

Abschlussbericht

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

Verbundschlussbericht



gefördert durch das BMBF

Förderkennzeichen

13N10596

2013

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie

Universität Stuttgart, Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt

Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung

Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen

DHI-WASY GmbH

aquasoli Ingenieurbüro

Verbundpartner

	<p>Universität Stuttgart Institut für Wasserbau Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft (LWW) Prof.-Dr.-Ing. Silke Wieprecht</p> <p>Pfaffenwaldring 61 70569 Stuttgart</p>
	<p>Universität Stuttgart Institut für Wasserbau Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie (LHG) Prof. Dr. rer.nat. Dr.-Ing. András Bárdossy</p> <p>Pfaffenwaldring 61 70569 Stuttgart</p>
	<p>Universität Stuttgart Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN)</p> <p>Seidenstr. 36, 2. und 3. OG 70174 Stuttgart</p>
	<p>Universität Stuttgart Institut für Straßen- und Verkehrswesen Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (VuV) Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich</p> <p>Pfaffenwaldring 7 70569 Stuttgart</p>
	<p>DHI-WASY GmbH</p> <p>Niederlassung Syke Max Planck Str. 4-6 28857 Syke</p>
	<p>aquasoli Ingenieurbüro Inh. B. Unterreitmeier</p> <p>Haslacher Straße 14 D-83278 Traunstein</p>

Kooperationspartner

 <p>Baden-Württemberg REGIERUNGSPRÄSIDIUM KARLSRUHE</p>	Regierungspräsidium Karlsruhe 76247 Karlsruhe
 <p>Landratsamt Calw</p>	Landratsamt Calw Vogteistraße 42-46 75363 Calw
 <p>STADT ALTENSTEIG</p>	Stadt Altensteig Stadtverwaltung Rathausplatz 1 72213 Altensteig

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
I. KURZDARSTELLUNG	9
1 Aufgabenstellung	9
2 Voraussetzungen zum Vorhaben	11
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	15
4 Grundlagen und Stand der Technik	17
5 Konsortium	20
II. EINGEHENDE DARSTELLUNGEN	23
ARBEITSPAKET 3 – Hydraulische Simulation	23
1 Arbeitsauftrag	23
2 Grundlagen und Stand der Technik	24
3 Projektgebiet Bad Reichenhall	25
4 Datenbereitstellung	28
5 Abflussmodell	29
5.1 Modellwahl	29
5.2 Datengrundlage	29
5.3 Modellerstellung	30
5.4 Modelleichung	33
5.5 Pegelkurven	34
6 Abflusssimulationen	38
6.1 Szenarien Saalach	38
6.2 Szenarien Seebach	42
7 Schnittstellenprogrammierung	42
7.1 Allgemeine Beschreibung der Funktionalitäten	42
7.2 Übertragung der Strömungsergebnisse auf Punktobjekte	45
7.3 Übertragung der Strömungsergebnisse auf Linienobjekte	45
7.4 Übertragung der Strömungsergebnisse auf Polygonobjekte	49
7.5 Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes bei Verkehrswegen	50

7.6	Detailbeschreibung Schnittstelle HYDRO_AS-2D – Verkehrswege unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes.....	52
8	Ergebnisübergabe	53
9	Fazit und Ausblick	58
	ARBEITSPAKET 7 - Katastrophenschutzplanung	58
10	Ausgangslage und Zielsetzung.....	58
10.1	Ausgangslage.....	58
10.2	Zielsetzung des Arbeitspakets 7.....	59
11	Grundlagen und Stand der Technik.....	59
11.1	Alarm- und Einsatzpläne zur Hochwasserabwehr	59
11.2	Hochwassermanagementsystem FLIWAS	60
	PROJEKTGEBIET NAGOLD.....	63
12	Geografische Lage.....	63
13	Hydraulische Lastfälle.....	64
14	Schnittstelle zum Arbeitspaket 3.....	64
15	Interpretation der Ergebnisse.....	66
	PROJEKTGEBIET RUPERTIWINKEL.....	67
16	Geografische Lage.....	67
17	Hydraulische Lastfälle.....	68
18	Ergebnisübergabe.....	68
19	Hochwasserverteidigung/Gefahrenabwehr	70
19.1	Allgemein.....	70
19.2	100-jährliches Hochwasserereignis.....	71
19.3	200-jährliches Hochwasserereignis.....	73
19.4	Verteidigungslinien für mobile Schutzelemente	73
19.5	Auswahl eines geeigneten Schutzsystems.....	75
20	Katastrophenschutz	77
20.1	Gefährdungsanalyse	77
20.2	Intensitätsklassifizierung für Personen	78
20.3	Intensitätsklassifizierung für Gebäude.....	79
21	Evakuierungsmaßnahmen /-bedarf.....	83

21.1	Evakuierungsrouten	84
22	Katastrophenschutzplanung	86
23	Fazit.....	87
VERWERTUNGSPLAN		89
23.1	Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen.....	89
23.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten.....	91
23.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten	92
23.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	93
LISTE DER ERFOLGTEN VERÖFFENTLICHUNGEN.....		97
Abkürzungsverzeichnis.....		98
Literaturverzeichnis.....		99

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Darstellung der Wirkungskette in EvaSim	9
Abbildung 2 Zeitplan des EvaSim Projektes	16
Abbildung 3 Struktur des Verbundprojektes	20
Abbildung 4 Übersichtslageplan (Saalach blau markiert mit Angabe der Flusskilometer)	25
Abbildung 5 Ausdehnung des 2d Abflussmodells (rote Linie) inkl. dem Gewässersystem Seebach (blaue Linien)	26
Abbildung 6 Hydraulische relevante Bauwerke im Ortsgebiet Bad Reichenhall (Ausdehnung 2d Abflussmodell blau eingefärbt)	27
Abbildung 7 Dreidimensionale Ansicht des Rechengitters im Untersuchungsbereich, Gelände und Innere Randbedingungen	31
Abbildung 8 Dreidimensionale Ansicht des Rechengitters im Untersuchungsbereich, Flächennutzung	31
Abbildung 9 Dreidimensionale Ansicht des Rechengitters im Untersuchungsbereich, Elemente und Zuläufe	32
Abbildung 10 Detailausschnitt zur Visualisierung der Gitterstruktur im Fkm 19,5 bis 18,9 (graue Linien: Elemente; schwarze Linien: Materialgrenzen; schwarze Polygone: undurchströmbare Fließhindernisse wie Gebäude, Brückenpfeiler; blaue Punkte: Brückenunterkanten)	32
Abbildung 11 Längsschnitt Wasserspiegellagen Modelleichung	33
Abbildung 12 Längsschnitt Abweichung Modellergebnisse und Messwerte	34
Abbildung 13 Pegelkurven Unterjettenberg und Staufenneck im Vergleich	35
Abbildung 14 Ganglinie für das Extremhochwasser (HQ_{extrem})	40
Abbildung 15 Bruchstellen I und II im Deich	40
Abbildung 16 Zuflussganglinien bei HQ_{extrem}	42
Abbildung 17 Funktion der Schnittstelle	43
Abbildung 18 Abstimmung der Verkehrswege auf die Topographie des Rechengitters	46
Abbildung 19 Beispiel für die Generierung der Auswertepunkte (Weg Nr. 935)	46
Abbildung 20 Verkehrswege in zweiter Ebene (A: Straße über Gewässer, B: Straße über Straße)	49
Abbildung 21 Lageplan maximale Fließtiefen bei HQ_{extrem} in der Saalach	54
Abbildung 22 Längsschnitt Wasserspiegellagen in der Saalach	55

Abbildung 23 Lageplan maximal Fließtiefenverteilung.....	55
Abbildung 24: Visualisierung von Gefährdungsklassen von Gebäuden (ohne Darstellung des Überschwemmungsgebiets)	57
Abbildung 25: Visualisierung des Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen (inkl. Darstellung des Überschwemmungsgebiets)	57
Abbildung 26 FLIWAS Benutzeroberfläche (Version 2.3).....	61
Abbildung 27 Auszug Topographische Karte M.: 1: 25 000.....	63
Abbildung 28 maximales Überschwemmungsgebiet - Lastfall Piping failure	65
Abbildung 29 maximale Überschwemmungsgebiet - Lastfall Dam breach	65
Abbildung 30 Auszug aus topographischer Karte M.: 1:10 000	67
Abbildung 31 Darstellung des Überschwemmungsgebietes in Bad Reichenhall bei HQ_{extrem} der Saalach.....	69
Abbildung 32 Darstellung des Überschwemmungsgebiets in Bad Reichenhall bei HQ_{extrem} des Seebachs	70
Abbildung 33 Darstellung des Überschwemmungsgebiet in Bad Reichenhall bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis der Saalach	72
Abbildung 34 Darstellung des Überschwemmungsgebietes in Bad Reichenhall bei einem 200- jährlichen Hochwasserereignis der Saalach	73
Abbildung 35 Darstellung der Örtlichkeit der Verteidigungslinie	74
Abbildung 36 Darstellung des Überschwemmungsgebiet in Bad Reichenhall bei HQ_{200} mit zusätzlicher Verteidigungslinie	74
Abbildung 37 Fließtiefendarstellung an der Verteidigungslinie	75
Abbildung 38 Überschwemmungsgebiet Bad Reichenhall - Lastfall HQ_{extrem}	77
Abbildung 39 Kritische Geschwindigkeit - Tiefen Beziehung für Personen.....	78
Abbildung 40 Darstellung der kritischen Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fluthöhe für verschiedene Gebäudetypen.....	79
Abbildung 41 Darstellung des Arbeitsablaufes zur Gefährdungsanalyse	83
Abbildung 42 Intensitätsklassenverteilung für Bad Reichenhall bei HQ_{extrem}	84
Abbildung 43 Befahrbarkeitsstatus Verkehrswegenetz Bad Reichenhall bei HQ_{extrem}	85
Abbildung 44 Benutzeroberfläche FLIWAS für den Hochwassereinsatz- und Katastropheneinsatzplan der Stadt Bad Reichenhall.....	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Brücken, Querbauwerke und hydraulisch relevante Punkte im Untersuchungsgebiet.....	28
Tabelle 2	Pegelkurven Unterjettenberg und Staufeneck im Vergleich	35
Tabelle 3	Übersicht Abflusssimulation Saalach	38
Tabelle 4	Abflussangaben (Q) und Jährlichkeiten (T) der fünf Ereignisse der Saalach	38
Tabelle 5	Beschreibung der simulierten Schutzlinie zur Hochwasserverteidigung	41
Tabelle 6	Beispiel für die Datenbank der Auswertepunkte (Weg Nr. 935)	47
Tabelle 7	Dateiaufbau für die Übergabe der Detailergebnisse Verkehrswege	48
Tabelle 8	Eingangsdaten (SMS Dateiformate)	52
Tabelle 9	Gefährdungsklassen Verkehrswegklassifizierung	53
Tabelle 10	Abflüsse mit Jährlichkeiten und zugehörigem Pegelstand am Referenzpegel Unterjettenberg.....	71
Tabelle 11	Schadensparameter für Gebäude	81
Tabelle 12	Intensitätsklassifizierung nach Schweizer Modell	81

I. KURZDARSTELLUNG

1 Aufgabenstellung

Das Vorhaben EvaSim - „Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation 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 zu erhöhen. Neben der Bedrohung durch terroristische bzw. kriminelle Aktivitäten muss die Maximierung der Sicherheit auch die Folgen von Naturkatastrophen oder Unfällen besonderen Ausmaßes und die Begrenzung der Schäden zum Arbeitsfokus haben.

Hier setzt das Vorhaben EvaSim an, indem es Lösungen bereitstellt, um bei extremen Überflutungssituationen eine optimierte Evakuierung der bedrohten Bevölkerung zu ermöglichen, die durch die Kopplung der Simulation von Hochwasser- bzw. Flutwellenausbreitung mit der Simulation und Optimierung von Verkehrsabläufen gewährleistet wird. Am Beispiel von realen Beispielstandorten werden, durch die Anwendung der Simulation und Optimierung, Evakuierungsszenarien für den Notfall entwickelt. Das Verfahren steht nach Projektabschluss für die Entwicklung von Evakuierungsplänen bei Hochwasser oder Talsperren- bzw. Deichbruch an anderen Standorten zur Verfügung.

Ausgangspunkt der Simulation sind verschiedene Szenarien der hydraulischen Belastung wie Bemessungshochwasserabfluss, Deichbruch oder Talsperren(teil)versagen, wie sie beispielsweise bei den katastrophalen Hochwasserereignissen an Elbe, Oder und Donau aufgetreten sind.

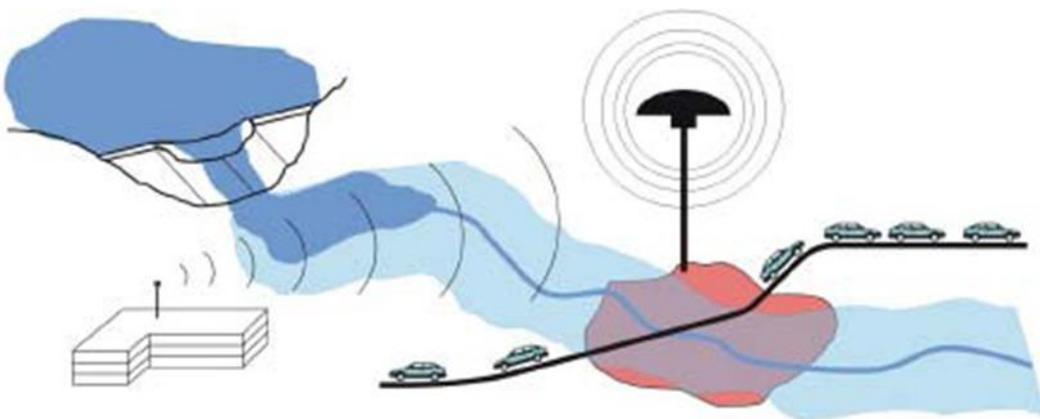


Abbildung 1 Darstellung der Wirkungskette in EvaSim

Durch die Schnittstelle mit einer Simulation des Routenwahlverhaltens und der Verkehrsflüsse der betroffenen Personen ist es möglich, den Evakuierungsprozess zeitlich und räumlich nachzubilden und zu prognostizieren. In der Verkehrssimulation werden die Kapazitäten der Verkehrsinfrastruktur berücksichtigt, die durch die Überflutungen zeitabhängig begrenzt zur Verfügung stehen. Dabei wird auch untersucht, ab wann welche Art von Verkehrsmittel aufgrund der Fließgeschwindigkeit oder Wassertiefe nicht mehr benutzt werden kann. Als Ergebnis der Simulation erhält man Werte für den Zeitbedarf einer Evakuierung, über eventuelle Engstellen im Verkehrsnetz und über die Zahl der Personen, die nicht rechtzeitig evakuiert werden können. Anhand dieser Ergebnisse erfolgt eine Optimierung des Routenwahlverhalten wodurch sich ein angepasster Fluchtwegeplan ergibt, der unter den gegebenen Randbedingungen (Lage der Gebäude, Struktur der Verkehrswege, Zeit bis zur Überflutung) eine Evakuierung optimiert.

Die Beteiligung der Sozialwissenschaften hat bei dem Projekt eine wesentliche Bedeutung, um Wissen über das Verhalten in einer Extremsituation (Evakuierung, Panikpotenzial) zu erhalten, das für die Modellierung des Verkehrsverhaltens eine wichtige Rolle spielt. Wie schnell tritt eine Person die Flucht an? Welches Verkehrsmittel wird zur Flucht gewählt? Wie viel Prozent flüchten gar nicht und benötigen dadurch gegebenenfalls Hilfe durch die Katastrophenschutzbehörden?

Durch Bereitstellung der entwickelten Simulationssoftware stehen den Behörden Informationen zur Verfügung, die eine sinnvolle Verkehrslenkung im Katastrophenfall ermöglichen. Außerdem werden Bereiche oder Höhenlagen ausgemacht, in denen keine Gefahr besteht. Diese Informationen sind für den Katastrophenschutz aber auch für die betroffenen Bürger selbst eine große Hilfe. Durch die Simulation mittels gekoppelter Hydraulik- und Verkehrsmodelle sind nicht nur qualitative sondern zuverlässige quantitative Aussagen möglich, aus der die Erstellung erheblich leistungsfähigerer Katastrophenpläne resultiert.

Die Akzeptanz der Forschungs- und Entwicklungsergebnisse bei den Schutz- und Rettungskräften wird durch die Einbindung von Katastrophenschutzbehörden (Landratsamt Calw, Stadt Altensteig, Stadt Bad Reichenhall) und aktiver Rettungskräfte sichergestellt. Die gemeinsame Analyse gegenwärtiger Katastrophenschutzpläne und die Entwicklung praxisgerechter, zukünftiger Schutz- und Evakuierungsstrategien, unter Einbeziehung der in EvaSim erarbeiteten ingenieur- und sozialwissenschaftlichen Forschungsergebnisse, gewährleisten die Erhöhung der gegenwärtigen Sicherheitsstandards.

Zusammenfassend zeichnet sich EvaSim durch einen ganzheitlichen Ansatz aus, wonach von der meteorologischen Überwachung, zur maximal möglichen Verlängerung der Vorwarnzeit, bis zur aktiven Lenkung der Verkehrsströme zu sicheren Or-

ten, in Abhängigkeit von der sich zeitlich ändernden Bedrohungslage und Mobilitäts-einschränkungen für unterschiedliche Verkehrsträger, generell einsetzbare Lösungsstrategien und dafür angepasste Simulationsmodelle entwickelt werden.

Die Früherkennung von Störungen und die wirksame Krisenprävention durch zeitnahe und effiziente Einleitung von Rettungs- und Sicherheitsmaßnahmen sowie der wirksamen Notfallversorgung vor Ort unter Berücksichtigung aller relevanten Akteure werden von EvaSim aufgegriffen. Durch die entsprechenden Maßnahmenplanungen wird ein Beitrag zur Erhöhung der zivilen Sicherheit gewährleistet.

2 Voraussetzungen zum Vorhaben

Durch die Zusammensetzung der Projektpartnerschaft des Verbundvorhabens EvaSim und die Definition der einzelnen Arbeitspakete werden alle für die Erarbeitung umsetzungsfähiger Sicherheitslösungen notwendigen Disziplinen aus den Technik-, Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften eingebunden und auf ein gemeinsames Anwendungsziel ausgerichtet. Ingenieur- und sozialwissenschaftliche Institute bringen ihre Fachkompetenz in die interdisziplinäre Projektgruppe ein und lösen technische, naturwissenschaftliche und soziologische Fragestellungen im engen Verbund. Beteiligt an der Umsetzung des Vorhabens sind:

Universitäten und Forschungseinrichtungen

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft

Das Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung - Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft (LWW) besitzt große Expertise im Bereich der Risikoanalyse wasserbaulicher Anlagen und in der hydraulischen und physikalischen Modellierung. Mit der Versuchsanstalt für Wasserbau (VA) verfügt der LWW über eine wasserbauliches Labor, in dem eine Vielzahl von wasserbaulichen Fragestellungen in experimentellen Modellversuchen detailliert untersucht wird.

