliert worden und Informationen über den räumlichen und zeitlichen Verlauf möglicher hydrometeorologischer Extremereignisse daraus abgeleitet worden. Diese Erkenntnisse dienen der Verbesserung der Vorhersage bei Extremereignissen und

somit zu einer Optimierung von Vorwarnzeiten. Die Ergebnisse dieser Berechnungen standen in Form von Abflussganglinien zur Verfügung und konnten im AP3 als Eingangsparameter für die hydrodynamisch-numerische Untersuchung von Hochwasserereignissen übernommen werden. Eine angepasste Schnittstelle war für diese Kopplung der Arbeitspakete 2 und 3 nicht erforderlich.

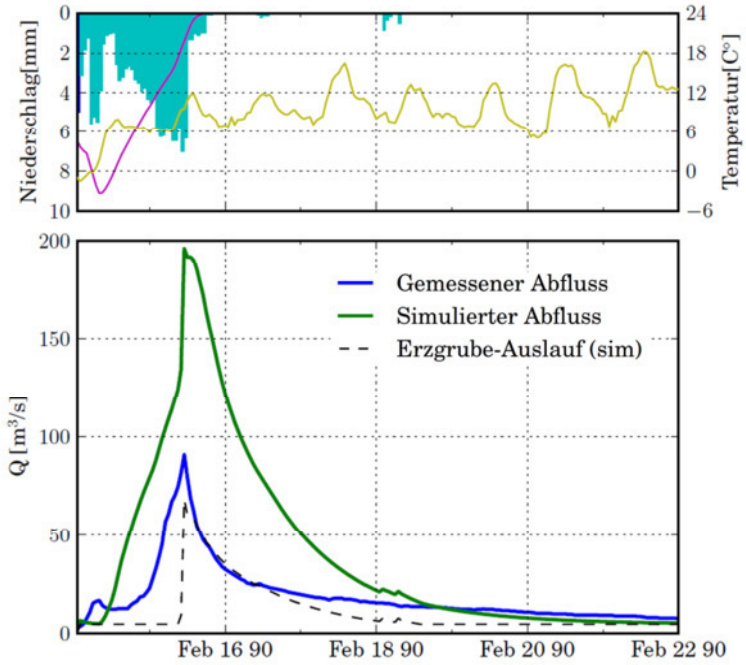

Abb. 2-13: Beispiel eines Simulationsergebnisses von AP2

2.1.7.2 Schnittstelle zu AP4 – Verhalten der betroffenen Bevölkerung

Im AP4 wurde durch die Forschungsgruppe ZIRIUS (Zentrum für Interdisziplinäre Risiko- und Innovationsforschung) an der Universität Stuttgart das Verhalten der betroffenen Bevölkerung im betrachteten Gebiet Altensteig erforscht. Im Fokus dieses Arbeitspaketes stand die Fragestellung, inwiefern sich die Reaktion und das Verhalten der Bevölkerung bei Evakuierungsmaßnahmen vorhersehen lassen. Da dieses Themengebiet noch nicht ausreichend erforscht ist, wurden die aus einer Literaturrecherche gewonnenen Kenntnisse durch Untersuchungen im Rahmen von EvaSim erweitert. In einem ersten Schritt hat eine Befragung von Fokusgruppen durchgeführt, die stellvertretend für bestimmte Menschengruppen, das Fluchtverhalten in einer Gefahrensituation wiedergeben. In einem zweiten Schritt fand eine umfangreichere telefonische Befragung der Bevölkerung Altensteigs statt. In einem dritten Schritt fand eine agentenbasierte Modellierung des Fluchtverhaltens im Fall eines Versagens der Nagoldtalsperre.

Für beide Befragungen sowie für die Modellierung waren detailliertere Kenntnisse zur potentiellen Gefahr im Falle eines extremen Überflutungsereignisses im

Untersuchungsgebiet erforderlich. Diese Informationen wurden den Ergebnissen des AP3 entnommen.

Hier kam die von DHI entwickelte Flood Toolbox (Abb. 2-14) zum Einsatz. Bei der Flood Toolbox handelt es sich um ein Softwaretool, das der Unterstützung der Implementierung der EU- Hochwasserrahmenrichtlinie 2007/60/EG (EG-HWRL) dient, die die Erstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen für Bewertung und Management von Hochwasserrisiken fordert. Diese Anwendung ermöglicht eine GIS-basierte Auswertung der Ergebnisse der hydrodynamischen Modellierung. Durch Interpolation der ermittelten Überschwemmungsfläche und Wasserspiegellagen mit dem DGM können genaue Wassertiefen im Stadtgebiet Altensteig für beliebig gewählte Zeitpunkte im Verlauf der Hochwasserereignisses ermittelt und in GIS-kompatiblen Formaten exportiert werden.