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie (LHG)

Das Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung - Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie (LHG) ist national und international ausgewiesen durch Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf den Gebieten der Meteorologie, Hydrologie und Geohydrologie.

Universität Stuttgart, Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN)

Der Interdisziplinäre Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN) ist ein Schwerpunkt innerhalb des Internationalen Zentrums für Kultur- und Technikforschung (IZKT) an der Universität Stuttgart mit dem Ziel, die Bedingungen, Voraussetzungen und Folgen nachhaltiger Technikentwicklung sowie die Risiken und Chancen dieser Entwicklungen in Wechselwirkung von Po-

litik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft systematisch zu erforschen. Hierbei werden auch die Verhaltensweisen und Reaktionsmuster der Bevölkerung in Krisensituationen untersucht. Bei ZIRN stehen die Erforschung der Bedingungen für eine am Postulat der Nachhaltigkeit orientierte Technikentwicklung sowie ein sozialverträglicher Umgang mit Risiken und Chancen der weiteren technischen und organisatorischen Modernisierung im Mittelpunkt der interdisziplinären Tätigkeit. Ein zentrales Element des Konzeptes von ZIRN ist, neben der Einbindung in das IZKT, die Kooperation mit der DIALOGIK GmbH, deren Tätigkeit im Spannungsfeld von Kommunikation, Kooperation und Konfliktschlichtung angesiedelt ist.

Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (VuV)

Das Institut für Straßen und Verkehrswesen - Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (VuV) beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Entwicklung und Bewertung von Modellen für die Planung und Steuerung des Verkehrsangebotes. Im Mittelpunkt aktueller und zukünftiger Forschung stehen die Entwicklung multimodaler Verkehrsmodelle, die sowohl den individuellen und öffentlichen Personenverkehr als auch den Güterverkehr umfassen; die Rückkopplung zwischen Planung und Betrieb durch die Nutzung von Messdaten aus dem Betrieb der Verkehrssysteme für ein kontinuierliches Monitoring der Angebotsqualität und die Bewertung vorhandener Planungs- und Steuerungsverfahren im Hinblick auf ihre Prognosequalität bzw. Wirksamkeit.

Industriepartner

aquasoli Ingenieurbüro

Das Ingenieurbüro *aquasoli* ist ein Unternehmen mit den Kerngebieten Schutzwasserwirtschaft, Hydrodynamik und Hochwasserkatastrophenmanagement. Im Bereich Hochwasserschutz kann die Firma auf langjährige Erfahrungen bei der 2d-instationären Berechnung sowie Ermittlung von Überschwemmungsgebieten und die Planung von Schutzmaßnahmen verweisen. *Aquasoli* ist Vertriebspartner des Softwareherstellers Dr. Nujic für seine Produkte zur zweidimensionalen Strömungs- (HYDRO_AS-2D) und Feststofftransportsimulation (HYDRO_FT-2D).

DHI-WASY GmbH

Die DHI-WASY GmbH mit Sitz in Berlin und Niederlassungen u.a. in Syke und Dresden ist ein Tochterunternehmen des DHI, Dänemark, einer gemeinnützigen Forschungsstiftung. Die Niederlassung Syke ist die ehemalige DHI Wasser & Umwelt GmbH. DHI-WASY bietet eine breite Palette von Beratungsdiensten, Softwaretools und Modell-Testeinrichtungen an. Die MIKE-Modellpalette für die numerische Modellierung der Welt des Wassers in 1D, 2D und 3D findet weltweit Anwendung. Mit dem GIS-basierten Informations- und Entscheidungshilfesystem GeoFES verfügt DHI-WASY über ein System für das Katastrophenmanagement, das zunehmend Verbreitung findet.

Assoziierte Partner

Stadt Altensteig

Die Stadt Altensteig ist eine moderne Kleinstadt mit etwas mehr als 11.000 Einwohnern im Landkreis Calw (Region Nordschwarzwald) und gilt als ein dynamisches Unterzentrum mit einer gesunden Mischung aus Handel, Handwerk, Dienstleistung und Industrie. Altensteig liegt am Oberlauf der Nagold, einem Nebenfluss der Enz und an der Ostflanke des Nordschwarzwaldkamms. Bei extremen hydrologischen Situationen sind die im Talgrund liegenden Stadtbereiche in der Vergangenheit immer wieder von Hochwässern betroffen gewesen und haben entsprechend hohe Schäden verursacht.

Um die Stadt Altensteig vor den Folgen von Hochwässern zu schützen, und in Niedrigwasserzeiten den Abfluss zu erhöhen, wurde in den Jahren 1965 bis 1970 die Nagoldtalsperre wenige Kilometer oberhalb der Stadt errichtet. Damit steht ein wirksamer Hochwasserschutz zur Verfügung, der jedoch nicht alle Extremereignisse beherrschen kann. Sollte z.B. in Folge einer nicht mehr zurückhaltbaren und durch die Betriebsorgane der Talsperre nicht mehr beherrschbaren, durch extreme Niederschläge verursachten außergewöhnlichen Abflusssituation oder eines Dammbrochs das Nagoldtal überflutet werden, wäre, bei nicht rechtzeitig eingeleiteter Evakuierung, ein Verlust an Menschenleben nicht ausgeschlossen. Dieser Gefährdungslage möchte die Stadt Altensteig durch eine Anpassung der Katastrophenschutzmaßnahmen präventiv begegnen.

Die Stadt Altensteig ist bei Gefahrensituationen verpflichtet, Leib und Leben der Bevölkerung zu schützen und die Gefahrenabwehr zu organisieren. Hierzu existieren Katastrophenschutzpläne und Einsatzszenarien für die Einsatz- und Rettungskräfte, die als Ausgangspunkt für die innerhalb des Projektes zu entwickelnden Optimierungen dienen.

Stadt Bad Reichenhall

Die Große Kreisstadt Bad Reichenhall mit einer Einwohnerzahl von rund 18.000 Bürgern liegt im Landkreis Berchtesgadener Land im Regierungsbezirk Oberbayern. Bad Reichenhall besteht aus der gewachsenen Kernstadt und den Ortsteilen Karlstein und Marzoll und ist die Heimat angestammten Brauchtums und der Gebirgsjäger. Im gesamten Bad Reichenhaller Talkessel finden sich Hinweise auf die Stadtgeschichte, geprägt von Salz und Saline.

Regierungspräsidium Karlsruhe

Die Regierungspräsidien (RP) stehen als sogenannte Mittelbehörden in der Verwaltungshierarchie zwischen den Ministerien als oberster Ebene und den unteren Verwaltungsbehörden. Sie bündeln dabei die verschiedenen Verwaltungszweige unter einem Dach. Die große Zahl von Fachaufgaben, die bei den Ministerien auf die einzelnen Ressorts verteilt sind, wird auf der mittleren Verwaltungsebene von den Regierungspräsidien als einer homogenen Behörde wahrgenommen. Die

Bündelung der Fachaufgaben ermöglicht sowohl die Koordinierung verschiedener Fachbereiche wie auch den Ausgleich unterschiedlicher Auffassungen und Interessen. Die Regierungspräsidien führen darüber hinaus die Rechtsaufsicht über Stadt- und Landkreise, Gemeinden, Zweckverbände und Regionalverbände.

Das Referat 53.2 - Gewässer I. Ordnung, Hochwasserschutz, Bau und Betrieb ist, neben weiteren Aufgaben, für den Betrieb der Nagoldtalsperre verantwortlich, die als Eigenbetrieb des Landes Baden-Württemberg geführt wird. Die Nagoldtalsperre ist zentraler Bestandteil des Projektgebietes I des Forschungsvorhabens EvaSim, so dass das RP Karlsruhe als Betreiber alle wesentlichen und notwendigen Daten und Informationen bereitstellt, um die Forschungs- und Entwicklungsziele des Verbundvorhabens zu ermöglichen.

Landratsamt Calw

Das Landratsamt ist die Verwaltung eines Landkreises und stellt sowohl die kommunale Selbstverwaltungsbehörde als auch die untere staatliche Verwaltungsbehörde dar. Dem Landratsamt steht der Landrat vor, der den (Land)Kreis nach außen vertritt. Zur Erfüllung der Aufgaben als Verwaltungsbehörde verfügt das Landratsamt Calw über Fachbereiche und Abteilungen für alle Bereiche des öffentlichen Lebens. Für das Projekt EvaSim zeichnet der Fachbereich „Umwelt und Ordnung“, und insbesondere die Abteilung Umwelt- und Arbeitsschutz, verantwortlich. In den in dem Projekt zu betrachtenden Gefahrenszenarien für die Stadt Altensteig durch Überflutungen in Folge eines Ablassens der Nagoldtalsperre, bzw. deren Versagen, ist der Landkreis in unterschiedlicher Funktion eingebunden.

Bei Hochwassersituationen ist zunächst die Gemeinde, vertreten durch den Bürgermeister, in der Pflicht, die Gefahrenabwehr zu organisieren. Sobald jedoch absehbar ist, dass das Ereignis mit den lokalen Mitteln der Gemeinde nicht beherrschbar ist und eine Katastrophensituation durch den Landrat festgestellt wird, geht die Zuständigkeit bei der Gefahrenabwehr auf den Landrat über, dem in diesem Zuge alle Einsatzkräfte unterstellt werden. Insofern ist bei der Weiterentwicklung der Katastrophenschutzpläne innerhalb des Projektes EvaSim die Erfahrung des Landratsamtes Calw unverzichtbar

Für die Durchführung des Vorhabens werden auf dem Markt verfügbare Simulationssoftware, wie die hydraulischen Simulationsmodelle Mike 21, HYDRO_AS-2D und das Verkehrsmodell Visum, das vom Land Baden Württemberg eingeführte Flut- Informations- und Warnsystem FLIWAS, sowie institutsintern entwickelte Softwarelösungen, wie das N/A-Modell des Lehrstuhls für Hydrologie und Geohydrologie, eingesetzt. Für die durchgängige Verknüpfung der Wirkungskette Meteorologie – Hydraulik – Verkehr - Katastrophenschutzplanung wird die Neuartigkeit der von EvaSim eingesetzten Methodik vor allem durch die wissenschaftliche Erarbeitung von Übergabealgorithmen an den Schnittstellen zwischen den fachspezifischen Modellen er-

reicht. Die grundsätzliche methodische Herangehensweise der Erstellung von Katastrophenschutzplänen ist in dieser Form auf andere Projektgebiete übertragbar.

3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Forschungsvorhaben wurde vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der Universität Stuttgart koordiniert. Durch regelmäßig ausgerichtete Projekttreffen, die sowohl in großem, den ganzen Forschungsverbund betreffenden Rahmen, als auch in kleinen Fachgruppen stattfanden, wurde ein reger und intensiver Wissensaustausch und eine interdisziplinäre Zusammenarbeit gestaltet. Zur Schaffung einer gemeinsamen Datenbasis wurde vom Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft ein FTP-Server eingerichtet, für den die Verbundpartner Zugriffsrechte erhielten, und alle im Projektverlauf gesammelten Daten ablegten, wodurch jederzeit ein schneller und sicherer Datentransfer gewährleistet war.

Das EvaSim – Projekt wurde am 01.06.2009 begonnen und am 31.10.2012 abgeschlossen. Das Ergebnis des Projektes wurde im Rahmen einer Abschlussveranstaltung am 09.10.2012 in Stuttgart vor Vertretern von Regierungspräsidien, Kommunen und Gemeinden, sowie Fachleuten aus der Privatwirtschaft präsentiert. Der genaue Ablauf des Projektes ist dem Zeitplan-Diagramm (Abbildung 2) zu entnehmen.

Vorgänge	urspr. Planung																Institution
	2009				2010				2011				2012				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	
AP1: Szenarien, Gesamtkonzept																	
Fortschreibung des Gesamtkonzepts, Projektsteuerung		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			LWW
Meteorologische, hydrologische und hydraulische Szenarien		x	x		x								x				LWW, LHG, DHI, aquasoli
Erarbeitung und Festlegung von Verkehrsszenarien, soziol. Parameter							x	x					x				LWW, VuV, ZIRN
AP2: Meteorologie/ Hydrologie																	
Aufbau und Betrieb zusätzlicher Sensoren in den Projektgebieten		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			LHG, LWW
Bereitstellung von Gebietsdaten		x	x														LHG, LWW, aquasoli
Niederschlagsgenerierung, Ableitung von hydrometeorologischen Szenarien, Klimaveränderung					x	x	x	x	x								LHG
N/A-Modellimplementierung und -kalibrierung									x	x	x	x	x	x			LHG
Unsicherheit meteorologischer Vorhersagen in kleinen Einzugsgebieten					x	x		x	x	x							LHG
Dokumentation und Publikation							x		x					x			LHG
AP3: Hydraulische Simulationen																	
Bereitstellung Gebietsdaten (DHI)		x	x		x	x											DHI, LWW
Bereitstellung Gebietsdaten (aquasoli)		x	x		x	x											aquasoli
Aufbau, Kalibrierung und Verifizierung der hydraulischen Modelle (DHI)					x	x	x										DHI, LWW
Aufbau, Kalibrierung und Verifizierung der hydraulischen Modelle (aquasoli)					x	x	x										aquasoli
Übernahmen von hydrometeorologischen Szenarien, Verifizierung (DHI)						x	x	x	x	x							DHI
Übernahmen von hydrometeorologischen Szenarien, Verifizierung (aquasoli)						x	x	x	x	x							aquasoli
Umsetzung von Szenarien (DHI)								x				x					DHI
Umsetzung von Szenarien (aquasoli)								x				x					aquasoli
Simulationsrechnungen der Projektgebiete (DHI)									x	x	x	x	x				DHI
Simulationsrechnungen der Projektgebiete (aquasoli)									x	x	x	x	x				aquasoli
Schnittstellengenerierung, Validierung (DHI)																	DHI
Dokumentation und Publikation (DHI)							x			x					x		DHI
Dokumentation und Publikation (aquasoli)							x			x					x		aquasoli
AP4: Soziologie																	
Stand der Forschung		x	x		x												ZIRN
Datensammlung Untersuchungspopulation		x	x														ZIRN
Erstellen des Simulationstools					x	x	x										ZIRN
Rekrutierung, Design und Durchführung von Fokusgruppen (Simulation)							x	x	x								ZIRN
Fragebogenentwicklung									x								ZIRN
Quantitative Erhebung										x	x						ZIRN
Fragebogenauswertung													x				ZIRN
Erstellung eines Beispielkatastrophenplans													x	x	x		ZIRN
Dokumentation und Publikation																	ZIRN
AP5: Verhalten von Fahrzeugen unter Strömungseinfluss																	
Literaturrecherche		x															LWW
Parameterermittlung über analytische Verfahren, Modellversuche			x		x	x	x										LWW
Durchführung von Modell- und Naturversuchen, Definition Übergabeparameter					x	x	x	x	x	x							LWW
Schnittstellengenerierung																	LWW
Dokumentation und Publikation										x					x		LWW
AP6: Verkehrssimulation																	
Spezifikation der Übergabeparameter aus hydraulischen Simulationen		x	x		x												LWW, VuV
Spezifikationen für ein Optimierungs-verfahren zur Evakuierung			x		x	x	x	x									VuV
Erweiterung des Simulationsmodells, Implementierung Optimierungsverfahren							x	x	x	x	x						VuV
Erstellung von Verkehrsmodellen für die Projektgebiete			x		x	x	x	x									VuV
Simulationsrechnungen und Auswertungen der Projektgebiete									x	x	x	x	x				VuV
Dokumentation und Publikation																	VuV
AP7: Erstellung von Katastrophenschutzplänen																	
Datenbeschaffung, Datenanalyse, Konzeption		x	x														
Einarbeitung von Erfahrungen von Katastrophenschutzbehörden		x	x														aquasoli
EDV-gestützte Visualisierung, Einbindung Modelle, Konzept zur Umsetzung					x	x		x	x								aquasoli
Analyse bestehender Pläne im Hinblick auf verkehrliche Maßnahmen							x	x	x								VuV
Anwendung und Verfeinerung der Methodik auf die Projektgebiete								x	x	x	x	x	x				aquasoli
Erarbeitung von Optimierungen basierend auf Simulationsergebnissen																	VuV
Implementierung in den Katastrophenschutz																	aquasoli
Dokumentation und Publikation							x			x					x		aquasoli
AP8: Umsetzung in die Verwaltungspraxis, Verwertung																	
Entwicklung von Kommunikationskonzepten						x	x		x	x							LWW
Verwertung der Ergebnisse, Marketing							x			x	x	x					aquasoli, ZIRN
Erstellung eines Verwertplans für entwickelte Module													x	x			VuV

Abbildung 2 Zeitplan des EvaSim Projektes

4 Grundlagen und Stand der Technik

Die Entwicklung im Umgang mit bestehenden Wasserbauwerken fordert immer weiterführende Untersuchungen der verbleibenden Restrisiken, die von diesen Bauwerken ausgehen (DIN 19700, 2004). Für Stauanlagen werden daher im Rahmen von vertieften Untersuchungen die Restrisiken konstruktiver und hydraulischer Art ermittelt. Kann die Anlage das Bemessungshochwasser abführen? Wie lassen sich terroristische Anschläge verhindern? Flutwellenberechnungen für die im Extremfall auftretenden Abflüsse sind zwar noch nicht allgemeiner Stand der Technik, wurden an ausgewählten Talsperren oder Staustufen aber bereits durchgeführt. In anderen Ländern werden Flutwellenberechnungen für verschiedene Szenarien von den Genehmigungsbehörden häufiger verlangt.

Das technische Risiko wird als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotenzial bestimmt. Für die Ermittlung der oben genannten Restrisiken werden daher Schadenskurven benötigt, die festlegen, wie hoch der Verlust bei einer spezifischen Beaufschlagung von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit ist. Teilweise liegen diese vor, so z. B. für Wohnhäuser, Häusergruppen, Bäume und Wald sowie Personen aus dem Forschungsprojekt „RESCDAM“ der TU Helsinki (HUT, 2000). Modellversuche dienten hier zur Ermittlung der Schadenskurven. In Deutschland beschäftigte sich Projekt „MEDIS“ (Medis, 2005), im Rahmen des vom BMBF geförderten Verbundforschungsprogramms RIMAX, mit den Anforderungen an Schadensfunktionen, ausgehend von der Erfassung von Hochwasserschäden. Die Stabilität von Fahrzeugen unter Strömungseinfluss wird hierbei jedoch nicht behandelt. Für die Entwicklung von Stabilitätskriterien besteht somit noch Forschungsbedarf.

Hydraulische Berechnungen

Das Ingenieurbüro aquasoli setzt mit dem Programm HYDRO_AS-2D ein zweidimensionales Abflussmodell ein, das aufgrund des Einsatzes in der Bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung auch bei den Ingenieurbüros ein Quasi-Standard in Bayern und den angrenzenden Ländern ist. Die Software ist seit 15 Jahren am Markt etabliert und hat sich ähnlich der MIKE Modellpalette vielfach bewährt. Durch frei zugängliche Quell- und Senkterme bestehen Möglichkeiten zur Simulation von Niederschlag und Versickerung in der Fläche sowie zur Koppelung mit Kanalnetzprogrammen. Weiterhin gibt es in HYDRO_AS-2D effektive Möglichkeiten zur Beschleunigung der Berechnungszeit, die für den geplanten Einsatzbereich als instationäres Prognosemodell grundlegend sind.

Katstrophensoziologie

Im Rahmen der Katastrophensoziologie sind eine Reihe von Modellen zum Verhalten von Individuen und Gruppen erstellt und getestet worden (Sorensen, Vogt, & Mileti, 1987). Entgegen landläufiger Vermutung handeln die meisten Individuen in Krisensituationen weitgehend rational und ohne Panik. Dies ist aber abhängig von der wahrgenommenen Zeitknappheit. Wenn Menschen den Eindruck haben,

dass sie in der verfügbaren Zeit der Gefahr nicht entkommen können, ist entweder Resignation oder Panik die Folge (Perry, 1985). Das kollektiv wirksame Verhalten richtet sich zudem nach bestimmten Effekten, wie dem Nachahmeffekt (man tut das, was der Vordermann macht), dem Kavalierseffekt (besondere Rücksichtnahme auf vulnerable Personen, auch wenn dies kontraproduktiv für alle sein mag), selbst ernannten Führerschaften (Gelegenheit, ein Held zu sein) und Verdrängung (Gefahren werden negiert). Dagegen sind die, etwa bei normalen Staus, zu beobachtenden Verhaltensweisen von Rücksichtslosigkeit und Drängeln eher selten zu beobachten (Ausnahme: wahrgenommene Zeitknappheit).

Weitere Problemfelder betreffen die Kommunikation: Oft werden Nachrichten nicht gehört, falsch verstanden oder ausgelegt (Duclos, 1987). Ein Grund für eine falsche Wahrnehmung der kommunizierten Inhalte in einer Notfallsituation kann dabei sein, dass die Öffentlichkeit in den Phasen der vorangehenden Risikoabschätzung (kommunikativ) nicht involviert war. Eine optimale Strategie der Risikokommunikation geht davon aus, dass bereits in der Phase der Risikoabschätzung ein Dialog mit der Öffentlichkeit geführt werden muss. Ein tatsächlicher Dialog bedeutet eine zweiseitige Kommunikation, d.h. Risikomanager und Öffentlichkeit kommunizieren uneingeschränkt miteinander. Versuche, die Risikokommunikation auf die Vermittlung von Wahrscheinlichkeiten (z.B. des Schadenseintritts) oder auf Risikovergleiche zu beziehen (z.B. die Feststellung, dass viele individuelle Verhaltensweisen ein höheres Risiko in sich tragen als die betreffende technische Anlage), haben sich als nicht weiterführend erwiesen. Sofern jedoch die Öffentlichkeit bereits in der Risikoabschätzungsphase kommunikativ einbezogen wird, werden die entsprechenden Notfallwarnungen inhaltlich besser verstanden und eine Übertragung der empfangenen Warnung auf die aktuelle individuelle Lebenssituation ist leichter möglich. Zudem beschränken sich die meisten Warnungen in einem akuten Notfall auf kurze, eindeutige Anweisungen; wurde der Hintergrund der Anweisungen bereits von der Öffentlichkeit während der Risikoabschätzung internalisiert steigt die Wahrscheinlichkeit des tatsächlichen Befolgens der Anweisung. Neben dem Design optimaler Kommunikationsstrategien während einer akuten Bedrohung hat somit auch eine den Risikoabschätzungsprozess begleitende Kommunikation mit der Öffentlichkeit eine herausragende Bedeutung.

Verkehrssimulation

Im Bereich der Verkehrssimulationen ist die Nachbildung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer (Verkehrserzeugung, Zielwahl, Verkehrsmittelwahl, Routenwahl) für den Einsatz im Rahmen der Verkehrsplanung Stand der Technik. Diese Nachbildung kann sowohl makroskopisch (Personengruppen) als auch mikroskopisch (Einzelpersonen) erfolgen. Mikroskopische Simulationen, basierend auf sog. zellulären Automaten, wurden in der Vergangenheit bereits zur Simulation von Evakuierungen in Fußballstadien und Schiffen (Schreckenbergs, 2002) eingesetzt. Grundsätzlich unterscheidet sich die Aufgabenstellung des Forschungsvorhabens von üblichen Verkehrssimulationen in folgenden Punkten:

- In Verkehrssimulationsprogrammen wird in der Regel von einem konstanten Verkehrsangebot ausgegangen, d. h. die Verkehrswege weisen eine konstante Kapazität über die Zeit aus.
- Verkehrssimulationen bilden die Reaktionen der Verkehrsteilnehmer auf unverbindliche Informationen (z. B. Verkehrsfunk oder Wechselwegweisungen) nach. Gezielte Anweisungen bzgl. der Ziel- oder Routenwahl (z. B. fährt erst nach Dorf 1, dann nach Dorf 2) werden derzeit noch nicht modelliert.

Kopplung von hydraulischer und Verkehrssimulation

Die Kopplung von hydraulischer und Verkehrs-Simulation als logische Weiterführung von Flutwellenberechnungen wurde in Deutschland bisher noch nicht angewendet, obwohl die Folgen eines Talsperrenbruches für eine Talsperre in der Eifel und die resultierenden hydraulischen Belastungen auf eine Großstadt wie Düren schon untersucht worden sind (Huber, 2004).

Forscher in den Vereinigten Staaten haben zum Räumungs- und Fluchtverhalten das Modell LIFESim entwickelt (Aboelata, 2004), das diese Berechnungen ansatzweise ermöglicht. Die Simulation der Deichbrüche in New Orleans nach dem Hurrikan Katrina haben die Berechnungsansätze gestärkt (Stedje, 2006).

Das Programm LIFESim ist bislang nicht kommerziell zu erwerben und als Prototyp zurzeit auch nur von dem Entwickler zu bedienen. Der Ansatz des LIFESim Modells ist eine Neuerung, allerdings sind die Randbedingungen zum Großteil vorzugeben und werden nicht automatisch, aufgrund z. B. des Verhaltens der Personen, ermittelt. So muss der Anwender etwa die Zielorte definieren und auch die Wahl der Verkehrsmittel für jede Zelle muss vorgegeben werden.

Katastrophenschutz

Der Katastrophenschutz im „normalen“ Hochwasserfall ist fast flächendeckend entwickelt. Für den Fall eines 100-jährlichen Hochwasserereignisses sollte an den größeren Flüssen ein Schutz für Siedlungen bestehen, sei es durch Dämme, Hochwasserschutzmauern oder mobile Hochwasserschutz Elemente. Die Länder geben den ausführenden Behörden von Zeit zu Zeit Leitfäden oder Orientierungshilfen für die Entwicklung von Katastrophenschutzplänen an die Hand, wie beispielsweise das Umweltministerium in Baden-Württemberg (UMBW, 2006). Neue Rahmenbedingungen werden durch die EU-Hochwasser-Richtlinie vorgegeben, die die EU-Mitgliedsstaaten u. a. bis 2013 verpflichtet, Hochwasserrisikomanagementpläne zu entwickeln. Für den Fall der Überschreitung eines 100-jährlichen Abflusses bis hin zu extremsten Abflüssen aufgrund eines (Teil-) versagens einer Talsperre sind bisher jedoch nur wenige Informationen zu finden. Zum einen, da diese schwer zu standardisieren sind und zum anderen, da die von Talsperren ausgehenden Restrisiken erst seit kurzer Zeit, und dann meist nur sehr verhalten, öffentlich diskutiert werden. Laut einer weltweiten Expertenbefragung im Rahmen des RESCDAM-Projektes (Reiter, 2000) sind in einem Großteil der

Länder bislang keine Vorkehrungen für den Fall eines Talsperrenversagens getroffen worden.

In Neuseeland wurde in den vergangenen Jahren ein System aufgebaut, das einen speziellen Straßenabschnitt im Falle des Bruches eines Kraterseedamms sperrt (Keys, 2007). Hydraulische Berechnungen waren die Grundlage für die Erhöhung einer Straße und eine automatische Straßensperre mittels Schranken im Katastrophenfall. Hier ist zwar keine gekoppelte Simulation zu Grunde gelegt, jedoch wurden die Resultate von hydraulischen Berechnungen in der Steuerung des Verkehrs berücksichtigt.

Als zunehmend bedrohliches Szenario werden Sturzfluten in kleinen Einzugsgebieten wahrgenommen, die durch lokale Extremwittersituationen hervorgerufen werden können. Es besteht weitgehender Konsens unter Hydrologen, dass die sich abzeichnenden Klimaveränderungen eine Zunahme derartiger Ereignisse sowohl hinsichtlich Qualität als auch Quantität erwarten lassen. Die besondere Herausforderung zum Schutz und zur Rettung von Menschen liegt in der teilweise äußerst schnellen Entwicklung bedrohlicher Situationen, der mitunter sehr kurzen Vorwarnzeit und der oftmals schwierigen Wahrnehmbarkeit derartiger Situationen durch Laien.

5 Konsortium

Zur Bearbeitung des EvaSim Projektes wurden 8 Arbeitspakete definiert, die in der nachfolgenden Grafik dargestellt sind.

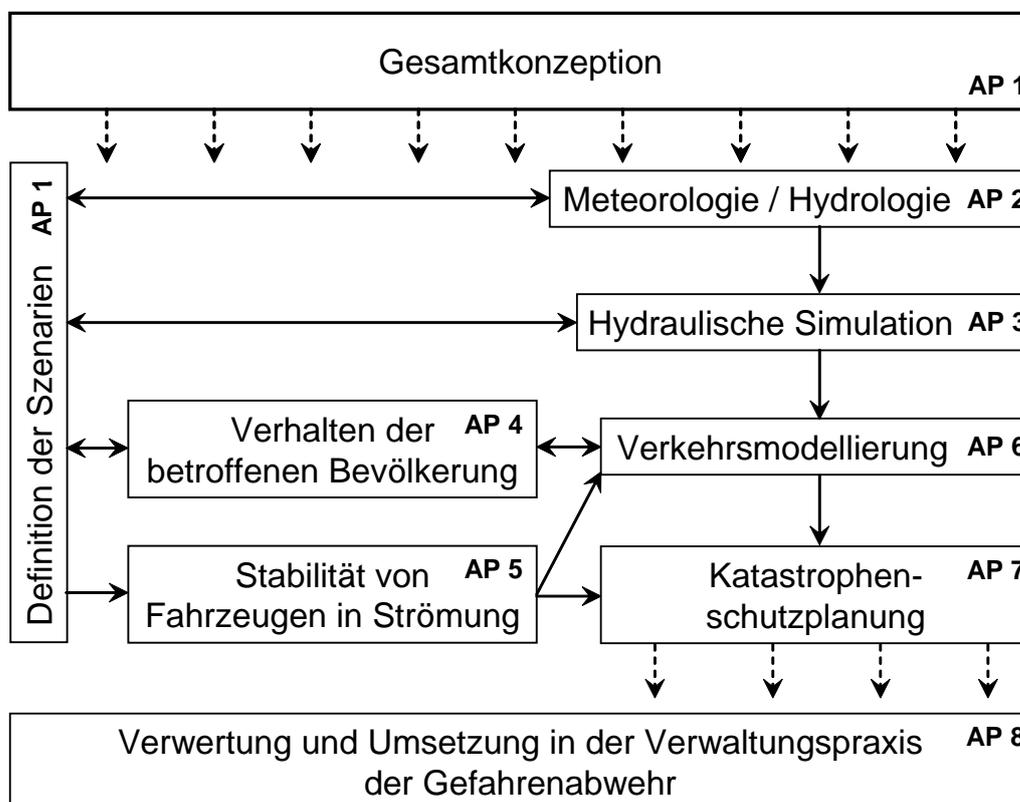


Abbildung 3 Struktur des Verbundprojektes

Arbeitspaket 1 *Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft (LWW)*

Im Arbeitspaket 1 wurden für die unterschiedlichen hydraulischen Lastfälle die Hochwasserszenarien entwickelt. Zusätzlich oblagen diesem Arbeitspaket die Leitung des Projektes und die Entwicklung der Gesamtkonzeption.

Arbeitspaket 2 *Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie (LHG)*

Im Rahmen des Arbeitspaketes 2 wurde die Hydrometeorologie, bzw. Hydrologie der beiden Untersuchungsgebiete erarbeitet. Hierfür wurden aus beobachteten Niederschlagsereignissen der Vergangenheit die Eigenschaften von Extremereignissen abgeleitet und ausgehend auf diese Informationen realistische Niederschlagsereignisse simuliert. Unter Verwendung von Niederschlags-Abfluss-Modellen wurden aus den synthetischen Niederschlagsereignissen Abflussganglinien bestimmt, die die Eingangsgrößen der hydraulischen Simulation (Arbeitspaket 3) darstellen. Zusätzlich wurden zur Beobachtung von Niederschlagsereignissen in den Projektgebieten weitere Messstationen aufgebaut und betrieben.

Arbeitspaket 3 *aquasoli Ingenieurbüro, DHI – WASY GmbH*

Das Arbeitspaket 3 wurde entsprechend der Untersuchungsgebiete aufgeteilt. Die hydraulische Simulation für Bad Reichenhall wurde vom Ingenieurbüro aquasoli, die Simulation für Altensteig von DHI – WASY GmbH bearbeitet.

Unter Berücksichtigung der Eingangswerte aus dem Arbeitspaket 2, sowie detailgenaue digitale Geländemodelle wurden zweidimensionale hydraulische Modelle berechnet, die zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Informationen zu Abfluss, Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und Fließwege liefern. Diese Informationen liegen sowohl für die Gewässerquerschnitte und Uferbereiche, als auch für die Überschwemmungsflächen vor. Die Simulationsergebnisse werden über Schnittstellen direkt an die Arbeitspakete 6 und 7 übergeben und stellen hier wesentliche Datengrundlage zur weiteren Bearbeitung der Arbeitspakete dar.

Arbeitspaket 4 *Universität Stuttgart, Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Risiko und Nachhaltige Technikentwicklung (ZIRN)*

Im Arbeitspaket 4 „Verhalten der betroffenen Bevölkerung“ lag der Fokus der Untersuchung darauf, inwiefern sich das Verhalten der Bevölkerung bei Evakuierungsmaßnahmen vorhersehen lässt. Als Untersuchungsgebiet diente die Stadt Altensteig. Um Erkenntnisse über das Verhalten und die Bedürfnisse der Bevölkerung in einer Evakuierungssituation zu erhalten, wurde eine methodische Triangulation bestehend aus einer Literaturrecherche, Fokusgruppen, einer quantitativer Befragung sowie ei-

ner agentenbasierten Simulation als Design gewählt. Die Anwendung dieser unterschiedlichen Methoden ermöglichte eine umfassende Generierung von Daten und Erkenntnissen im Hinblick auf mögliche Verhaltenskomponenten während einer Evaluierung. (Kuhn, et al., 2013)

II. EINGEHENDE DARSTELLUNGEN

ARBEITSPAKET 3 – Hydraulische Simulation

1 Arbeitsauftrag

Das dritte Arbeitspaket im Verbundvorhaben EVASIM beinhaltet die Hydrauliksimulation zur Berechnung von Überflutungsszenarien. Innerhalb der Verbundpartner erfolgt der Input durch die Szenariendefinition (AP1) sowie die Niederschlags-Abflussmodellierung (AP2) mit der Bereitstellung von Abflussganglinien an den Modellrändern der Hydrauliksimulation. Erarbeitete Ergebnisse werden an die Verkehrsmodellierung (AP6) sowie direkt an die Katastrophenschutzplanung (AP7) übergeben. Im Rahmen der Entwicklungsarbeit erfolgte zusätzlich eine Übergabe von hochauflösenden Detailergebnissen an AP5, wo die Beurteilung des Befahrbarkeitsstatus erfolgte.

Entsprechend der Vorhabensbeschreibung im Projektantrag sollte aquasoli für das Pilotprojekt Rupertwinkel nur die für das Berechnungsgitter der 2d-Abflussmodellierung erforderlichen Daten beschaffen und aufbereiten – die Abflussmodellierung war bei DHI mit MIKE21 geplant. Nach Projektbeginn wurde in Abstimmung mit den Projektbeteiligten und dem Auftraggeber der Arbeitsauftrag für aquasoli um die Modellerstellung und den –Betrieb erweitert. Die Modellierung erfolgt mit dem in Süddeutschland und den alpinen Nachbarländern verbreiteten 2d-Abflussmodell HYDRO_AS-2D.

Der Einsatz von HYDRO_AS-2D bedingte die Notwendigkeit einer Schnittstelle zur Verkehrssimulation mit VISUM sowie zum Evakuierungssystem FLIWAS, um das globale Ziel der Kopplung von Abfluss- und Verkehrsmodellen für ein besseres Krisenmanagement zu ermöglichen. Um den mit Modellerstellung, -Betrieb und Ergebnisübergabe gestiegenen Arbeitsumfang bei aquasoli auszugleichen, wurden dafür folgende Themen im Projektgebiet Bad Reichenhall von der Bearbeitung ausgenommen:

- Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Diskretisierung auf die Qualität der Ergebnisse (aufgrund des expliziten Lösungsalgorithmus in HYDRO_AS-2D und des hohen Gefälles der Saalach mit großen Froudezahlen besteht hinsichtlich zeitlichen Diskretisierung wenig Spielraum)
- Vergleich von 1D und 2D Modelltechnik (im nachfolgenden Untersuchungsgebiet ist der Einsatz der 1D Modelltechnik für Extremereignisse fachlich nicht sinnvoll)
- Vorbereitung für den Echtzeitbetrieb

Eine weitere Änderung ergab sich aufgrund von politischen Interessen im Umgriff des betrachteten Projektgebietes. Die Gemeinde Piding wurde von der Ergebnisdarstellung

lung ausgenommen. Damit entfallen auch die für Piding kritischen Lastfallkombinationen der Saalach mit dem Nebengewässer der Stoißer Achen. Mit der Hinzunahme des Seebachs als Nebengewässer der Saalach in Bad Reichenhall wurde eine Alternative gefunden. Der Seebach hat ein kleines, sehr steiles Einzugsgebiet und ist damit typisch für Extremszenarien vom Typ Sturzflut. Durch die Änderungen im Umgriff wurde auch die Bezeichnung des Pilotprojektes von Rupertiwinkel auf Bad Reichenhall konkretisiert.

2 Grundlagen und Stand der Technik

Der Einsatz von hydraulischen Abflussmodellen zur Simulation der Fließvorgänge in Gewässern und deren Vorländer ist Stand der Technik. Im praktischen Einsatz befinden sich derzeit je nach Untersuchungsgebiet ein- und zweidimensionale Abflussmodelle, wobei letztere das universelle und damit bevorzugte Instrument darstellen. Dreidimensionale Abflussmodelle werden für die Untersuchung von kleinräumigen Detailfragestellungen eingesetzt, nicht aber für die Ermittlung von großflächigen Überschwemmungsgebieten/ Gefahrenzonen.