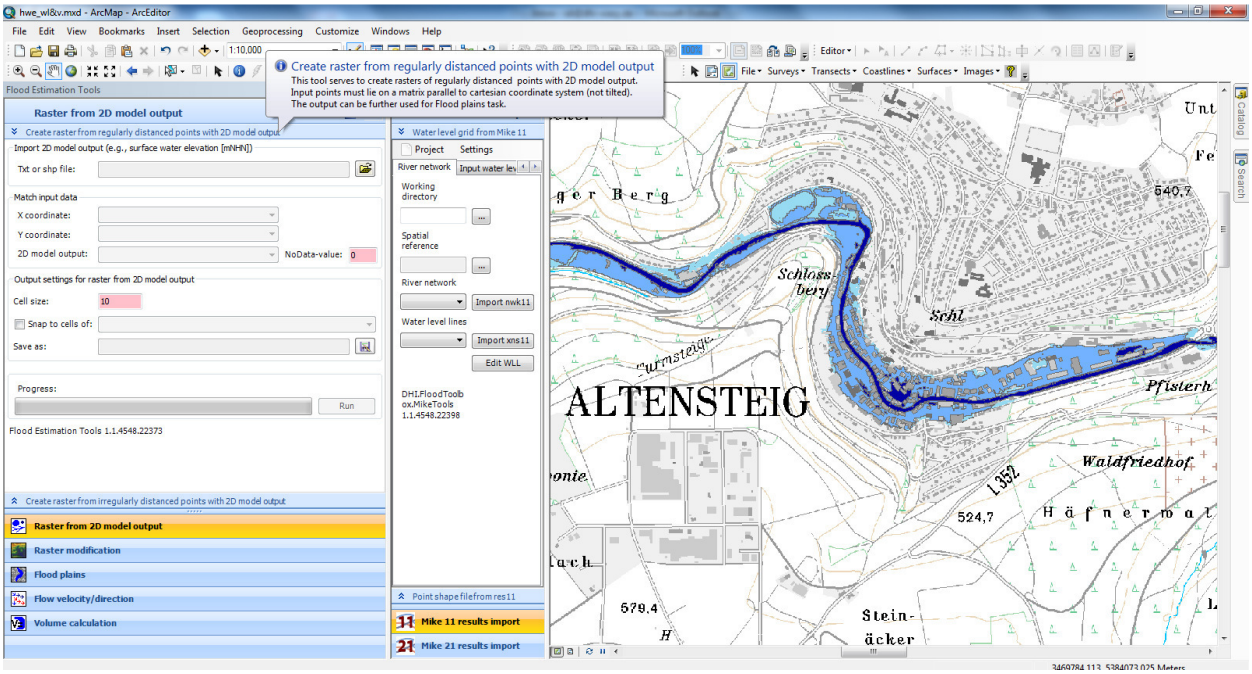

Abb. 2-14: DHI Flood Toolbox und Darstellung von Überflutungsfläche in Altensteig

Folgende Komponenten der Flood Toolbox wurden bei der Bearbeitung von EvaSim verwendet:

- MIKE Basistool - Mit diesem Modul wurden in einem ersten Schritt Ergebnisdateien der hydrodynamisch-numerischen Modellierung mit allen relevanten Informationen in ArcGIS importiert.
- Flood Estimation Tool – Dieses Modul ermöglicht eine Umwandlung der hochwasserrelevanten Modellergebnisse (z.B. Wassertiefen) in Rasterdaten. Durch eine Verschneidung dieser Daten mit den vorhandenen Rasterdaten des Geländemodells können Überflutungsflächen und -tiefen mit einer hohen Auflösung generiert werden. Im Bereich Altensteig wurden neben den

Hochwasserkarten, die entstehenden Fließgeschwindigkeiten und –richtung aus den Modellergebnissen extrahiert.

- Flood Map Generation – Mit diesem letzten Schritt lassen sich auf Grundlage der vorangegangenen Tools Hochwasserkarten für beliebige Zeitschritte während eines Hochwasserereignisses erstellen. Unter Verwendung von Formatvorlagen kann eine automatisierte Kartenproduktion im Batch-Mode erfolgen.

Durch die Modellierung von Dammbruchszenarien wurde seitens DHI aufgezeigt, welche Flächen im Untersuchungsgebiet bei Eintritt eines solchen Extremereignisses überflutet werden und welche trocken bleiben. Auf Basis der Ergebnisse der 2D-Modellierung wurden Überflutungskarten erstellt, die dem AP 4 zur Verfügung gestellt wurden. Die detaillierte Diskretisierung der Stadt Altensteig im Modell inkl. der vorhandenen Bebauung ermöglichte eine realistische und für die Bevölkerung verständliche Visualisierung der gefährdeten Gebiete. Eine zweite, bedeutende Information für die betroffene Bevölkerung war der zu erwartende zeitliche Verlauf eines solchen extremen Hochwasserereignisses. Für die Befragungen wurden die maximalen Überschwemmungsflächen in Form von Karten, sowie Informationen zum Eintrittszeitpunkt der Hochwasserwelle im Stadtgebiet Altensteig nach Beginn des Dammbruchs von AP3 zur Verfügung gestellt.

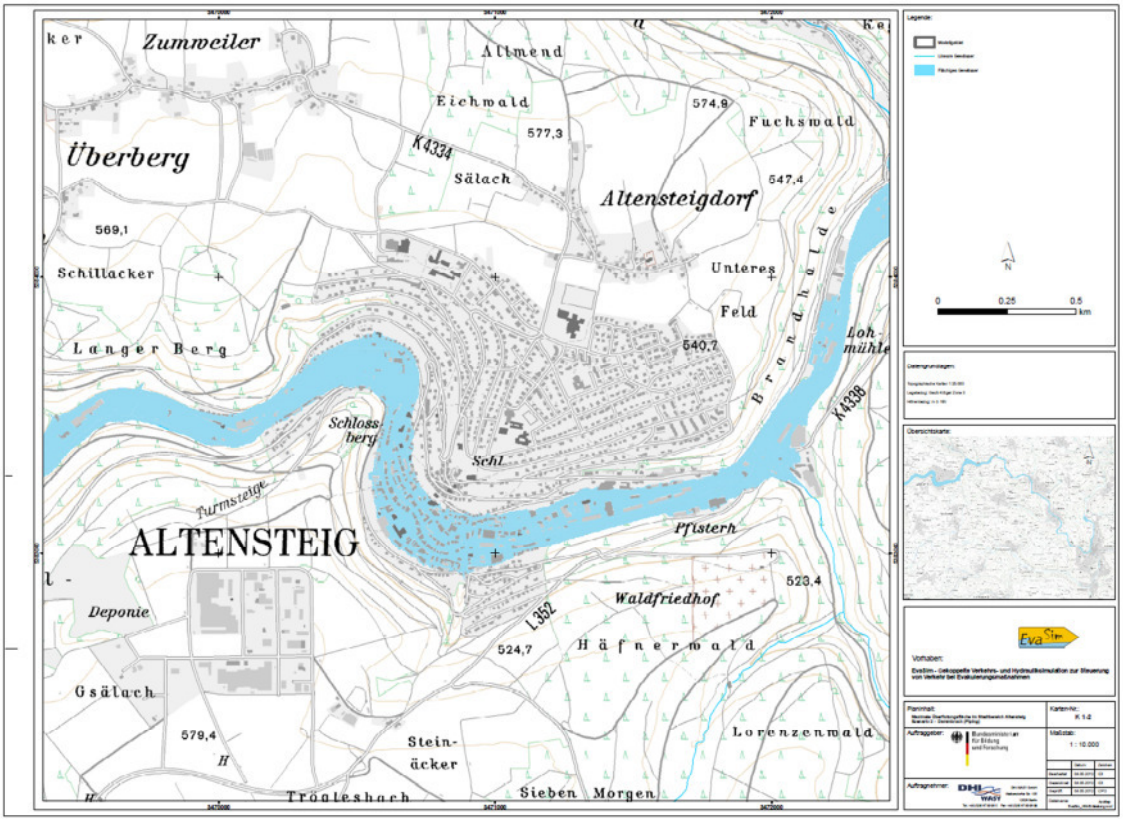

Abb. 2-15: Darstellung von Überflutungsfläche in Altensteig unter Verwendung des Flood Map Generation Tools von DHI

Für die agentenbasierte Simulation war nicht nur die maximale Ausbreitung der Überflutungsflächen von Bedeutung, sondern auch der genaue zeitliche Verlauf dieser. Die Ergebnisübergabe fand in Form von Shape-Dateien statt, die jeweils in einer Zeitschrittweite von 15 Minuten die entstehende Überschwemmungsfläche darstellten.

2.1.7.3 Schnittstelle zu AP5 – Stabilität von Fahrzeugen in Strömung

AP5 befasste sich mit der Stabilität von Fahrzeugen in Strömung. Hierzu wurden neben einer eingehenden Literaturrecherche physikalische Modellversuche am Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart vorgenommen, um Informationen zu Stabilitätskriterien für diese Fragestellung zu gewinnen. Die Untersuchungen anhand von physikalischen Modellen stellen eine Verbindung zwischen der hydrodynamischen Modellierung und der Verkehrsmodellierung dar, da über diesen Schritt Befahrbarkeitsparameter für überflutete Fahrbahnen ermittelt werden konnten. In einer Versuchsrinne im Labor wurde unter Berücksichtigung variierender Wasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten und Anströmwinkel untersucht, inwiefern sich diese auf die Manövrierfähigkeit von Fahrzeugen auswirken. Diese Grenzwerte wurden sowohl für PKW als auch für Rettungsfahrzeuge ermittelt.

AP3 erhielt von AP5 Angaben über die maximal zulässigen Wasserstände als Übergabeparameter, die eine Grundlage für die Kopplung von AP3 und AP6 darstellten.

Die Ergebnisse der hydraulischen Modellierung wurden mit den Ergebnissen der physikalischen Modellierung gekoppelt, indem eine Schnittstellenanwendung mit Matlab programmiert wurde, die das Auslesen der relevanten Parameter (Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und –richtung) aus den Ergebnissen der simulierten extremen Hochwasserereignisse für alle Zeitschritte ermöglichte (siehe 2.1.7.4).

2.1.7.4 Schnittstelle zu AP6 – Verkehrsmodellierung

Im AP6 wurden Verkehrssimulationen für die EvaSim-Untersuchungsgebiete durchgeführt. Unter Berücksichtigung von Informationen zum Verkehrsangebot, zur Siedlungsstruktur, zum Verkehrsverhalten der Bevölkerung sowie den Kapazitäten des Verkehrswegenetzes sind unterschiedliche Szenarien berechnet worden. Neben typischen Aktivitätsmustern, von denen die tageszeitliche Belegung und Nutzung der Verkehrswege ermittelt wurde, ist die Verkehrsentwicklung bei Extremereignissen untersucht worden. Informationen und Ergebnisse der Soziologiestudien sind in diese Simulationen eingeflossen.

Zur Nachbildung der zeitabhängigen Kapazitäten des Verkehrsnetzes im Falle extremer Überflutungsereignisse war eine Weitergabe der Ergebnisse aus AP3 erforderlich. Anhand der hydraulischen Simulationen wurde für jedes Element des abgebildeten Verkehrswegenetzes ermittelt, ab welchem Zeitpunkt die Befahrbarkeit eingeschränkt oder nicht mehr gegeben war. Für eine zeitabhängige Ermittlung der vorhandenen Kapazitäten mussten Informationen zu Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsrichtung aus dem hydraulischen Modell für jeden Untersuchungspunkt im betrachteten Verkehrswegenetz extrahiert werden. Das in Abb. 2-16 dargestellte Straßennetzwerk wurde in der von DHI entwickelten Schnittstelle für das Untersuchungsgebiet Nagold berücksichtigt.

Eine besondere Herausforderung bot hier die Kopplung der unterschiedlichen Betrachtungsdimensionen. Da der Verkehr an Straßen gebunden ist, waren auch die Verkehrssimulationen liniengebunden. Innerhalb des Forschungsprojektes war zu klären, wie die zeitlich abhängigen Flächendaten aggregiert werden mussten, um als Eingangsdaten für die Verkehrssimulationen verwendet werden zu können.

Die Aufgabe des von DHI entwickelten Tools war zunächst die Bestimmung und Ausgabe der Anströmwinkel und anderer Berechnungsergebnisse im gewählten Schnittstellenformat. In einem weiteren Verfahrensschritt kam zu einem späteren Zeitpunkt die Ermittlung der zeitabhängigen Befahrbarkeit der Straßen hinzu, die die in den physikalischen Versuchen von AP5 erarbeiteten Ergebnisse berücksichtigte. Bei der Feststellung der Befahrbarkeit der Straßen sollte nicht nur ermittelt werden, ob diese überflutet werden, es sollte auch ein vordefinierter Freiboard (s. Kap. 2.1.7.3) freigehalten werden. In dem ersten Bearbeitungsschritt zur Bestimmung des Anströmwinkels wurde ein Arbeitsablauf entwickelt, der noch mehrere verschiedene Programme beinhaltete. Darunter befanden sich neben bestimmten MIKE-Ausgabefunktionen auch eigens für das Projekt EvaSim erstellte Programmkomponenten.

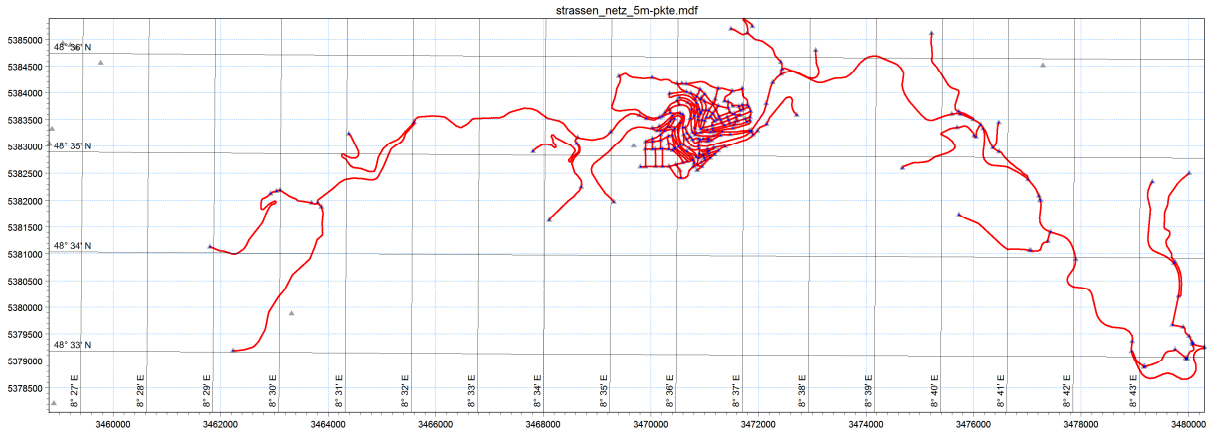

Abb. 2-16: Berücksichtigtes Verkehrswegenetz entlang der Nagold und in Altensteig