Generell sollten für Abflussmodelle für den Einsatz zur Evakuierungssimulation folgende Eigenschaften aufweisen:

- Lösung der Flachwassergleichung (2d-Abflussimulation)
- Nass-/ Trocken-Algorithmus
- Instationäre Abflusssimulationen möglich
- Schnelles, stabiles Lösungsschema
- Parallelisierter Berechnungscode zur Nutzung moderner Mehrkern CPUs
- Berechnung auf unstrukturierten Gitternetzen möglich
- Simulationsmöglichkeiten für jegliche Art von hydraulischen Strukturen wie Verrohrungen/ Durchlässen, Wehren sowie Brückenüberströmung
- Genauigkeit 2. Ordnung in Raum und Zeit
- Möglichkeiten zur Rechenzeitbeschleunigung

Die nachfolgend im Projektgebiet Bad Reichenhall eingesetzte Software HYDRO_AS-2D erfüllt alle diese Anforderungen.

Abflussmodelle liefern als Ergebnis jegliche Form von flächigen Ergebnisdarstellungen wie Überschwemmungsgebiet, Fließtiefenverteilung oder Gefahrenzonen. Eine direkte, automatische Übertragung der Ergebnisse auf die Infrastruktur (Verkehrswegen, Gebäude) inkl. einer Bewertung der Betroffenheit war bislang nicht verfügbar. Automatisierte Entscheidungshilfen für die Einhaltung eines Sicherheitsabstandes an Verkehrswegen waren ebenfalls bisher nicht vorhanden.

3 Projektgebiet Bad Reichenhall

Das Untersuchungsgebiet Bad Reichenhall wird aus hydraulischen Gesichtspunkten von der Saalach bestimmt, einem Gewässer 1. Ordnung. Die Saalach entspringt in den Kitzbühler Alpen. Sie hat eine Länge von 103 km. Die letzten 32 km vor der Mündung in die Salzach fließt sie durch Bayern. Im Bereich des Projektgebiets, der Stadt Bad Reichenhall, besitzt die Saalach ein Einzugsgebiet von etwa 1000 km². Dieses Einzugsgebiet erstreckt sich über die östlichen Ausläufer der Kitzbühler Alpen und die Salzburger Kalkhochalpen. Die Wasserführung zeigt hochalpinen Charakter. Sie wird an den drei Pegelstellen auf bayerischem Gebiet von der Wasserwirtschaftsverwaltung dokumentiert:

- Pegel Unterjettenberg/ Saalach (Fkm 26,0)
- Staufeneck/ Saalach (Fkm 15,0)
- Siezenheim/ Saalach (Fkm 5,5)

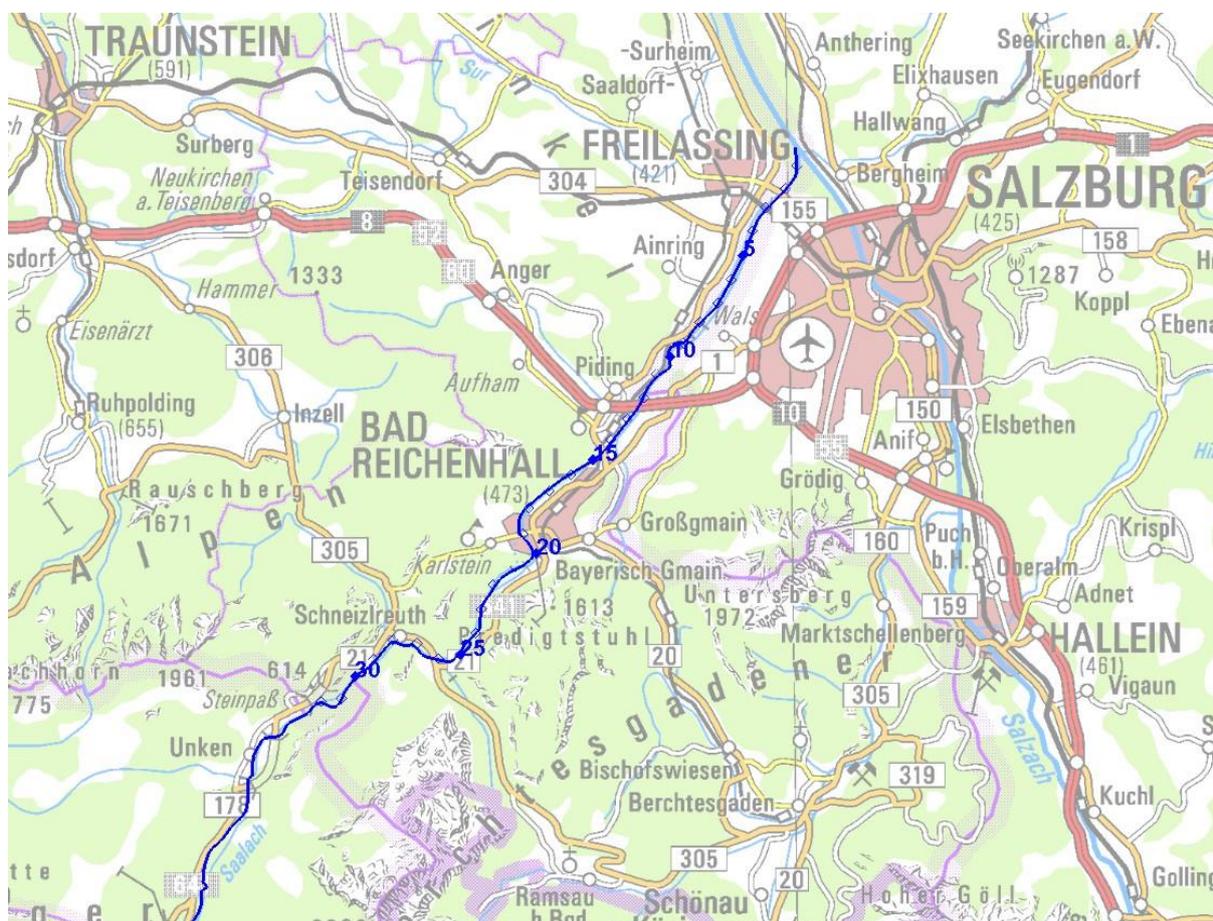


Abbildung 4 Übersichtslageplan (Saalach blau markiert mit Angabe der Flusskilometer)

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von Fkm 20,8 im Unterwasser der Talsperre Kibling bis zur Bundesstraßenbrücke am „Staufeneck“ bei Fkm 14,6. Um mit dem Abflussmodell alle Extremereignisse abbilden zu können, wurde der gesamte Talraum der Saalach bis zum Hammerauer Wehr bei Fkm 9,2 modelliert. Damit ist auch

das Gemeindegebiet Piding im Abflussmodell enthalten, für das im Weiteren jedoch keine flächenhafte Darstellung von Ergebnissen erfolgt (s. Arbeitsauftrag in Kap. 1). Hier erfolgt nur eine Übertragung der Berechnungsergebnisse auf Verkehrswege und –Bezirke.

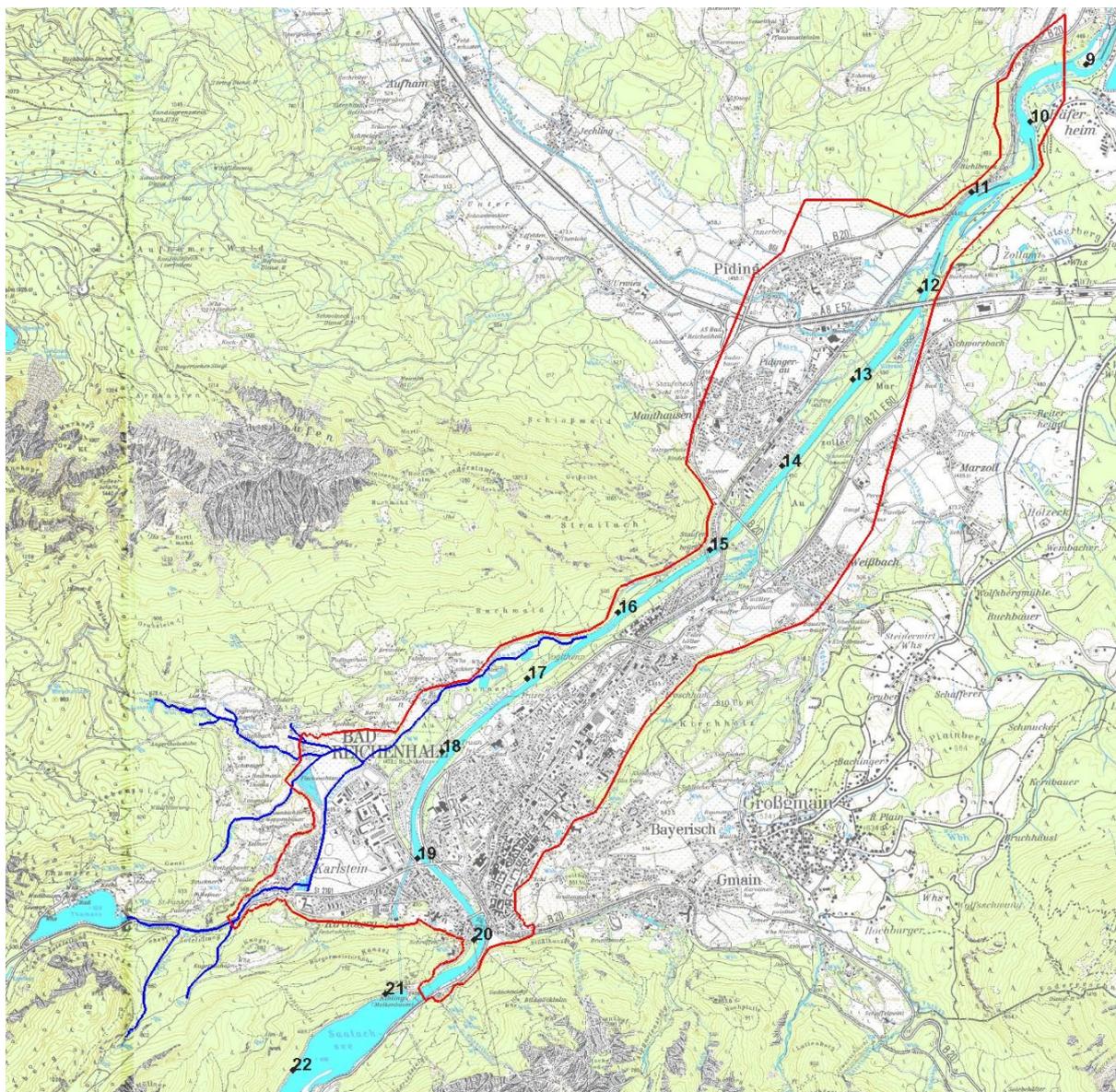


Abbildung 5 Ausdehnung des 2d Abflussmodells (rote Linie) inkl. dem Gewässersystem Seebach (blaue Linien)

Neben der Saalach wird für Bad Reichenhall noch der Seebach als dominantes Nebengewässer mit kleinem Einzugsgebiet näher betrachtet. Der Seebach ist der natürliche Auslauf aus dem Thumsee. Nach Einmündung von zwei Zwischeneinzugsgebieten (Bürgermeisterhöhe, Listsee) mündet der Seebach bei Fkm 16,4 von Westen in die Saalach. Im Abflussmodell ist der Seebach beginnend ab den ersten Gebäuden im Ortsteil Karlstein detailgetreu abgebildet. Aufgrund des Einzugsgebiets sind für den Seebach Sturzflutereignisse typisch.

Eine nähere Beschreibung der Einzugsgebiete von Saalach und Seebach sind im Teilabschlussbericht von Arbeitspaket 2 enthalten.

Hydraulisch relevante Strukturen an der Saalach (Brücken, Deiche und Hochwasserschutzmauern) im Projektgebiet sind in Abbildung 6 und Tabelle 1 zusammengestellt. Eine Hochwassermauer existiert am linken Ufer der Saalach im Bereich Triftwehr bis Brücke Thumseestraße (Fkm 20,1 bis 19,7), ein Hochwasserdeich im rechten Vorland im Bereich Fkm 17,1 bis 14,9. Am Seebach bestehen keine Hochwasserschutzanlagen.

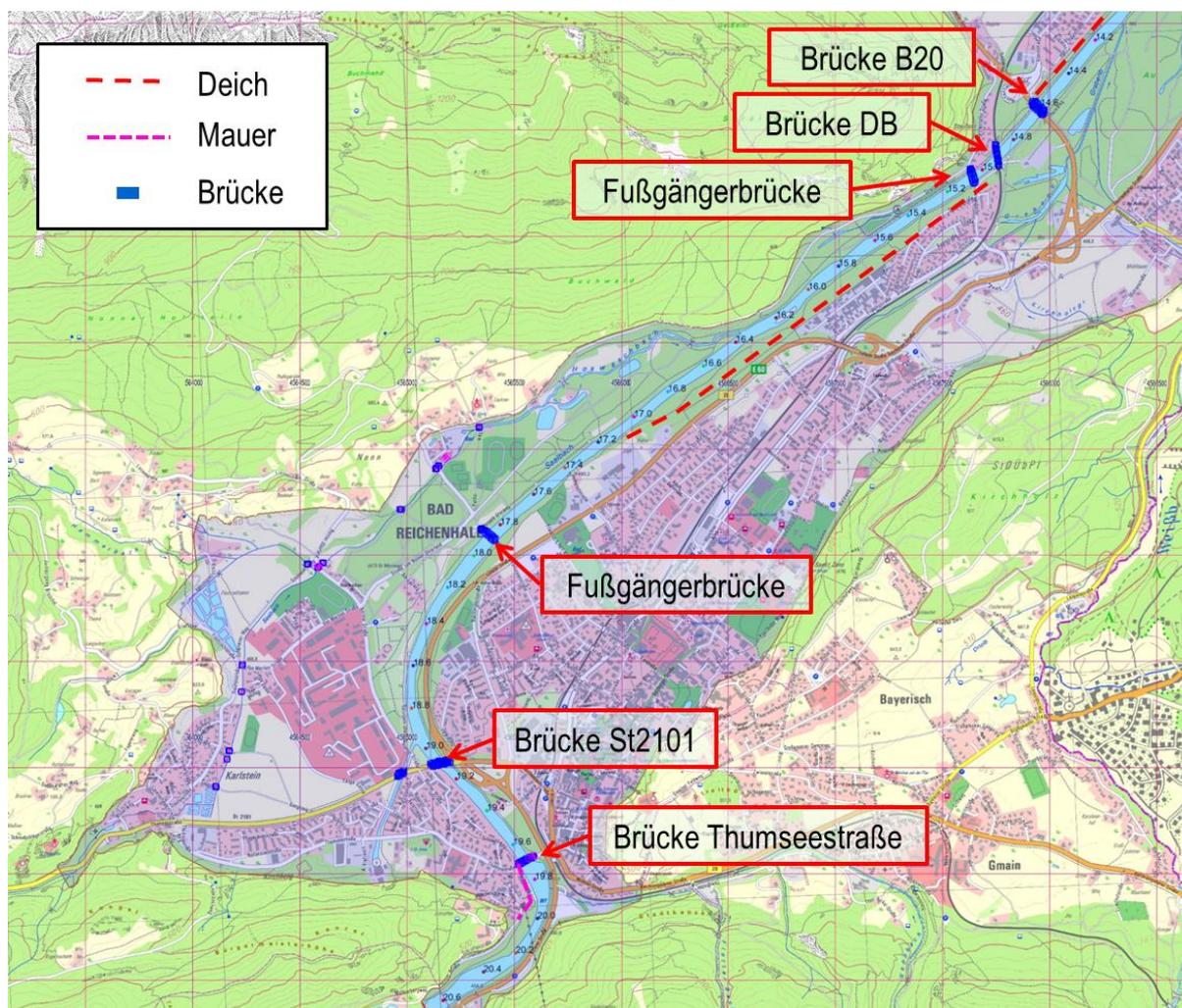


Abbildung 6 Hydraulische relevante Bauwerke im Ortsgebiet Bad Reichenhall (Ausdehnung 2d Abflussmodell blau eingefärbt)

Tabelle 1 Brücken, Querbauwerke und hydraulisch relevante Punkte im Untersuchungsgebiet

Saalach-km	Beschreibung
20,8	Talsperre Kibling (Ausleitungskraftwerk)
20,8-18,9	Restwasserstrecke
19,8	Triftwehr
19,7	Luitpoldbrücke (Thumseestraße)
19,1	Kretabrücke (Reichenbachstraße St2101)
18,0	Nonner Rampe
17,9	Fußgängersteg
16,3	Mündung Seebach
16,0	Griesser Rampe
15,1	Fußgängersteg
15,0	Pegel Staufeneck
14,9	Eisenbahnbrücke
14,8	Schwelle
14,6	Brücke (Reichenhaller Straße B20)
14,2	Schwelle
12,8	Schwelle
12,8	Fußgängersteg
12,1	Brücke BAB A8
11,7	Mündung Stoißer Achen
10,1	Käferhamer Wehr
9,2	Hammerauer Wehr

4 Datenbereitstellung

Aquasoli war im Verbundvorhaben EVASIM für die Datenbeschaffung und – Bereitstellung des Projektgebiets Bad Reichenhall verantwortlich. Es wurden bei den zuständigen Behörden bzw. durch eigene Erhebung folgende Daten beschafft:

- Hydraulisch relevante Geländeinformationen (s.u.)
- Flurkarte mit Gebäuden
- Einwohnerverteilung/ Gebäudenutzung (s. AP6 und AP7)
- bestehender Alarmplan (s. AP7)

Die erhobenen Daten sind in Zusammenhang mit ihrer Verwendung in den jeweiligen Kapiteln detailliert beschrieben.

5 Abflussmodell

5.1 Modellwahl

Entsprechend der Aufgabenstellung sind extreme Abflussereignisse im Projektgebiet Bad Reichenhall modellgestützt abzubilden. Das Modell muss in der Lage sein, sowohl den zeitlichen Verlauf als auch die räumliche Ausdehnung des Überflutungsgebietes für beliebige Ereignisse zu simulieren. Im Hinblick auf die weitere Verwendung der Ergebnisse für die Verkehrs- und Evakuierungssimulation wurde ein zweidimensionales, instationäres Abflussmodell mit hoher räumlicher Auflösung gewählt. Dieses Modell ist in der Lage, die Strömungsverhältnisse (Fließtiefen, Fließgeschwindigkeiten, Fließrichtung bzw. daraus abgeleitete Parameter wie Intensitäten) an jedem Ort im Modellgebiet präzise zu berechnen und damit Aussagen über die Hochwasserbetroffenheit der Infrastruktur bis auf die Ebene der Einzelobjekte (Gebäude, Schutzgüter) bzw. Straßenabschnitte zu liefern.

Als Software für die zweidimensionalen Abflussuntersuchungen wird von aquasoli im Projektgebiet Bad Reichenhall die Software HYDRO_AS-2D (Hersteller: Ingenieurbüro Nujic, Rosenheim) unter Zuhilfenahme der Software SMS (Hersteller: aquaveo LLC, USA) als Pre- and Postprozessor eingesetzt. HYDRO_AS-2D ist aufgrund seiner hohen Performance gerade bei steileren, schnell fließenden Gewässern und dem daraus resultierenden Einsatz in der bayerischen Wasserwirtschaftsverwaltung ein Quasi-Standard nicht nur in Bayern, sondern weit über die Grenzen hinaus.

5.2 Datengrundlage

Für die Modellerstellung wurden aus der Datensammlung folgende Informationen verwendet:

- terrestrische Gewässerquerprofilvermessung der Saalach im Jahre 2009 im Abstand von 50 bis max. 200 m (WWA Traunstein)
- DGM5 (Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation)
- DGM1 aus ALS 2010 (Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation)
- Oberkante der Hochwasserschutzmauer linksufrig des Triftwehrs aus photogrammetrischen Befliegungsdaten Bildflug 2003 (WWA Traunstein)
- Terrestrische Vermessung Seebach im Bereich oberstrom Fischteiche (WWA Traunstein)
- Terrestrische Vermessung Seebach im Bereich unterstrom Fischteiche (Stadt Reichenhall, IB Fendt)
- Gebäudeumrisse aus digitaler Flurkarte (Bayerische Vermessungsverwaltung)
- Bauwerksunterlagen für alle Brücken im Untersuchungsgebiet (WWA Traunstein, Stadt Bad Reichenhall, eigene Vermessung)
- ATKIS Gelände-nutzungsdaten (Autobahndirektion)

- Topografische Kartengrundlage (Bayerische Vermessungsverwaltung)
- Luftbilder (Bayerische Vermessungsverwaltung)
- Bilder von eigenen Ortseinsichten/ Begehungen
- Abflussganglinien, Wasserspiegelfixierungen entlang der Saalach bei den Hochwasserereignissen 2002, 2006 und 2009 (WWA TS)

5.3 Modellerstellung

Unmittelbar nach Projektstart wurde im Jahre 2010 bereits ein erstes Abflussmodell erstellt und betrieben. Damals waren jedoch als flächige Höheninformation nur aus Höhenlinien abgeleitete DGM5 Daten mit einer Höhengenaugkeit von weniger als 50 cm verfügbar. Die damit vorab berechneten Szenarien konnten somit nur einer ersten, groben Einschätzung der Hochwassersituation dienen. Mit der Verfügbarkeit von aktuellen DGM1 Daten (Höhengenaugkeit von +/- 20 cm) aus flugzeuggestütztem Laserscanning (ALS) im Sommer 2011 wurde nochmals ein komplett neues Berechnungsgitter erstellt, das im Folgenden dargestellt ist. Für die Ausdünnung der DGM1 Daten wurde LASER_AS-2D eingesetzt, eine speziell für die Gittererstellung aus Laserscan für HYDRO_AS-2D entwickelte Software (gefördert im Rahmen des EU-Projektes FloodScan). LASER_AS-2D ermöglichte neben einer exakten Abbildung der relevanten Bruchkanten die detailgenaue Integration der Infrastruktur in der Gitterstruktur des Abflussmodells. Alle Gebäude im Untersuchungsbereich sind anhand der digitalen Flurkarte detailgetreu und als „undurchströmbar“ im Berechnungsgitter abgebildet. Die Verkehrswege wurden anhand der DGM1 Rasterdaten abgebildet. Eine Integration von speziellen Auswerteknoten an Gebäuden oder Verkehrswegen im Rechengitter für die spätere Ergebnisübergabe war nicht nötig.

Das damit erstellte Abflussmodell beschreibt mit 0,53 Millionen Knoten (1,04 Millionen Elementen) ein Gebiet von 13,9 km². Die hohe Dichte von ca. 38'000 Knoten/km² resultiert in aus der detailgenauen Modellierung kleiner Strukturen (z.B. Seebach) sowie aus der Berücksichtigung aller Gebäude als Strömungshindernisse im Untersuchungsbereich. Die Landnutzung wurde mittels ATIKS Daten detailliert im Modell abgebildet. Details des Abflussmodells sind in Abbildung 7 bis Abbildung 10 dargestellt.

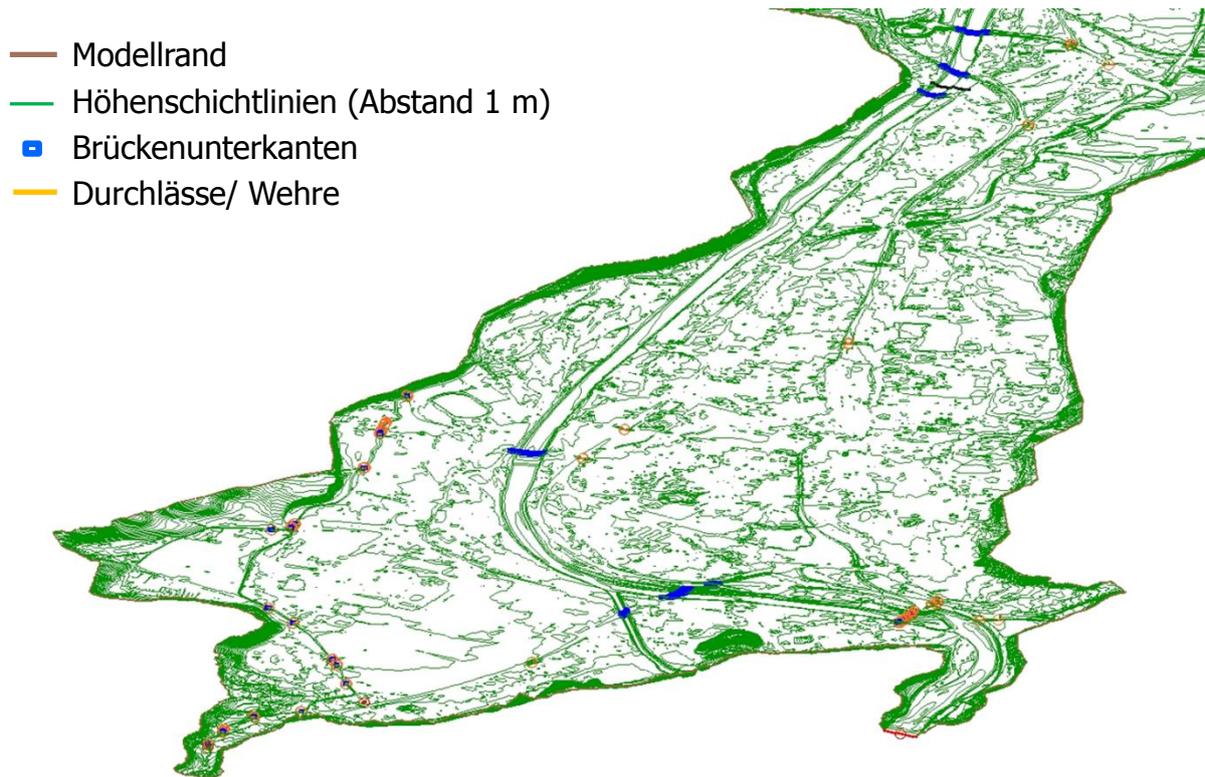


Abbildung 7 Dreidimensionale Ansicht des Rechengitters im Untersuchungsbereich, Gelände und Innere Randbedingungen



Abbildung 8 Dreidimensionale Ansicht des Rechengitters im Untersuchungsbereich, Flächen-nutzung

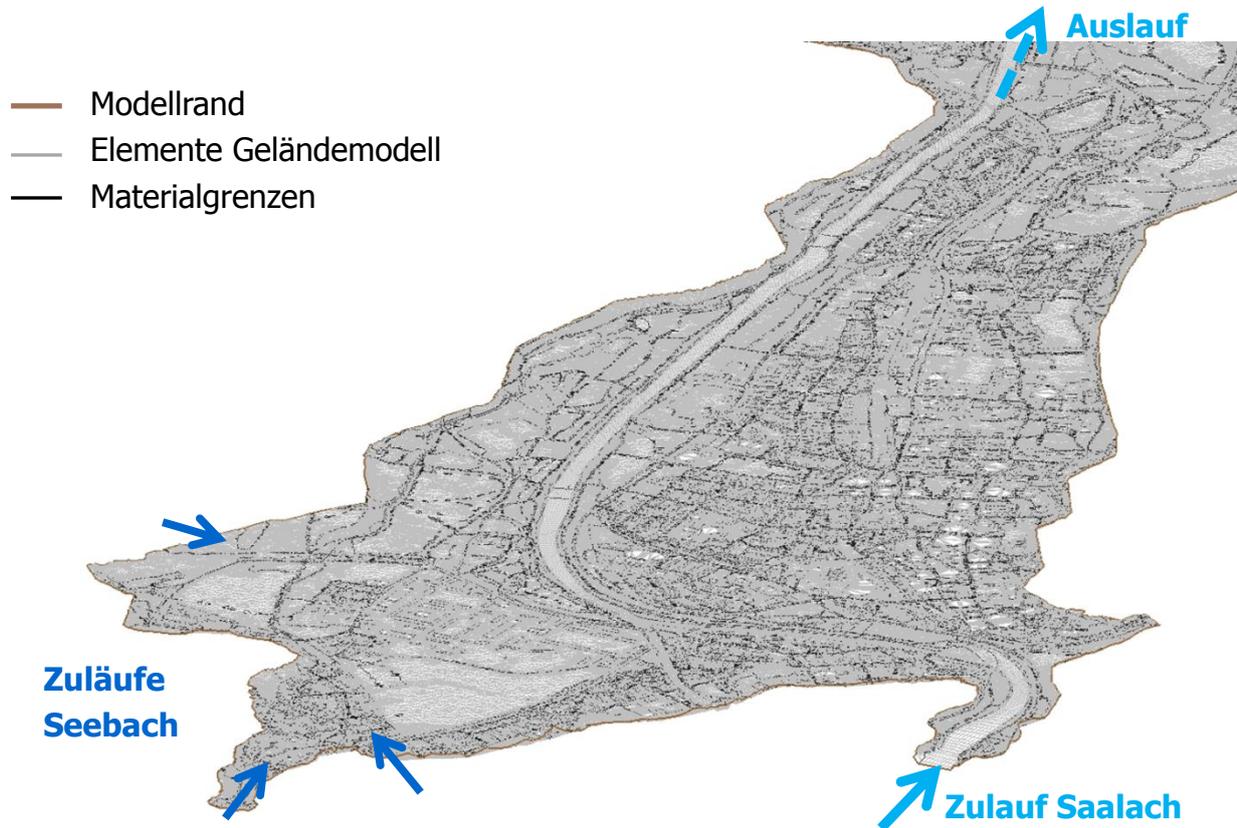


Abbildung 9 Dreidimensionale Ansicht des Rechengitters im Untersuchungsbereich, Elemente und Zuläufe



Abbildung 10 Detailausschnitt zur Visualisierung der Gitterstruktur im Fkm 19,5 bis 18,9 (graue Linien: Elemente; schwarze Linien: Materialgrenzen; schwarze Polygone: undurchströmbare Fließhindernisse wie Gebäude, Brückenpfeiler; blaue Punkte: Brückenunterkanten)

5.4 Modelleichung

Die Modellkalibrierung erfolgt anhand von Fixierungen von Hochwasserspiegellagen (Geschwemmsellinie) im Abstand von 200 m im gesamten Projektgebiet. Kalibriert wurden die Reibungsbeiwerte im Gewässer (Sohle, Ufer) anhand der aktuellsten Fixierung vom Hochwasser 2010 ($Q_{\max} = 651 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Validierung erfolgte anhand des Hochwassers 2002 ($Q_{\max} = 865 \text{ m}^3/\text{s}$). Das aktuellere Ereignis wurde trotz geringerer Abflussspitze zur Kalibrierung verwendet, da es zeitlich am besten zu der im Abflussmodell integrierten Gewässerquerprofilvermessung von 2009 passt und die Saalach eine hohe Sohlendynamik aufweist.

Abbildung 11 zeigt die berechneten Wasserspiegellagen mit den Fixierungen im Längsschnitt. Zur weiteren Plausibilisierung der Fixierungen ist noch die vom Hochwasser 2006 ($Q_{\max} = 516 \text{ m}^3/\text{s}$) eingetragen. Die absolute Abweichung im Wasserspiegel von Fixierung und Berechnung sind in Abbildung 12 aufgetragen. Unter Berücksichtigung des hohen mittleren Geschiebetriebs von $60'000 \text{ m}^3/\text{a}$ kann die Modelleichung als sehr gut bezeichnet werden.

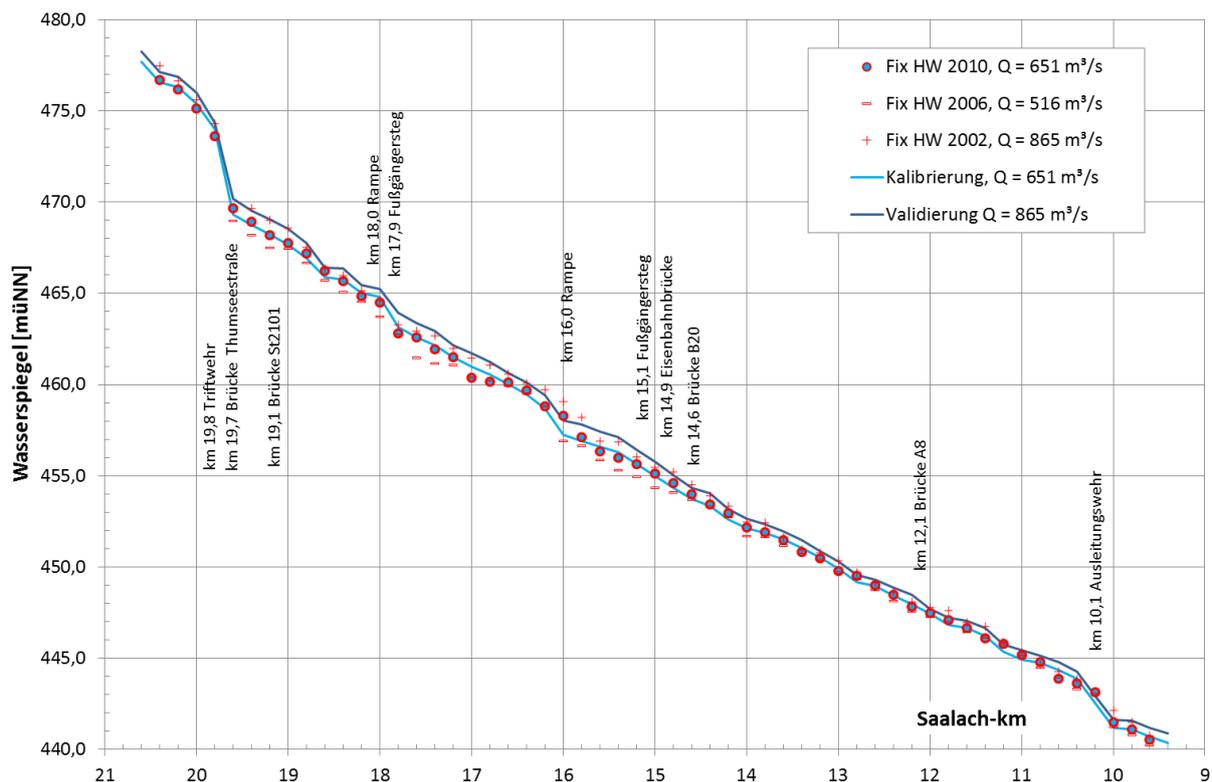


Abbildung 11 Längsschnitt Wasserspiegellagen Modelleichung

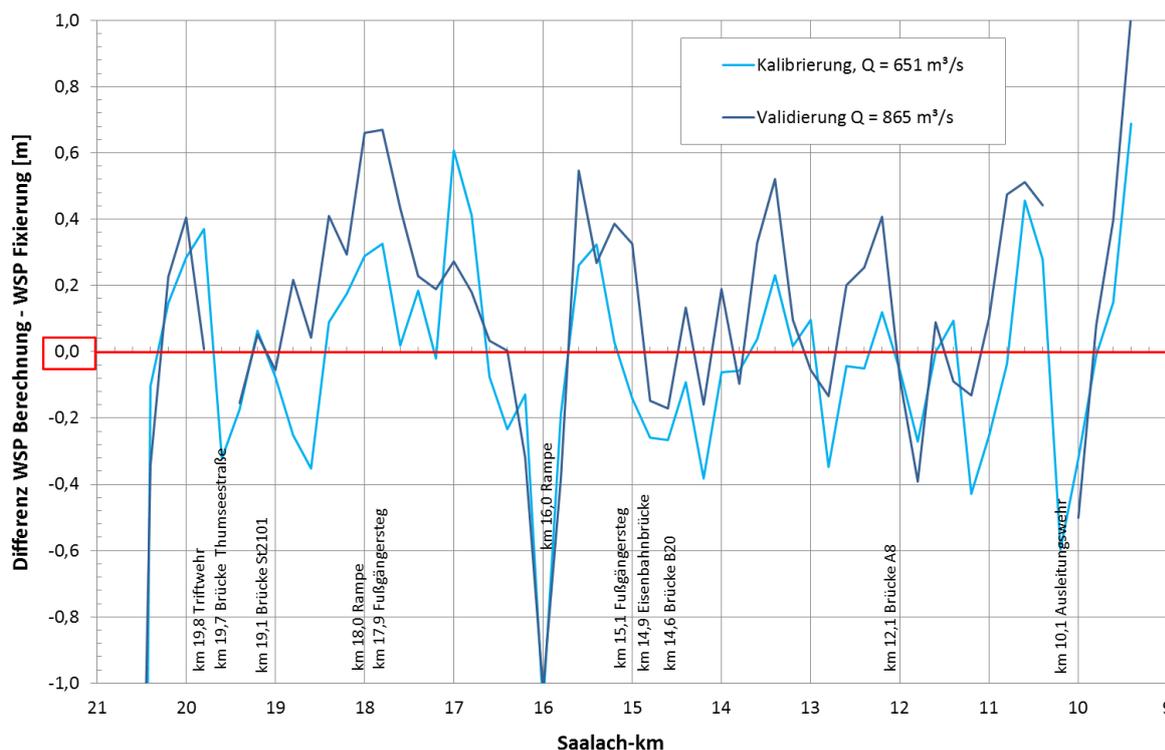


Abbildung 12 Längsschnitt Abweichung Modellergebnisse und Messwerte

5.5 Pegelkurven

An den Gewässerpegeln der Saalach werden kontinuierlich Wasserstände über einem lokalen Bezugshorizont gemessen und als 15 Minutenwerte auf der Internetseite des bayerischen Hochwassernachrichtendienstes bereitgestellt/ dokumentiert. Auf diese Pegelangaben beziehen sich die Hochwassereinsatzpläne bzw. die zugrunde liegenden Hochwassermeldestufen. Für den Betrieb eines Abflussmodells ist der Wasserstand am Pegel nur die zweitrangige Information – wichtiger ist der zugehörige Abfluss. Dieser wird über eine WQ-Schlüsselkurve (Beziehung zwischen Wasserstand W und Abfluss Q) ermittelt, die auf gelegentlich durchgeführten Durchflussmessungen basiert. Aus sicherheitstechnischen Gründen können diese Durchflussmessungen im Gewässer bei Hochwasserereignissen nicht mehr durchgeführt werden, so dass im Bereich der seltenen Ereignisse Extrapolationsverfahren angewandt wurden. Diese berücksichtigen die Geometrie des Fließquerschnitts nur unzureichend und sind daher mit größeren Unsicherheiten behaftet. Nur die Extrapolation mit einem zweidimensionalen Abflussmodell ermöglicht eine zuverlässige Aussage über den WQ Zusammenhang auch bei Extremabflüssen.