Datenaufbereitung

Der Arbeitsablauf kann wie folgt skizziert werden: In einem ersten Schritt wurden die von AP6 erhaltenen Knotenpunkte sowie das in den hydraulischen Simulationen verwendete Berechnungsnetz (Mesh) in ArcGIS eingelesen und beide Informationen miteinander verschnitten. Hierfür mussten zunächst Algorithmen und Methoden gefunden werden, um Flächeninformationen aus den errechneten Überschwemmungsflächen auf Linienzüge (Straßen) zu verdichten, bzw. abzubilden. Für die gleichen Straßenpunkte wurde eine Verschneidung mit dem digitalen Geländemodell (DGM) vorgenommen. Nach diesem Schritt lagen die folgenden ausgelesenen Informationen in Textformat vor:

1. Punktkoordinaten (Lage in Gauss-Krüger Koordinaten, Höhe in mNN)
2. Punktnummer
3. Straßenangaben
    a. Nummer des Straßenabschnitts
    b. Startpunkt des Straßenabschnittes
    c. Endpunkt des Straßenabschnittes
4. Mesh-Elementnummer aus Berechnungsgitter

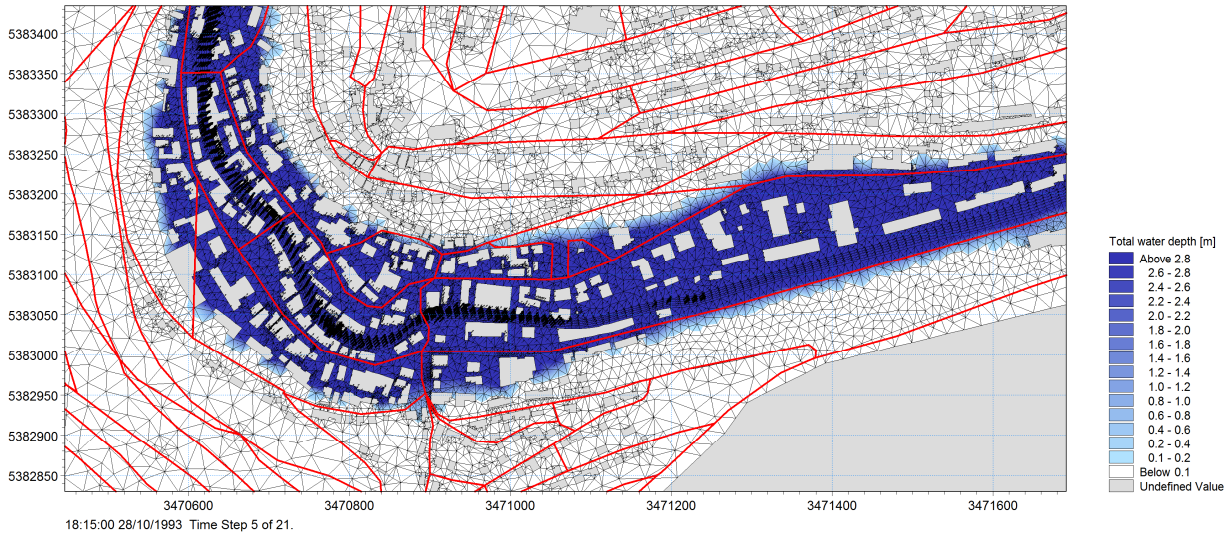

Abb. 2-17: Berücksichtigtes Verkehrswegenetz Stadtbereich Altensteig, überfluteter Zustand

Während die zeitabhängigen Informationen zu den Strömungsgeschwindigkeiten sowie Wassertiefen an den Auswertungspunkte bereits durch die o.g. Verschneidungsmethode aus den MIKE-Ergebnisdateien entnommen werden konnten, erforderten die übrigen Parameter einen weiteren Aufbereitungsschritt. Für die Ermittlung der Anströmwinkel mussten die ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten, die auf das im Modell verwendete Koordinatensystem ausgerichtet sind, auf die Richtung der Achse des jeweiligen Straßenabschnittes bezogen werden. Die errechneten Wasserstände musste in Relation zur

Straßenoberkante umgerechnet werden, um den Überschwemmungsgrad, bzw. das Einhalten eines vordefinierten Freibords, zu ermitteln.

Berechnung der Anströmwinkel

Der Anströmwinkel wurde jeweils aus der simulierten Strömungsrichtung und den Richtungswinkeln der Straßen gebildet. Die Strömungsrichtung lag flächendeckend für alle Mesh-Elemente des Untersuchungsgebietes und den gesamten Simulationszeitraum in den *.dfsu-Dateien vor. Nach der Datenaufbereitung lagen durch Verschneidung der Ergebnisse und des vordefinierten Verkehrswegenetzes die zeitabhängigen Strömungsrichtungen an allen Straßenknoten vor. Die Ermittlung der Strömungsrichtungen in Bezug zur Fahrbahnachse fand in einem gesonderten Tool statt. Eine Straße wurde dabei durchgehend berechnet. Es wurde immer der Richtungswinkel vom aktuellen Punkt zum Folgepunkt berechnet. Der Endpunkt erhielt den Richtungswinkel des Vorgängers. Startpunkt einer Straße war der nördlichere Endpunkt. Besitzen beide den gleichen Nordwert, wurde der westlichere zum Startpunkt (s. Abb. 2-18).

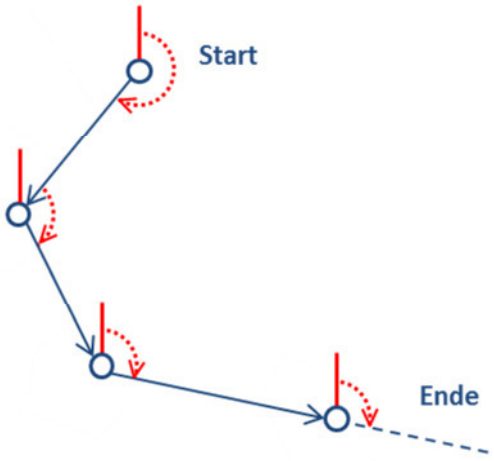

Abb. 2-18: Konvention zur Bestimmung der Straßenwinkel

Der Anströmwinkel wird immer der Wert des eingeschlossenen kleineren Winkels zwischen der Fließrichtung und der Straßenrichtung. Er kann somit nur einen Wert von 0 – 90° annehmen. Mehrere interne Abfragen und Korrekturalgorithmen im Tool gewährleisten die Einhaltung dieser Konventionen.

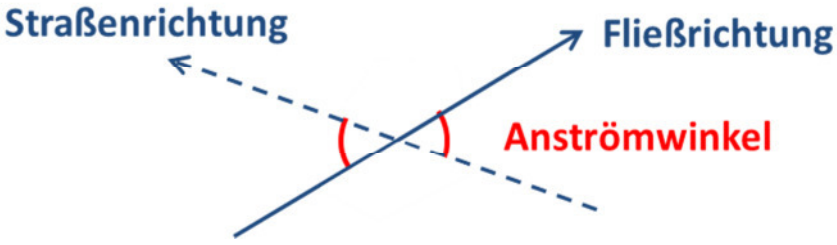

Abb. 2-19: Konvention zur Bestimmung der Anströmwinkel in Bezug zur Straßenrichtung

Die Abb. 2-20 stellt einen Ausschnitt aus einer Ergebnisdatei im Übergabeformat dar, das zwischen den unterschiedlichen Arbeitspaketen im Vorfeld definiert wurde. Die ersten vier Spalten dienen zu Beschreibung des jeweiligen Auswertungspunktes (Nummer des Straßenabschnittes, Punktnummer, Rechts- und Hochwert) in den darauf folgenden Spalten sind die Ergebnisse für die mit dem o.g. Auswertungstool ermittelten Anströmwinkel. Es wird pro Spalte das Ergebnis für das gesamte Untersuchungsgebiet für einen Berechnungszeitschritt (TS = timestep) dargestellt.

File Edit Search View Tools Macros Configure Window Help

ArcID	Vertex	Rechtswert	Hochwert	TS_0	TS_5	TS_10	TS_15	TS_20	TS_25	TS_30	TS_35	TS_40
52772468	1	3475755	5383605	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	2	3475749	5383605	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	3	3475745	5383606	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	4	3475735	5383608	8.187	8.104	8.105	8.105	8.105	8.104	8.104	8.104	8.104
52772468	5	3475725	5383610	12.845	12.722	12.722	12.723	12.723	12.723	12.723	12.723	12.723
52772468	6	3475716	5383612	77.471	77.471	77.471	77.471	77.471	77.471	77.471	77.471	77.471
52772468	7	3475711	5383613	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	8	3475706	5383614	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	9	3475701	5383615	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	10	3475682	5383613	83.991	83.991	83.991	83.991	83.991	83.991	83.991	83.991	83.991
52772468	11	3475677	5383613	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	12	3475662	5383611	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	13	3475652	5383610	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	14	3475637	5383609	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	15	3475623	5383607	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	16	3475613	5383606	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	17	3475598	5383605	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52772468	18	3475598	5383604	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59404726	1	3471852	5383278	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59404726	2	3471849	5383274	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59404726	3	3471845	5383271	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59404726	4	3471841	5383260	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59404726	5	3471834	5383261	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59404726	6	3471830	5383257	40.885	41.705	41.623	41.539	41.628	41.745	41.72	41.56	41.26
59404726	7	3471827	5383254	49.197	49.186	49.151	49.181	49.153	49.148	49.162	49.127	49.086

Abb. 2-20: Übergabeformat für Ergebnisse

Ermittlung der Befahrbarkeit einer Straße

Im Falle extremer Hochwasserereignisse werden Straßenzüge nicht gleichmäßig überflutet. In Abhängigkeit von der örtlichen Topografie kommt es in tieferliegenden Bereichen schneller zu einer Einschränkung der Befahrbarkeit. Sobald ein Abschnitt einer Straße jedoch für unbefahrbar erklärt wird, gilt diese Restriktion für den gesamten Straßenzug. Diese Information musste in den Verkehrssimulationen berücksichtigt werden, um Straßensperrungen in den Berechnungen zu berücksichtigen. Im Laufe der Projektbearbeitung wurden folglich die Übergabeparameter Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit und –richtung um die Variable „Befahrbarkeitsstatus“ ergänzt. Ein zusätzliches Tool ermöglichte eine Abfrage an allen Auswertungspunkten des Verkehrswegenetzes, das für alle in den hydrodynamischen Simulationen berechneten Zeitschritten eine boolesche Variable zum Befahrbarkeitsstatus ermittelt. Der untersuchte Grenzwert berücksichtigte den von AP5 ermittelten Freibord.

Für alle Punkte wurden die folgenden Schritte durchlaufen:

1. Ermitteln der Fluss-/Gewässer-Elemente: Alle Elemente, die im 1.Zeitschritt (vor Beginn eines Überflutungsereignisses) einen Wasserstand aufweisen werden als Flussschlauch definiert

2. Zuordnen der Flusselemente zu den Straßenpunkten: jedem Straßenpunkt wird das nächstliegende Flusselement zugeordnet (kürzeste Entfernung von den Punktkoordinaten zu den Elementmittelpunktkoordinaten).
3. Kontrolle, ob der Freiboard evtl. schon im ersten Zeitschritt nicht eingehalten wird: Höhen aus dem DGM können beispielsweise an Brücken Probleme darstellen. Wenn der Freibord nicht eingehalten wird, dann erhält der Punkt die Höhe des Mittelpunktes von dem Element, in dem er liegt, jedoch nur, wenn die Mittelpunkthöhe größer ist.
4. Auswertung der Befahrbarkeit: Je Straße werden die gesamten Straßenpunkte ausgewertet. Es wird verglichen: (Punkthöhe – Freibord) > Surface Elevation des zugewiesen Flusselements im aktuellen Zeitschritt. Sobald ein unbefahrbares Element gefunden wird, wird die Straße für den Zeitschritt auf unbefahrbar (1) gesetzt und die weiteren Punkte nicht mehr ausgewertet.

Werte in Ausgabedatei: 0 = befahrbar/Freiboard eingehalten;
1 = unbefahrbar/ Freiboard nicht eingehalten

Unter Verwendung dieser Informationen konnten von AP6 zeitabhängige Fluchtrouten aus dem Gefahrengebiet ermittelt werden. Diese Berechnungen wurden für unterschiedliche Fahrzeuge vorgenommen (Personenfahrzeuge, Rettungsfahrzeuge).