Für den im Untersuchungsgebiet des numerischen Abflussmodells liegenden Pegel Staufeneck/ Saalach (Fkm 15,0) wurde daher mit HYDRO_AS-2D eine Abflusskurve bis hinauf in den Extrembereich generiert. Diese zeigt, dass der Pegel wird ab ca. 1200 m³/s Gesamtabfluss in der Saalach umläufig wird.

Derzeit beziehen sich alle Maßnahmen in Bad Reichenhall jedoch auf oberstrom des Abflussmodells liegenden Pegel Unterjettenberg/ Saalach (Fkm 26,0). Für diesen

Pegel hat aquasoli im Auftrag vom bayerischen Landesamt für Umwelt im Rahmen eines EU-cofinanzierten Projektes (EFRE) ein Abflussmodell entwickelt, mit dem die Pegelkurve im Extrembereich extrapoliert wurde. Durch Messwerte ist am Pegel Unterjettenberg nur der Abflussbereich bis 415 m³/s belegt.

Die Ergebnisse der beiden Pegelmodelle sind in Abbildung 13 und Tabelle 2 angegeben. Diese Tabelle ist eine wichtige Grundlage für die Kommunikation der hydraulischen Berechnungsergebnisse (Wasserbauer) mit den Einsatzkräften vor Ort.

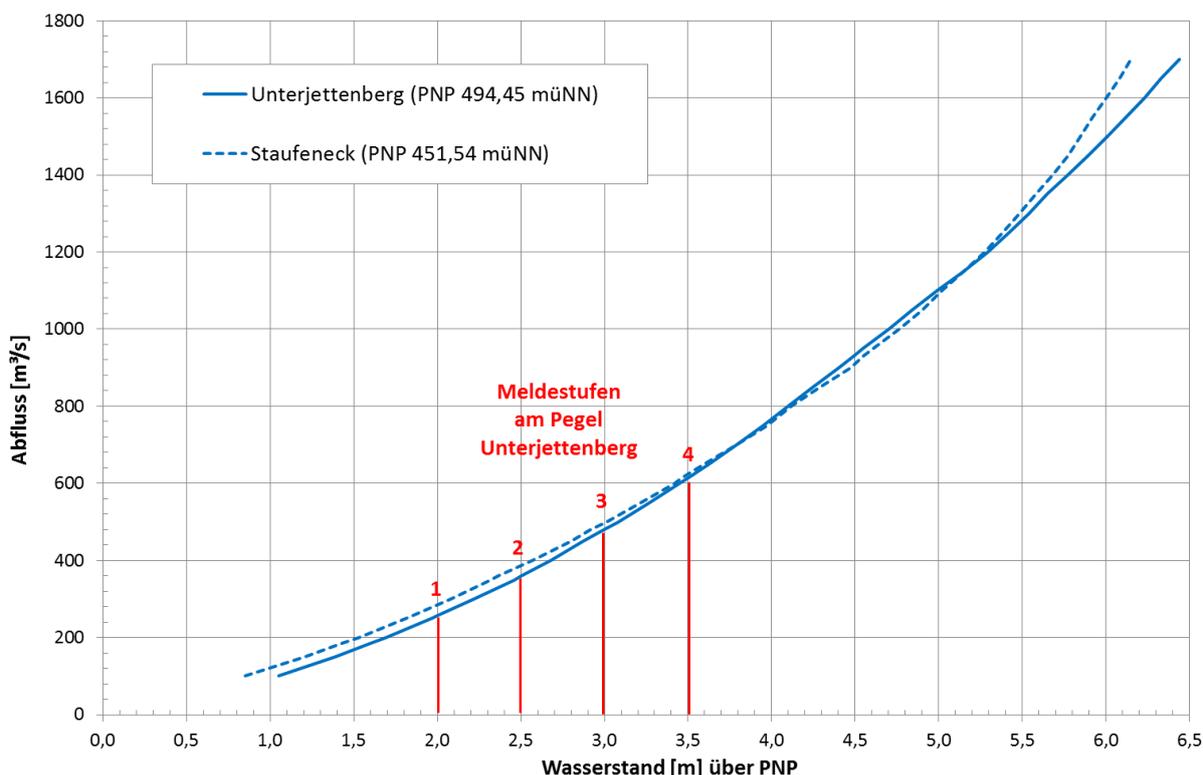


Abbildung 13 Pegelkurven Unterjettenberg und Staufeneck im Vergleich

Tabelle 2 Pegelkurven Unterjettenberg und Staufeneck im Vergleich

Abfluss [m³/s]	WSP [müNN]	WSP [müNN]	WSP PNP [m]	WSP PNP [m]	Meldestufe
	Staufeneck	Unterjettenberg	Staufeneck	Unterjettenberg	Unterjettenberg
			451,54 PNP	494,42 PNP	
100	452,39	495,47	0,85	1,05	
150	452,75	495,81	1,21	1,39	
185	452,97	496,02	1,43	1,60	Meldebeginn
200	453,07	496,11	1,53	1,69	
250	453,36	496,39	1,82	1,97	
256	453,39	496,42	1,85	2,00	Meldestufe 1

300	453,62	496,64	2,08	2,22	
350	453,86	496,88	2,32	2,46	
359	453,90	496,92	2,36	2,50	Meldestufe 2
400	454,11	497,10	2,57	2,68	
450	454,34	497,29	2,80	2,87	
480	454,46	497,42	2,92	3,00	Meldestufe 3
500	454,55	497,50	3,01	3,08	
550	454,76	497,69	3,22	3,27	
600	454,96	497,87	3,42	3,45	
613	455,00	497,92	2,92	3,50	Meldestufe 4
650	455,14	498,05	3,60	3,63	
700	455,33	498,21	3,79	3,79	
750	455,51	498,37	3,97	3,95	
800	455,66	498,52	4,12	4,10	
850	455,83	498,67	4,29	4,25	
900	456,01	498,82	4,47	4,40	
930	456,09	498,90	4,55	4,49	HQ ₁₀₀
950	456,15	498,97	4,61	4,55	
1000	456,30	499,12	4,76	4,70	
1050	456,44	499,26	4,90	4,84	
1100	456,56	499,41	5,02	4,99	
1150	456,69	499,57	5,15	5,15	
1200	456,81	499,71	5,27	5,29	
1250	456,92	499,84	5,38	5,42	
1300	457,02	499,96	5,48	5,54	
1350	457,12	500,07	5,58	5,65	
1400	457,22	500,19	5,68	5,77	
1450	457,31	500,31	5,77	5,89	
1500	457,39	500,43	5,85	6,01	
1550	457,46	500,54	5,92	6,12	
1600	457,54	500,65	6,00	6,23	
1650	457,62	500,75	6,08	6,33	

1700	457,69	500,86	6,15	6,44	
------	--------	--------	------	------	--

6 Abflusssimulationen

Nachfolgend sind alle Abflusssimulationen beschrieben, die mit dem geeichten Abflussmodell durchgeführt wurden.

6.1 Szenarien Saalach

Die Szenarien der Saalach sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3 Übersicht Abflusssimulation Saalach

T [a]	Beschreibung	Deich intakt	Deich entfernt	Deich- bruch	Hochwas- ser- verteidi- gung
100	stationär 930 m ³ /s	X	X		
200	stationär 1030 m ³ /s	X	X		X
500	stationär 1160 m ³ /s	X	X		XX
1000	stationär 1260 m ³ /s	X	X		
Extrem	instationär $Q_{\max} = 1500$ m ³ /s	X	X	XX	
---	900 bis 1900 m ³ /s, ΔQ von 50 m ³ /s	X	X		

X ein Rechenlauf XX .. zwei Rechenläufe

Für die Katastrophenschutzplanung waren die Ereignisse HQ₁₀₀, HQ₂₀₀, HQ₅₀₀ und HQ₁₀₀₀ sowie das HQ_{extrem} zu berechnen. Um keine Abweichungen von den amtlichen Werten zu erhalten, wurde das HQ₁₀₀ übernommen und die selteneren Ereignisse bis einschließlich HQ₁₀₀₀ mittels der Gumbel Verteilung errechnet (Ellinger, 2012). Die fünf charakterlichen Abflüsse sind in Tabelle 4 nochmals zusammengefasst.

Tabelle 4 Abflussangaben (Q_{\max}) und Jährlichkeiten (T) der fünf Ereignisse der Saalach

T [a]	100	200	500	1000	Extrem
Q [m ³ /s]	930	1030	1160	1260	1500

Die Angaben zum Extremszenario der Saalach erfolgten durch AP2 mit der Bereitstellung einer Abflussganglinie (s.Abbildung 14). Dieses Ereignis ist im Folgenden mit HQ_{extrem} bezeichnet und besitzt mit einer Abflussspitze von 1500 m³/s eine Jährlich-

keit größer als 1000. Die Ergebnisse der instationären Berechnung wurden alle 15 Minuten ausgespielt.

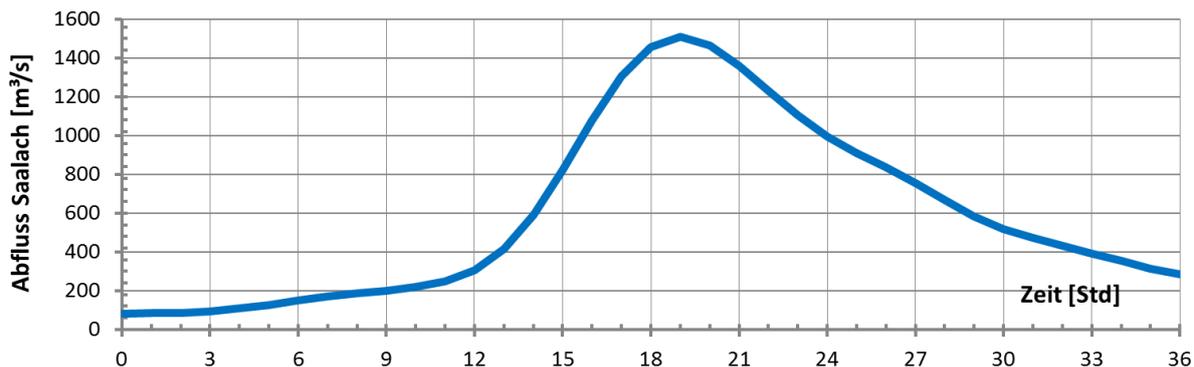


Abbildung 14 Ganglinie für das Extremhochwasser (HQ_{extrem})

Die Abflussberechnungen für die fünf Jährlichkeiten wurden jeweils mit und ohne funktionstüchtiger Hochwasserschutzdeiche berechnet (vgl. Abbildung 6), um die geschützten Bereiche zu ermitteln. Im Gegensatz zum Deich tritt ein Versagen der Hochwassermauer im Überströmungsfall nicht automatisch ein, so dass hier Versagensszenarien entfallen.

Des Weiteren wurden mit der Welle HQ_{extrem} auch zwei Damnbrüche simuliert, die die zusätzliche Schädigung eines plötzlichen Versagensfalles des Deiches wieder spiegeln. Dabei wurden bewusst zwei kritische Stellen im Deich gewählt, die im Lageplan in Abbildung 15 gekennzeichnet sind.

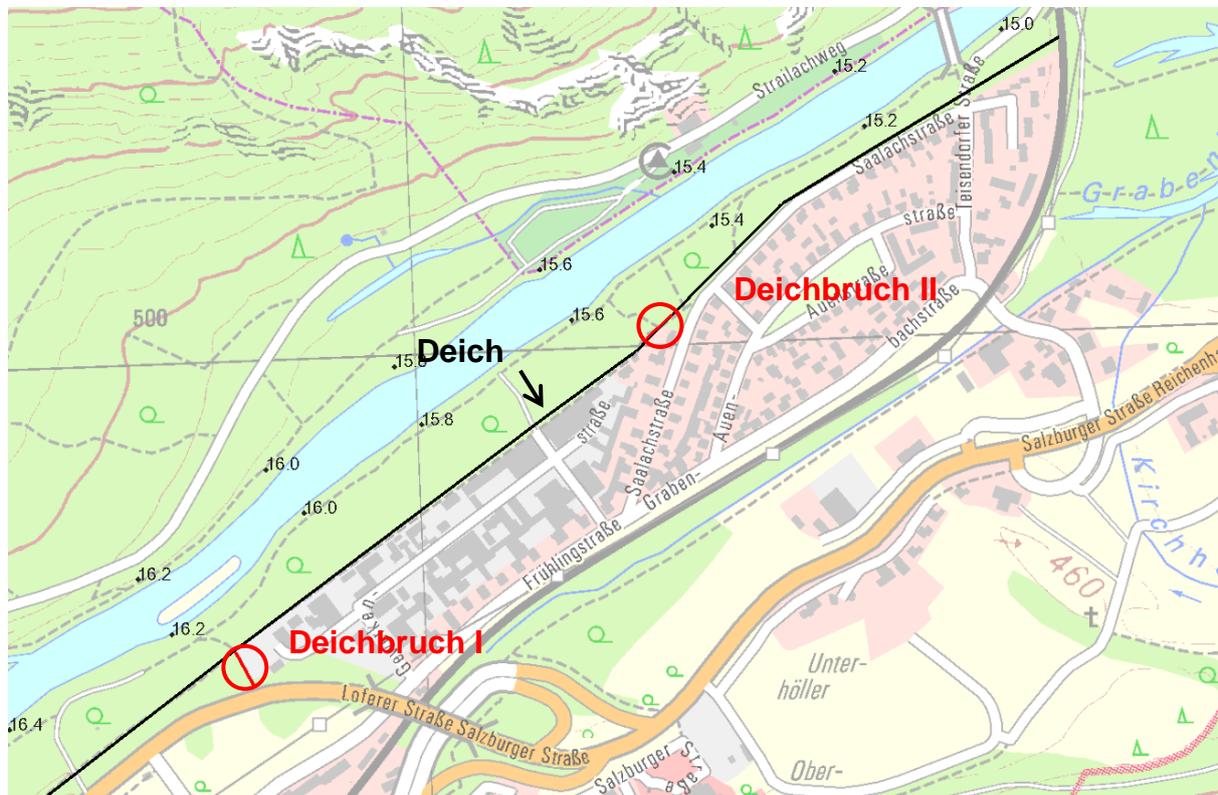


Abbildung 15 Bruchstellen I und II im Deich

Bruchstelle I simuliert einen 45 m langen Bruch in einer hinter dammartigen Struktur bei Fkm 15,95 unmittelbar hinter dem eigentlichen Deich (mittlere Bruchhöhe 1,2 m), Bruchstelle II einen 40 m langen Bruch bei Fkm 15,55 (mittlere Bruchhöhe 1,0 m). Der Bruch erfolgte stets bei Stunde 18 der Ganglinie HQ_{extrem} . Das Gewerbe/ Siedlungsgebiet zwischen Deich und Eisenbahnlinie war zu diesem Zeitpunkt noch trocken, die Deiche an den beiden Bruchstellen bereits eingestaut. Für eine detaillierte Auswertung der hoch instationären Effekte wurden die Deichbruchberechnungen sowie eine Vergleichsrechnung auf Bestandsgelände ohne Deichbruch über eine Dauer von vier Stunden mit einem Ausgabeintervall von 5 Minuten durchgeführt.

Die Deichbruchsimulationen wurden eingehend ausgewertet und für die Verkehrs-/ Katastrophenschutzsimulation aufbereitet. Spezielles Augenmerk wurde auf erhöhte Schäden (Schadklassen) durch den plötzlichen Versagensmechanismus bei den Gebäuden gelegt.

Für das Gewerbe/ Siedlungsgebiet zwischen Deich und Eisenbahnlinie wurden aufgrund des hohen Schadenspotentials auch stationäre Rechenläufe zur Dimensionierung von Hochwasserverteidigungsmaßnahmen durchgeführt (HQ_{200} und HQ_{500} stationär). Für seltenere Ereignisse größer als HQ_{500} zeigt sich, dass eine Deichverteidigung überwiegend unwirksam ist, da die Überströmungsbereiche maßgebender Geländekanten mit zunehmendem Abfluss drastisch ansteigen.

Tabelle 5 Beschreibung der simulierten Schutzlinie zur Hochwasserverteidigung

Schutzlinie	Beschreibung
S1	Barriere auf der Frühlingsstraße unter der Bundestraßenbrücke (Loferer Straße)
S2	Erhöhung des Dammes im Bereich der angenommenen Bruchstelle I (s..Abbildung 15)
S3	Erhöhung des Dammes im Bereich der angenommenen Bruchstelle II (s..Abbildung 15)

Die Berechnungen zeigen, dass Schutzlinie S1 bei HQ_{200} ausreicht. Bei HQ_{500} müssen alle drei Schutzlinien bestehen, dann wird das Siedlungsgebiet nur noch vom Deichende bei der Eisenbahnbrücke her geflutet.

Auch die Simulationen der Hochwasserverteidigung wurden eingehend ausgewertet und für die nachfolgenden Arbeitspakete aufbereitet. Spezielles Augenmerk wurde auf sekundäre, durch die Hochwasserverteidigung zusätzlich entstandene Schäden an Gebäuden gelegt. Diese zusätzlichen Schäden entstehen aufgrund höherer Wasserspiegellagen verursacht durch die Schutzlinien.

6.2 Szenarien Seebach

Neben den Lastfällen der Saalach wurde auch eine Simulation von HQ_{extrem} am Seebach durchgeführt. Entsprechend den natürlichen Gegebenheiten wurde an insgesamt 3 Zuflusspunkten

- Thumsee (Seebach oberhalb Bebauung Karlstein inkl. Zuflüssen vom Müllnerhörndl),
- Bürgermeisterhöhe (Zufluss von Süden im Bereich der Fischteiche) und
- Listsee (Zufluss von Westen im Bereich der Sportanlage der Bundeswehr)

eine instationäre Abflussganglinie vorgegeben (s. Abbildung 16). Die Summe der Zuflüsse erreicht im Maximum 25 m^3/s . Aufgrund der Wellenverformung wurden innerhalb des Abflussmodells lokale Abflussspitzen von 6 m^3/s am Pegel Seebach (Betreiber Stadt Bad Reichenhall) sowie von 13 m^3/s an der Mündung erreicht. Die Retentionswirkung im Seebach ist auf größere Ausuferungen zurückzuführen, die sich anhand der maximalen Fließtiefenverteilung bei HQ_{extrem} in Abbildung 32 gut erkennen lassen.