Benutzeroberfläche und Parameter

Mit der Implementierung des Befahrbarkeitsstatus wurde dieses Verfahren überabeitet mit dem Ziel, die Handhabung zu vereinfachen und den Arbeitsprozess zu beschleunigen. Dazu wurde unter Visual Studio mit C# ein neues Tool entwickelt, das auch eine Graphische Benutzer Oberfläche (GUI = graphical user interface) enthält. Bevor das Tool angewendet werden kann, müssen die Eingangsdaten noch mit ArcGIS und einem Texteditor aufbereitet werden. Durch den Einsatz des Tools verringert sich die Bearbeitungszeit erheblich.

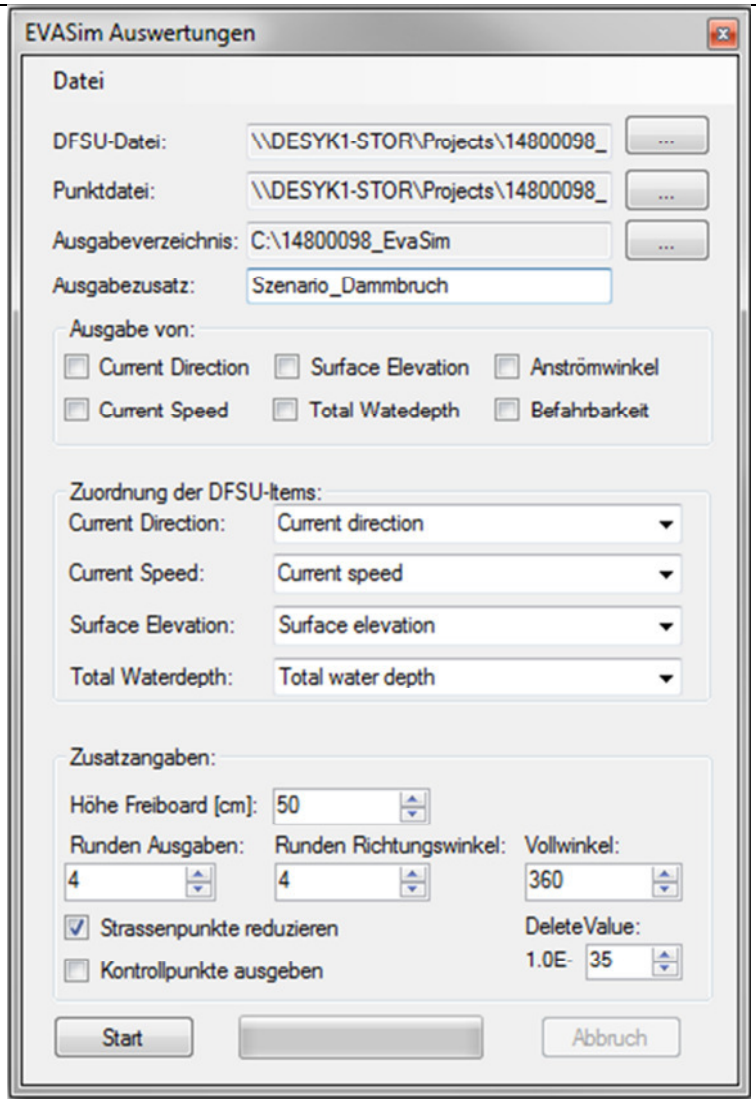

Abb. 2-21: Grafische Oberfläche des programmierten Auswertungstools für die Ausgabe der Ergebnisse der hydrodynamischen Untersuchungen im Übergabeformat

Die Funktionen des programmierten EvaSim-Auswertungstools werden im Folgenden erläutert:

Dfsu-Datei (Hydrodynamik): Die Ergebnisse der MIKE-Überflutungssimulationen liegen im dfsu-Format vor und können über die grafische Nutzeroberfläche eingeladen werden.

Punktdatei (Straßennetz): Über den Datei-Auswahldialog wird eine Punktdatei geladen, die die Straßenpunkte abbildet. Für jeden Straßenpunkt müssen die folgenden Informationen in der Datei enthalten sein: Punktnummer, Koordinaten (X, Y, Z), Angaben zur Straße (Straßennummer, Anfangspunkt, Endpunkt) und Nummer des Elements der dfsu-Datei, in dem der Punkt liegt.

Ausgabeverzeichnis: Zielverzeichnis und Name der zu erstellenden Ergebnisdatei können hier definiert werden.

Ausgabezusatz: Hier kann ein Zusatz für die Dateinamen eingeben werden. Der Zusatz wird dem jeweiligen Dateinamen vorangestellt und von diesem mit einem „_“ getrennt.

Ausgabe von: In diesem Auswahlbereich kann angegeben werden, welche Ausgabedateien erstellt werden sollen. Zur Auswahl stehen die Ergebnisparameter „Current Direction“ (Strömungsrichtung), „Current Speed“ (Strömungsgeschwindigkeit), „Surface Elevation“ (Wasserspiegelauslenkung), Total Waterdepth” (Gesamtwassertiefe), “Anströmwinkel” und “Befahrbarkeit”.

Zuordnung der DFSU-Items: Durch die Zuordnung der Items aus der Dfsu-Ergebnisdatei gibt der Benutzer vor, welche Daten für die jeweilige Auswertung verwendet werden sollen. Wird einem Bereich kein Item zugeordnet, so wird für diesen keine Auswertung durchgeführt.

Zusatzangaben: Hier kann der Benutzer zusätzliche Angaben für die Auswertung vornehmen.

- Höhe Freiboard: Der Benutzer kann hier die Höhe des Freiboards eingeben, die eingehalten werden muss, damit die Straße noch als befahrbar gilt. Der Wert wird in Zentimetern angegeben. Der Standardwert ist 50cm.
- Runden Ausgaben: Hier wird die Anzahl der Dezimalstellen angegeben, auf die die Ausgaben gerundet werden. Standardwert sind 4 Dezimalstellen.
- Runden Richtungswinkel: Hier wird die Anzahl der Dezimalstellen angegeben, auf die die Richtungswinkel gerundet werden. Standardwert sind 4 Dezimalstellen.
- Vollwinkel: Hier wird die Einheit des Vollwinkels angegeben in der die Anströmwinkel ausgegeben werden. Standardwert ist die Einteilung in 360°
- Delete Value: Der Benutzer kann hier den Wert des Delete Values vorgeben, also einen Schwellenwert, über welchen hinaus keine Berücksichtigung in den Berechnungen stattfindet. Der Standardwert ist 1,0e-35
- Straßenpunkte reduzieren: Wird diese Funktion vom Benutzer gesetzt, dann werden die Straßenpunkte ausgedünnt. Alle Straßenpunkte, die außerhalb eines Elementes liegen (Elementnr. =0) oder im gleichen Element liegen wie der Vorgängerpunkt, werden gelöscht. Die Reduzierung erfolgt vor der Berechnung der Richtungswinkel. Diese Funktion ist standardmäßig aktiviert.
- Kontrollpunkte ausgeben: Wird diese Funktion vom Benutzer aktiviert, dann wird zu Kontrollzwecken eine Datei mit den Straßenpunkten erstellt. Der

Aufbau der Datei gleicht dem der Eingangspunktdatei ergänzt um den Richtungswinkel.

- Start: Mit diesem Knopf startet der Benutzer die Auswertung.
- Abbruch: Mit diesem Knopf kann der Benutzer die Auswertung abbrechen.

2.1.7.5 Schnittstelle zu AP7 – Katastrophenschutzplanung

Gesamtziel des Vorhabens EvaSim ist die Bereitstellung eines Systems zur Optimierung von Evakuierungsmaßnahmen aufgrund extremer hydrologischer Ereignisse, der vorhandenen Infrastruktur und den soziologischen Randbedingungen (Vorhabensbeschreibung, 2009). In AP7 wurden abschließend die Ergebnisse aller übrigen Arbeitspakete zusammengefasst und in einer Informationsplattform zusammengefasst, über welche im Falle eines extremen Überflutungsereignisses die Steuerung und Information von Rettungseinsätzen stattfinden kann. Da aufgrund der erforderlichen Rechenzeiten für die einzelnen Komponenten kein Echtzeitbetrieb eines solchen Systems möglich ist, werden Ergebnisdaten aus den hydrodynamischen Simulationen hinterlegt. Diese werden an die Wasserstandsmessungen an den Pegeln im Untersuchungsgebiet gekoppelt und ermöglichen eine Zuordnung von Wasserständen und den zugehörigen zeitabhängigen Überflutungsflächen.

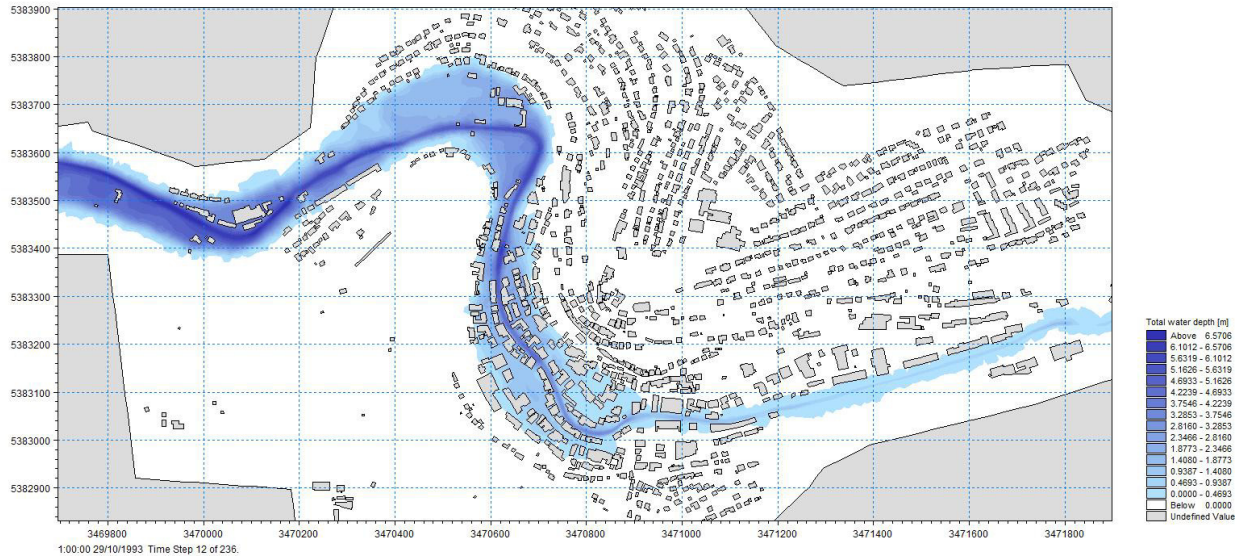

Abb. 2-22: Darstellung der errechneten Überschwemmungsfläche mit den zugehörigen Wassertiefen zu Beginn der Ausuferungen in Altensteig

Die Ergebnisse aus den hydrodynamischen Simulationen mussten für die Übergabe an AP7 in bestimmte Formate überführt werden. Für eine zeitabhängige Darstellung des Überschwemmungsgebietes Altensteig wurde die Überflutungsfläche für alle untersuchten Lastfälle in 15-Minuten Schritten aus den dfsu-Dateien extrahiert. Die Einarbeitung dieser Informationen erfolgte in AP7 in Form von Shape-Dateien.

Ferner wurden für die Katastrophenschutzplanung die Ergebnisse im gleichen Format für die Parameter für den Befahrbarkeitsstatus sowie zur zeitabhängigen Intensitätsverteilung (für Fußgänger und Gebäude) benötigt. In Abhängigkeit vom jeweils herrschenden maximalen spezifischen Abfluss und dem Wasserstand können Belastungsintensitäten ermittelt werden. Für die Bestimmung der Intensitätsverteilung wurde in Abstimmung mit AP7 die folgende Klassifizierung nach Schweizer Modell verwendet:

Tab. 2-1: Intensitätsklassifizierung nach Schweizer Modell – Gebäude (Ingenieurbüro aquasoli)

Intensitäts-klasse	Grenzen	Gefahrenmerkmale
3 (stark)	hw ≥ 2,0 m oder q = v · hw ≥ 2,0 m2/s	Menschen und Tiere auch innerhalb von Gebäuden stark gefährdet, erhebliche Schäden an Gebäuden, plötzliche Gebädezerstörung
2 (mittel)	2,0 > hw > 0,5 m oder 2,0 m2/s > q = v · hw > 0,5 m2/s	Menschen und Tiere außerhalb von Gebäuden stark, innerhalb von Gebäuden kaum gefährdet. Sachschäden an Gebäuden
1 (schwach)	hw ≤ 0,5 m oder q = v · hw ≤ 0,5 m2/s	Menschen und Tiere außerhalb von Gebäuden kaum gefährdet, Sachwschäden an Gebäuden (v. a. Keller-räume)
0	keine Überflutung	keine Gefährdung

Für die Bearbeitung der Simulationsergebnisse aus AP3 und zur Überführung dieser in das erforderliche Shape-Format ist die Flood Toolbox von DHI zum Einsatz gekommen. Dieses bereits in Kap. 2.1.7.2 beschriebene Tool bietet dem Nutzer ein hilfreiches und benutzerfreundliches Instrument für die Aufbereitung von Ergebnissen. Unter Verwendung dieser Informationen konnten im AP7 die erhaltenen Ergebnisse der hydraulischen Simulationen auf georeferenzierte Karten projiziert und abschließend eine Intensitätsklassifizierung für hochwassergefährdete Gebäude durchgeführt werden.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Nutzungsform und der errechneten Intensitätsverteilung können besonders sensible/gefährdete Bauwerke in der Erstellung von Einsatzplänen in der Katastrophenschutzplanung berücksichtigt werden. Hierbei bieten sich alle Möglichkeiten einer GIS-basierten Auswertung und Darstellung der Ergebnisse der hydrodynamischen Simulationen. Die Daten können grafisch aufbereitet und exportiert werden oder aber auch anhand der Attributtabellen weiterbehandelt werden. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel für die grafische Auswertung von Strömungsverhältnissen (Strömungsgeschwindigkeiten und -richtungen) in einem bebauten ufernahen Bereich in der Stadt Altensteig zum Zeitpunkt einer Überflutung.