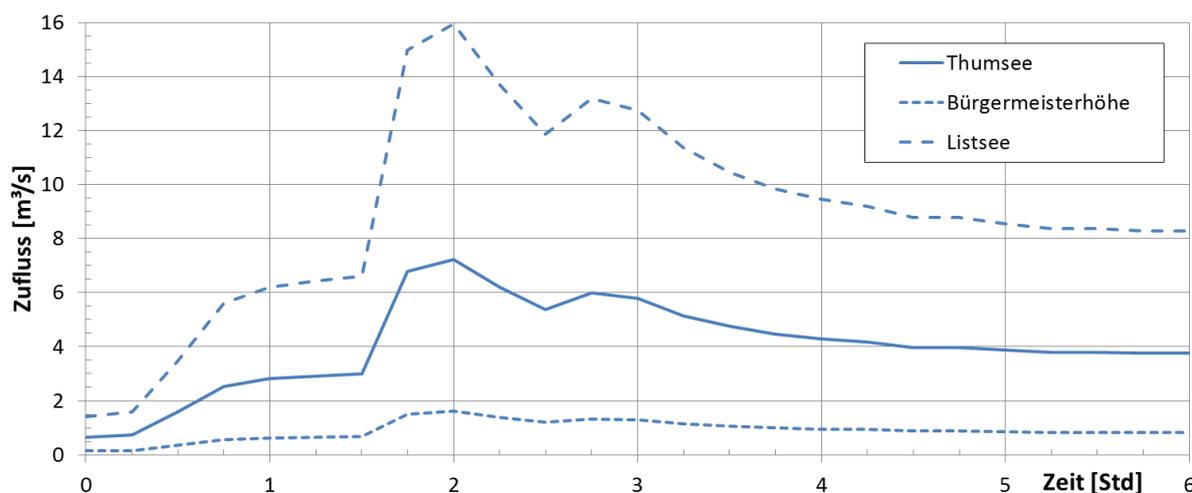


Abbildung 16 Zuflussganglinien bei HQ_{extrem}

7 Schnittstellenprogrammierung

7.1 Allgemeine Beschreibung der Funktionalitäten

Für die Übergabe der Berechnungsergebnisse der zweidimensionalen Abflussimulation (AP3) an die Verkehrsmodellierung (AP6) und Katastrophenschutzplanung (AP7) mussten Schnittstellen geschaffen werden. Die Anforderungen an die Schnittstellen waren eine Übertragung der flächigen hydraulischen Ergebnisse auf punkt-, linien- oder polygonförmige Objekte (Infrastruktur wie Verkehrswege und Gebäude). Die Herausforderung bei dieser Übertragung liegt in der unterschiedlichen räumlichen Diskretisierung von Abflussmodell und den jeweiligen Objekten. Aquasoli hat bei der Entwicklung der Übertragungsalgorithmen eine maximale Flexibilität in der Diskreti-

sierung des Abflussmodells berücksichtigt, wodurch unterschiedliche Diskretisierungsstufen des Rechengitters mit unterschiedlichen Rechenzeiten und – Genauigkeiten möglich sind.

Die Schnittstellen unterscheiden sich grundlegend je nach der Geometrie der Objekte, auf die die Strömungsergebnisse übertragen werden sollen:

- auf Punktobjekte (z.B. Brückenkontrollpunkte, Pegelpunkte)
- auf Linienobjekte (z.B. Verkehrswege)
- auf Polygonobjekte (z.B. Gebäude, Bezirke)

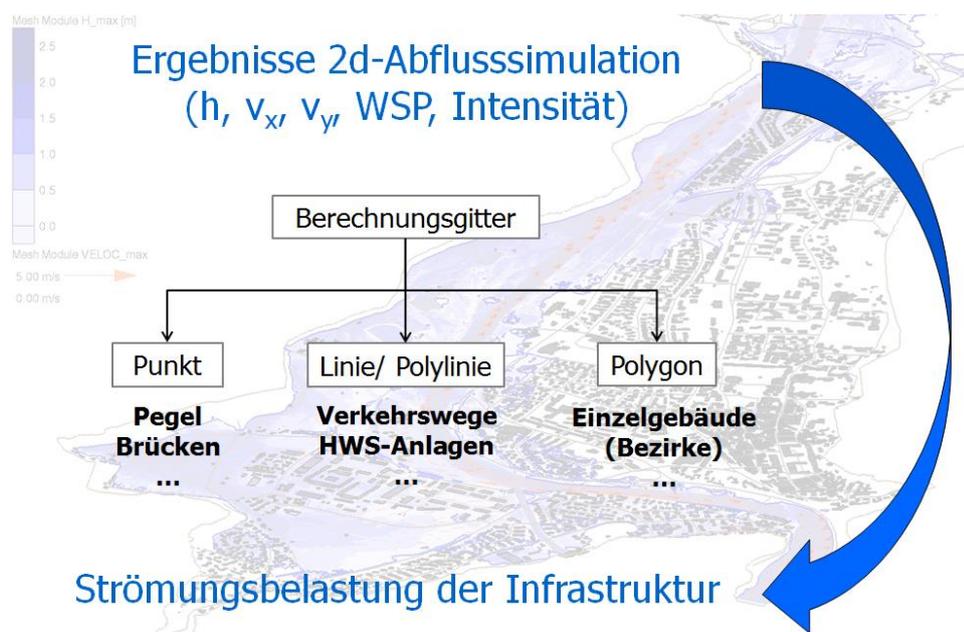


Abbildung 17 Funktion der Schnittstelle

Bei der Ermittlung des Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen war über die reine Übertragung von Information hinaus noch die Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes nötig (s. Kap7.5).

Die nachfolgend dargestellten Schnittstellen sind speziell auf das eingesetzte Softwarepaket SMS/ HYDRO_AS-2D abgestimmt. Um die Details der Schnittstellen zu verstehen, sind Detailkenntnisse über das Softwarepaket nötig.

SMS ist eine allgemeine Benutzeroberfläche für die hydrodynamische Modellierung und wird als Pre- und Postprozessor für HYDRO_AS-2D, einer Konsolenanwendung für die Lösung der Flachwassergleichung, eingesetzt. In SMS wird für das Untersuchungsgebiet ein unstrukturiertes Berechnungsgitter aus linearen Dreiecken und Vierecken erstellt, auf dem das Setup der Berechnung sowie die Darstellung der Berechnungsergebnisse erfolgt. Die eigentliche Gleichungslösung erfolgt in HYDRO_AS-2D mittels Finite-Volumen-Methode in den Knoten. HYDRO_AS-2D berechnet das zu jedem Knoten zugehörige Kontrollvolumen über Polygone, deren Stützpunkte die Eckenschwerpunkte und Seitenmittelpunkte aus den am Knoten anschließenden Elementen darstellen. Die Bestimmung von Strömen (Fluxes) erfolgt entlang

der Kanten durch die Seiten der Kontrollvolumina. Nach der Lösung der Flachwassergleichung stehen folgende zeitabhängige Data Sets zur Verfügung:

- Depth (Fließtiefe h , Gleichungslösung ohne Korrekturen)
- Veloc (Fließgeschwindigkeitsvektor \vec{v} , Gleichungslösung ohne Korrekturen)
- WSPL (Wasserspiegellage mit Korrekturen an der Nass-Trocken-Grenze für eine lagerichtige Darstellung der Anschlaglinie)

Daraus lassen sich weitere, für die Verkehrsmodellierung und die Katastrophenschutzplanung interessante Größen ableiten:

- Spezifischer Abfluss $q = h|\vec{v}|$
- Energiehöhe $E = h + \frac{|\vec{v}|^2}{2g}$
- Intensitätsklassen

Für das Verständnis der spezifischen Anpassung der Schnittstelle Hydraulik – Verkehr sind folgende Besonderheiten von HYDRO_AS-2D:

- explizites Lösungsschema: absolute Stabilität der Berechnung auch bei steilen Gerinnen und/ oder extrem instationären Vorgängen (Damm-/ Deichbruch)
- Finite Volumen Methode mit knotenzentrierter Variablenhaltung
- unstrukturierte Gitter aus Dreiecks- und Viereckselementen möglich.
- Brückenbauwerke können zweidimensional modelliert werden (Konstruktionsunterkannte als Randbedingung in Knoten). Für die Simulation von Verrohrungen/ Durchlässen, Wehren sowie Brückenüberströmung stehen eindimensionale Hilfsstrukturen zur Verfügung.
- Möglichkeit zur exakten Positionierung der Wasseranschlagslinie auch zwischen zwei Lösungsknoten

Die Programmierung der nachfolgend dargestellten Schnittstellen erfolgte mittels vb.net unter der Oberfläche Microsoft Visual Basic 2008 in der frei verfügbaren Express Edition.

7.2 Übertragung der Strömungsergebnisse auf Punktobjekte

Typische Punktobjekte sind Pegelpunkte und Brückenkontrollpunkte zur Überwachung des Restfreibords an den Unterkanten. Alle Punktobjekte besitzen eine eindeutige ID Nummer.

Die Übertragung von Informationen aus dem Berechnungsgitter auf einzelne Punkte kann entweder durch direkte Übergabe eines Knotenwertes (der gesuchte Punkt liegt direkt auf Knoten) oder durch lineare Interpolation der Knotenwerte aus dem Element erfolgen, in dem der gesuchte Punkt liegt.

Ersteres ist ein trivialer Fall, letzteres setzt eine Routine „Punkt in Polygon“ mit anschließender linearer Interpolation voraus.

7.3 Übertragung der Strömungsergebnisse auf Linienobjekte

Als Linienobjekte sind nachfolgend die Verkehrswege (Polylinien) anzusehen und damit die Schnittstelle zum Verkehrsmodell AP6 und der Katastrophenschutzplanung AP7. Alle Verkehrswege besitzen eine eindeutige ID Nummer in der Datenbank, mit der die Objekte von allen Beteiligten eindeutig identifiziert werden.

Die Übertragung von Informationen aus dem Berechnungsgitter auf Linien (allgemein: Polylinien) muss für unterschiedlichste räumliche Auflösung von Berechnungsgitter (Größe der Elemente) und Polylinie (Anzahl von Stützstellen) möglich sein. Grundvoraussetzung ist ein auf die äußerst exakte Topographie des Rechengitters (Lagegenauigkeit kleiner 1 m) abgestimmtes Verkehrswegenetz. Abbildung 18 zeigt die nötigen Anpassungen in der Lage der Verkehrswege, die sich aufgrund des größeren Planungsmaßstabs und damit einhergehende schlechtere Lagegenauigkeit von durchschnittlich 5 – 10 m in den Verkehrsmodellen ergibt. Die Originaldaten aus AP6 sind in Abbildung 18 als schwarze Linien „Verkehrswege ISV“, die angepassten Verkehrswege als rote Linien dargestellt. Diese Lageanpassung ist unumgänglich, da die Höhenlage der Verkehrswege und damit die Überflutungsbeurteilung anhand des Geländeabbildes im Rechengitter ermittelt wird.

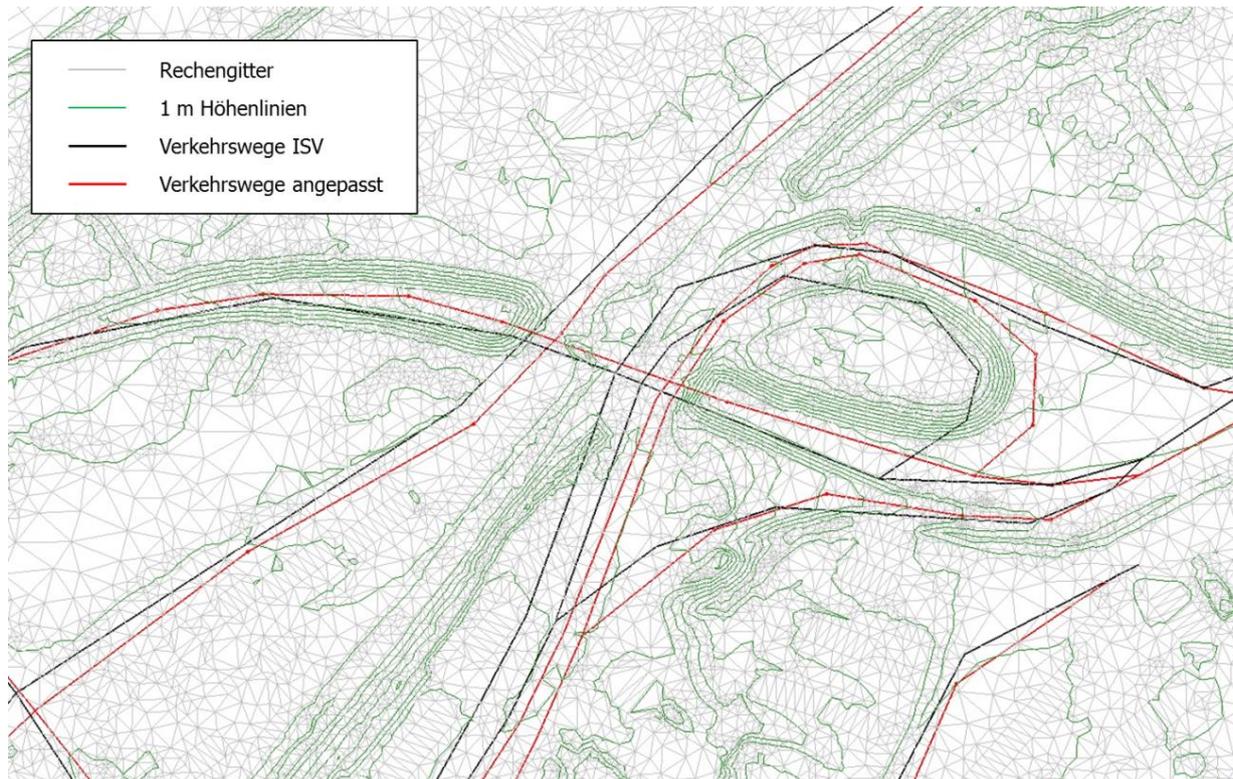


Abbildung 18 Abstimmung der Verkehrswege auf die Topographie des Rechengitters

Für die angepassten Verkehrswege berechnet die Schnittstelle in einem ersten Schritt für jede Polylinie die Schnittpunkte mit allen Gitterkanten (zwei Knoten maßgebend) sowie die beiden Elemente, in denen Anfangs- und Endpunkt der Polylinie liegen (drei Knoten maßgebend), vgl. Abbildung 19. Die rechenintensive Suche der Auswertepunkte wird vorab durchgeführt, so dass die eigentliche Ergebnisübergabe mit einer vorgefertigten Übergabematrix erfolgen kann.

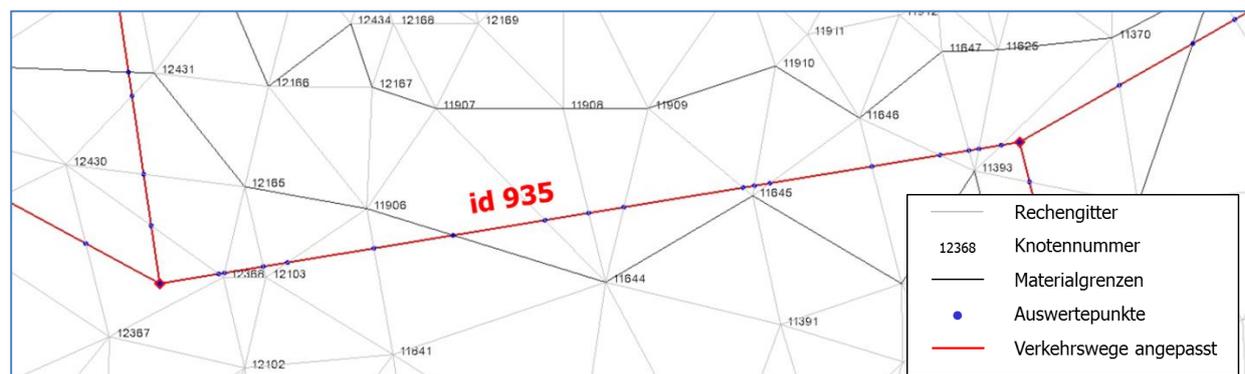


Abbildung 19 Beispiel für die Generierung der Auswertepunkte (Weg Nr. 935)

Für jede einzelne Polylinie wird dabei in einer Datenbank eine Liste mit allen zugehörigen Auswertepunkten mit folgenden Informationen gespeichert:

- Knoten1 (ID Nummer)
- Knoten 2 (ID Nummer)
- Knoten 3 (ID Nummer)
- Anteil1
- Anteil2

- Anteil3
- Raumwinkel_Wegsegment
- Rechtswert Auswertepunkt (für Kontrollzwecke)
- Hochwert Auswertepunkt (für Kontrollzwecke)

Tabelle 6 zeigt den Inhalt der Datenbank exemplarisch am Verkehrsweg ID 935.

Tabelle 6 Beispiel für die Datenbank der Auswertepunkte (Weg Nr. 935)

Node1	Node2	Node3	Anteil1	Anteil2	Anteil3	Winkel	Rechtswert	Hochwert
12368	12430	12367	0,495	0,138	0,367	261	4565439,50	5287011,20
12430	12368	0	0,030	0,970	0,000	261	4565442,28	5287011,66
12165	12368	0	0,048	0,952	0,000	261	4565442,55	5287011,70
12165	12103	0	0,118	0,882	0,000	261	4565444,38	5287012,01
11906	12103	0	0,214	0,786	0,000	261	4565445,52	5287012,20
11906	11841	0	0,728	0,272	0,000	261	4565449,59	5287012,87
11644	11906	0	0,362	0,638	0,000	261	4565453,32	5287013,49
11644	11907	0	0,643	0,357	0,000	261	4565457,64	5287014,20
11644	11908	0	0,602	0,398	0,000	261	4565459,70	5287014,54
11644	11909	0	0,568	0,432	0,000	261	4565461,36	5287014,82
11645	11909	0	0,907	0,093	0,000	261	4565466,97	5287015,74
11645	11910	0	0,923	0,077	0,000	261	4565467,51	5287015,83
11646	11645	0	0,162	0,838	0,000	261	4565468,24	5287015,96
11392	11646	0	0,292	0,708	0,000	261	4565473,04	5287016,75
11393	11646	0	0,701	0,299	0,000	261	4565476,26	5287017,28
11393	11647	0	0,827	0,173	0,000	261	4565477,61	5287017,51
11625	11393	0	0,184	0,816	0,000	261	4565478,09	5287017,58
11370	11393	0	0,195	0,805	0,000	261	4565479,14	5287017,76
11393	11156	11370	0,687	0,077	0,236	261	4565480,00	5287017,90

Alle Berechnungsergebnisse des Abflussmodells sind in sogenannten Data Sets (Felder mit Knoten-ID und Time Step) gespeichert. Somit lässt sich mit obigen Angaben für jeden Auswertepunkt in einem zweiten Schritt mittels baryzentrischer Interpolation der zugehörige Funktionswert aus den relevanten Strömungsgrößen in den Knoten errechnen:

$$f_{\text{Auswertepunkt}} = \text{Anteil1} f_{\text{Knoten1}} + \text{Anteil2} f_{\text{Knoten2}} + \text{Anteil3} f_{\text{Knoten3}}$$

Der Raumwinkel jedes Wegesegments wird in Grad angegeben mit einem Wertebereich 0 bis 360° (0° Nord - 90° Ost - 180° Süd - 270° West). Mit dem Raumwinkel lässt sich der Differenzwinkel aus Wegesegment und Strömung berechnen, der wichtig ist für die Bewertung der Befahrbarkeit.