Als zweite Komponente wurden die in Kap 2.1.7.3 erläuterten Grenzwerte für Fahrzeuge in Strömungen und somit der „Bafahrbarkeitsstatus“ einzelner

Straßenzüge berücksichtigt. Die erforderlichen Ergebnisse wurden mit Hilfe des neuen Schnittstellentool von DHI im richtigen Format ausgelesen und an AP7 weitegegeben.

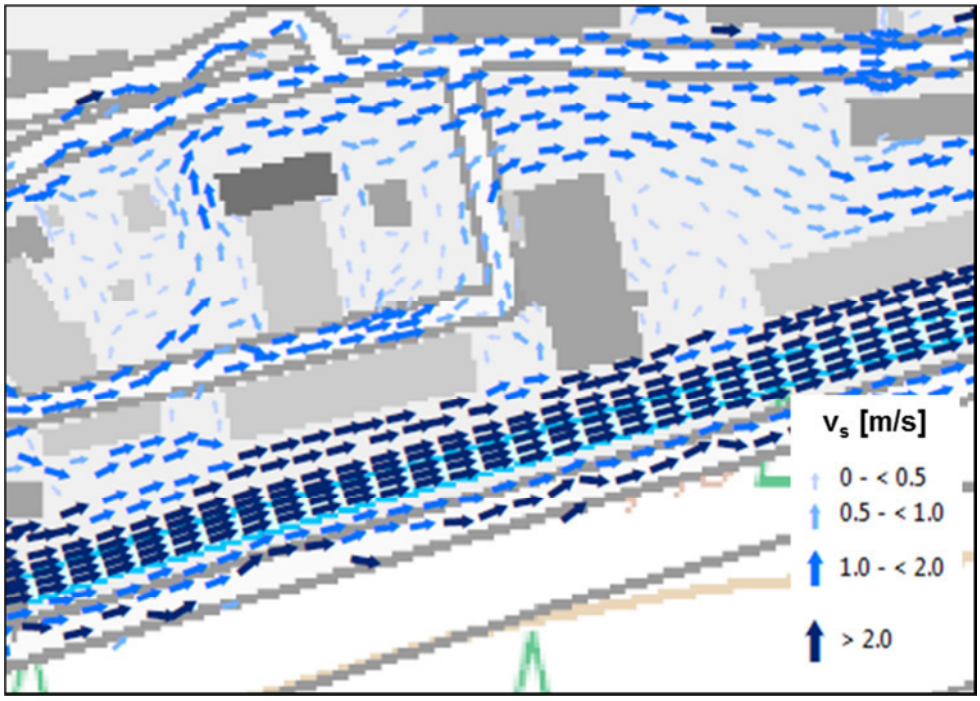

Abb. 2-23: Darstellung der Strömungsgeschwindigkeiten bei Überflutungsereignis in Altensteig (Flood Toolbox)

2.2 Wichtige Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die bewilligten Kosten für Arbeitspaket 3 beliefen sich gemäß Vorkalkulation auf 95.860,00 €. Die während der Bearbeitung tatsächlich entstandenen Kosten betrugen 96.891,15 €. Die geplanten Kosten wurden somit geringfügig überschritten.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Der für AP3 kalkulierte Personalbedarf entspricht den erbrachten Leistungen. Im Laufe der Bearbeitung kam es zu einigen Abweichungen im Bearbeitungsablauf. Zu Beginn des Projektes kam es aufgrund fehlender Datengrundlagen zu Verzögerungen.

Nach dem Modellaufbau und ersten Simulationsgängen sind nachträglich Diskrepanzen in den verwendeten Eingangsdaten erkannt worden. Nach Erhalt der korrigierten Eingangsdaten musste zunächst das verwendete Modell neu aufgebaut werden.

2.4 Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des Verwertungsplans

Die im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens EvaSim entwickelte Verfahren und Methoden sowie die für die Kopplung der einzelnen Arbeitspakete generierten Schnittstellen werden nach Abschluss des Projektes für die Anwendung in anderen Gebieten zur Verfügung stehen. Es können in Zukunft sowohl Teilaspekte als auch das Gesamtkonzept von EvaSim auf andere durch Überflutungen gefährdete Bereiche übertragen und somit zur Simulation und Optimierung von Evakuierungsszenarien an Damm- und Deichbruchgefährdeten Gebieten hinzugezogen werden.

Ein kommerzieller Nutzen ist möglich aber nicht quantifizierbar, da eine Vermarktung der Paketlösung zum jetzigen Zeitpunkt nicht vorgesehen ist. Seitens DHI ist die Softwarelösung Flood Toolbox zum Einsatz gekommen, die bereits erwerblich ist.

2.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine Fortschritte zum Bearbeitungsgebiet bei Dritten bekannt geworden.

2.6 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Das Projekt wurde seitens der DHI-WASY GmbH auf zwei Konferenzen internationalem Fachpublikum vorgestellt. Im September 2011 erfolgte eine Präsentation des Verbundprojektes während der Konferenz UFRIM (Urban Flood Risk Management) in Graz (Österreich). Im September 2012 wurde das Projekt ferner in Keelung (Taiwan) im Zuge der Konferenz CGJoint (Chinese-German Joint Symposium on Coastal and Hydraulic Engineering) präsentiert. Beiden Präsentationen folgte die Veröffentlichung eines Konferenzbeitrags.

Darüber hinaus ist über das Verbundforschungsprojekt im Laufe der Bearbeitung mehrfach in der DHI-WASY GmbH-eigenen Kundenzeitschrift „DHI-WASY Aktuell“ berichtet worden, die vierteljährlich mit einer Auflage von 2.500 Exemplaren erscheint.