Während der Entwicklungsphase der Schnittstelle erfolgte die Bewertung der Befahrbarkeit im AP5. Aus diesem Grunde wurden die Strömungsgrößen Fließtiefe, Fließgeschwindigkeit und Anströmwinkel für alle Auswertepunkte in einzelnen Dateien abgespeichert. Der in Tabelle 7 prinzipiell dargestellte Dateiaufbau für die detaillierte Ergebnisübergabe wurde gemeinsam mit allen beteiligten Projektpartnern definiert.

Tabelle 7 Dateiaufbau für die Übergabe der Detailergebnisse Verkehrswege

Weg ID	Auswertepunkt	Rechtswert	Hochwert	Zeit ₁	Zeit ₂	Zeit ₃	Zeit _n
1	1						
1	2						
1	3						
1	4						
1	5						
...	...						
2	1						
2	2						
2	3						
...	...						

Nach Abschluss der Forschungsaktivitäten zur Stabilität von Fahrzeugen in Strömungen standen einfache Bewertungskriterien zur Verfügung. Die Schnittstelle wurde damit so verbessert, dass die einzelnen Auswertepunkte der Wege nur mehr intern überprüft werden und als Ergebnis der Befahrbarkeitsindex für eine definierte Fahrzeugklasse je Weg-ID und Zeitpunkt in einer Datenbank bereitgestellt wird.

Bei der Ermittlung des Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen ist über die reine Übertragung/ Auswertung von Strömungsparametern hinaus noch die automatisierte Berücksichtigung der Sonderfälle Verkehrsweg über Gewässer (Brücke) und höhenfreie Verkehrswegekreuzung sowie eines Sicherheitsabstandes nötig. Näheres zum Sicherheitsabstand, dem Analogon zum Freibord bei Hochwasserschutzanlagen, beschreibt Kap. 7.5.

Die zwei Sonderfälle

- Fall A: Verkehrsweg über Gewässer
- Fall B: Verkehrswege kreuzen einander höhenfrei

im Bereich von Brücken werden von der Schnittstelle ähnlich behandelt:

In einer zusätzlichen Eingabedatei kann jedem Verkehrsweg die Lage auf einer zweiten Ebene zugewiesen werden. Bei Wegen auf zweiter Ebene werden in allen Auswertepunkten, in denen zumindest in einem der zugewiesenen Knoten eine Konstruktionsunterkante (KUK) definiert ist, keine Berechnungsergebnisse übertragen. Für den Fall B werden im Abflussmodell auch in den Vorländern im Bereich von Brücken KUKs definiert, um Brückenplatten lokalisieren zu können.

Abbildung 20 zeigt die beiden Fälle anhand einer perspektivischen Ansicht des Abflussmodells. Dargestellt sind 1 m Höhengichtlinien in grün, Verkehrswege in schwarz, Fließtiefen in blau, Fließvektoren in schwarz sowie Brückenunterkanten über dem Gewässer (KUK) als rote, punktuelle Randbedingungen. Brückenunterkanten über Straßen sind nicht dargestellt.

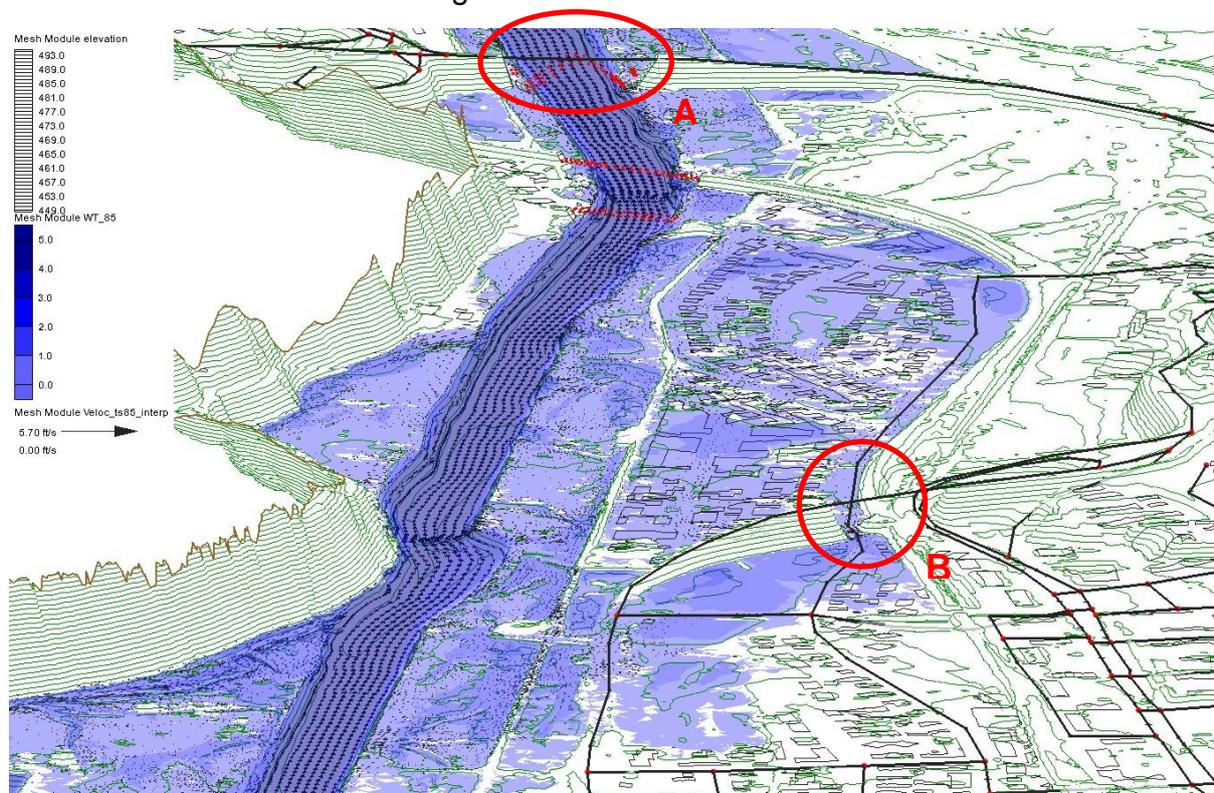


Abbildung 20 Verkehrswege in zweiter Ebene (A: Straße über Gewässer, B: Straße über Straße)

7.4 Übertragung der Strömungsergebnisse auf Polygonobjekte

Als Polygone werden nachfolgend Gebäude bzw. Bezirke mit einer definierten Anzahl von Gebäuden verstanden. Jedes Objekt (Gebäude/ Bezirk) besitzt eine eindeutige ID Nummer in der Datenbank, mit der die Objekte von allen Beteiligten eindeutig identifiziert werden.

Die Übertragung von Informationen aus dem Berechnungsgitter auf Polygone erfolgt über eine statistische Auswertung aller im Polygon liegenden Knotenwerte (gewichtet über Kontrollvolumina). Speziell für die offene Anbindung an das Verkehrsmodell

wurde ein Übergabeformat für die Intensitätsverteilung in Verkehrsbezirken (Schweizer Modell, s. Tabelle 12) definiert. Für jeden Verkehrsbezirk und Zeitschritt wird die flächengewichtete Intensitätsverteilung für alle möglichen 4 Klassen in Prozent berechnet und zu einem Ausgabewert folgendermaßen zu einer 12 stelligen Ganzzahl zusammengefügt:

Anteil Klasse 0	Anteil Klasse 1	Anteil Klasse 2	Anteil Klasse 3
070	024	003	003
„070024003003“			

Mit dieser Form der Übergabe war eine spätere Entscheidungsfindung im Verkehrsmodell durch Festlegen von kritischen Schwellenwerten in Abhängigkeit der Intensitätsverteilung möglich.

Nach ersten Ergebnissen der Verkehrssimulation und eingehenden Diskussionen mit dem Katastrophenschutz wurde für den allgemeinen Fall der Bedarf einer gebäudegenauen Evakuierung erkannt. Für diese Fragestellung wurde daher eine zweite Version der Schnittstelle geschaffen, die eine direkte Beurteilung der Gefährdungsklasse aller Einzelgebäude (Polygone) ermöglicht. Der Algorithmus wurde dabei so flexibel gestaltet, dass eine Abbildung der Gebäude als Fließhindernis im Abflussmodell möglich aber nicht nötig ist.

7.5 Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes bei Verkehrswegen

Bei der Diskussion von Zwischenergebnissen innerhalb der Projektpartner wurde von den Behörden die Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes bei der Beurteilung der Befahrbarkeit von Verkehrswegen für Individualverkehr gefordert. Der Sicherheitsabstand ist das Analogon zum Freibord bei Hochwasserschutzanlagen und für den Katastrophenschutz ein wesentliches Instrument. Daher wurde dieser bei der Entwicklung der Schnittstellen berücksichtigt.

Eingehende Studien zu allgemein gültigen Verfahren für die Beurteilung des Sicherheitsabstandes zeigten, dass eine direkte Ermittlung nur innerhalb eines beliebigen Zeitschritts der Gleichungslösung nicht zuverlässig möglich ist. Das wäre nur im Idealfall eines in Dammlage befindlichen Verkehrsweges mit einer Dammhöhe größer dem Sicherheitsabstand gegeben, was selten der Fall ist. Im Normalfall muss der Sicherheitsabstand zu einer maßgeblichen Wasserspiegelhöhe im Umkreis oder definierter geometrischer Beziehung zum Verkehrsweg gesucht werden. Auf den ersten Blick bietet sich als Lösung die leicht automatisierbare Beurteilung jedes Verkehrsweges durch einen Wasserspiegel-Bezugspunkt in geringstem Abstand zur Achse des Hauptgewässers an. Das mag für den einfachen Fall eines engen Talraumes mit

gestrecktem Gewässerverlauf ausreichend erscheinen (eindimensionaler Fall). Für komplexe, flächige Überflutungsvorgänge in breiten Talräumen, die heutzutage mittels zweidimensionaler Strömungsmodelle präzise berechnet werden können, kann eine derartige Vereinfachung für die Beurteilung des Sicherheitsabstandes jedoch nicht dem Stand der Technik entsprechen. Oftmals sind für Verkehrswege relevante Überflutungen durch Ausuferungen an weiter oberstrom gelegenen Schwachpunkten im Hochwasserschutz verursacht und haben damit keinen direkten Bezug zum nächstgelegenen Wasserspiegel in der Gewässerachse.

Der Sicherheitsabstand wird nachfolgend ähnlich dem Freibord bei Hochwasserschutzanlagen als nicht zeitabhängig angesehen. Daraus ergibt sich für die Ermittlung des Sicherheitsabstandes die Notwendigkeit einer stationären Abflusssimulation, um jegliche Abhängigkeit von der Form der Abflussganglinie auszuschließen. Da jeder Verkehrsweg eine individuelle Höhenlage und Betroffenheit bei Hochwasser besitzt, wird das Abflussmodell mit einer treppenförmigen Ganglinie belastet. Jeder Zufluss wird dabei so lange gehalten, bis sich eine stationäre Lösung einstellt. Diese Berechnung ist unabhängig von allen Hochwassersimulationen und wird im Vorfeld ohne Zeitdruck ausgeführt. Im Nachgang wird aus allen stationären Lösungen für jeden Verkehrsweg diejenige gesucht, bei der eine erste Überflutung eintritt und damit der Sicherheitsabstand kleiner gleich Null ist. Für jeden Verkehrsweg gibt es einen fest zugeordneten, frei wählbaren Bezugspegelpunkt, an dem so die kritische Wasserspiegellage WSP_{krit} ermittelt wird. Für die praktische Anwendung werden die Verkehrswege auf reale Pegelpunkte bezogen. Mit der Kenntnis eines kritischen Wasserspiegels WSP_{krit} für die Überflutung von jedem Verkehrsweg steht nach Subtraktion des Sicherheitsabstandes ein einfaches, nachvollziehbares Kriterium für die Sperrung von Individualverkehr zur Verfügung.

Im Projektgebiet Bad Reichenhall erfolgte die Ermittlung der stationären Überflutungsszenarien im Abflussbereich von 900 bis 1900 m^3/s in Schritten von 50 m^3/s . Aufgrund des oben beschriebenen Vorgehens mussten bewusst höhere Abflüsse als das in der Abflusssimulation eigentlich zu betrachtende HQ_{extrem} simuliert werden, um auch für die bei HQ_{extrem} noch nicht überfluteten Verkehrswege eine zuverlässige Aussage über den Sicherheitsabstand zu erhalten. Ohne diese Extrapolation über den höchsten Abfluss hinaus hätte im Ernstfall eine Überschreitung des Abflusses vom angenommenen HQ_{extrem} ein plötzliches „Versagen“ des Sicherheitsabstandes zur Folge. Alle Verkehrswege wurden im Projektgebiet Bad Reichenhall ausschließlich auf den Pegel Staufeneck/ Saalach bezogen mit einem Sicherheitsabstand von 0,5 m. Unter Zuhilfenahme der Tabelle 2 können die Wasserstände auch auf den 11 km oberstrom gelegenen Pegel Unterjettenberg umgerechnet werden, wodurch Vorwarnzeit gewonnen wird.

7.6 Detailbeschreibung Schnittstelle HYDRO_AS-2D – Verkehrswege unter Berücksichtigung des Sicherheitsabstandes

In Tabelle 8 sind alle für den Betrieb der Schnittstelle „Übertragung der Strömungsergebnisse auf Linienobjekte“ relevanten Eingangsdaten angegeben.

Tabelle 8 Eingangsdaten (SMS Dateiformate)

HYDRO_AS-2D.2dm	HYDRO_AS-2D Eingangsdatei; Berechnungsgitter inkl. Geländehöhen und Höhenlage von Brückenunterkanten
Wege.map	SMS Map Datei (Polylinien mit Eigenschaften); Verkehrswegenetz, übernommen aus einer Linien Shape Datei und in der Lage angepasst an das Geländeabbild im Rechenmodell. Jeder Verkehrsweg hat eine eindeutige, von AP5 definierte ID Nummer (kodiert als Feature Arc Elevation für SMS Map Module).
Wege_RB.txt	Textdatei; Randbedingungen für jeden Weg/ jede ID Nummer: <ul style="list-style-type: none"> • zugeordneter Pegelpunkt (Knoten-ID) • WSP_{krit} (Kritischer Wasserspiegel am zugeordneten Pegel für die Sperrung für Individualverkehr) • Horizont (Lage des Verkehrswegs auf Ebene 0 geländegleich oder 1 aufgeständert, z.B. Brücken)
WSPL.dat	HYDRO_AS-2D Ergebnisdatei; berechnete Wasserspiegellage je Ausgabezeitschritt und Knoten
Veloc.dat	HYDRO_AS-2D Ergebnisdatei; berechnete Fließgeschwindigkeitsvektor je Ausgabezeitschritt und Knoten

Nach Bereitstellung der Eingangsdateien HYDRO_AS-2D und Wege.map werden per Programm für jeden Verkehrsweg die Auswertepunkte generiert (s. Kap. 7.3). Da die Ermittlung der Auswertepunkte einiges an CPU Leistung beansprucht - beim Projektgebiet Bad Rechenhall etwa 4 Stunden - wird das vorab der Hochwassersimulation erledigt. Das Ergebnis ist eine Datenbank zur schnellen Übertragung aller Rechenergebnisse auf die Verkehrswege. Für jeden neuen Ergebnisdatensatz einer Zeitebene der Abflusssimulation (WSPL.dat und VELOC.dat) kann somit innerhalb von Sekundenbruchteilen unter Berücksichtigung der Zusatzrandbedingungen aus

der Datei Wege_RB.txt die hydraulische Belastung aller Auswerteknoten der Verkehrswege ermittelt und an das Verkehrsmodell oder die Katastrophenschutzplanung übergeben werden.

Während der Entwicklungsphase standen die Kriterien für die Bewertung des Befahrbarkeitsstatus noch nicht fest, so dass in dieser Zeit die vier Ausgabedateien

- Depth.txt (Fließtiefen),
- Veloc.txt (Betrag Fließgeschwindigkeit),
- Angle.txt (Winkel Fließrichtung) und
- Accessible.txt (Befahrbarkeit durch Individualverkehr)

für die Ermittlung der Befahrbarkeit durch Fahrzeuge (AP5) generiert. Das Dateiformat für diese vier Dateien wurde unter allen Projektpartner (LWW, VUV, DHI, aqua-soli) gemeinsam festgelegt (s. Kap. 7.3). In dieser Phase wurden alle hydraulischen Ergebnisse der Schnittstelle von AP5 nochmals prozessiert, um für AP6 den Befahrbarkeitsstatus zu ermitteln.

Nach Abschluss der Arbeiten zur Befahrbarkeit von Einsatzfahrzeugen standen kurz vor Projektende feste Entscheidungskriterien zur Verfügung, die direkt in die Schnittstelle implementiert wurden. Dadurch sowie durch Hinzunahme des Kriteriums Sicherheitsabstandes S (s. Kap. 7.5) konnte die Ausgabe auf die Beziehung von Verkehrsweg-ID und Befahrbarkeitsstatus je Zeitschritt reduziert werden. Dazu wurden folgende Entscheidungskriterien implementiert:

Tabelle 9 Gefährdungsklassen Verkehrswegklassifizierung

Gefährdungsklasse	Beschreibung	Kriterium
0	Weg trocken, Sicherheitsabstand eingehalten	$WSP_{\text{krit}} - S \geq WSP$
1	Weg trocken, Sicherheitsabstand eingeschränkt	$WSP_{\text{krit}} - WSP < S$
2	Weg nass, befahrbar für Rettungsfahrzeug	$h > 0$ $E \leq 0,3$
3	Weg nass, gesperrt für Rettungsfahrzeug	$h > 0$ $E > 0,3$

Je nach Anwendung kann noch eine weitere Gefährdungsklasse hinzugenommen werden, die eine differenzierte Betrachtung von Einsatz-PKW und -LKW ermöglicht.

8 Ergebnisübergabe

Die Ergebnisse aller in Kap. 6 dokumentierten Abflusssimulationen wurden für die weitere Verwendung in den nachfolgenden Arbeitspaketen aufbereitet und überge-

ben. Bei stationären Berechnungen konnte sich die Übergabe auf den letzten Zeitschritt der Berechnung beschränken, bei instationären Berechnungen wurden alle Zeitschritte übergeben (Schrittweite 15 Minuten bei HQ_{extrem} Berechnungen bzw. 5 Minuten bei den Dammbrechberechnungen).

Der Aufbereitungsgrad der Ergebnisse schwankt je nach Anforderung bei der weiteren Verwendung. Einfachste Formen der Datenübergabe beschränken sich auf flächige Darstellungen von hydraulischen Informationen. Als Beispiel dafür können die maximalen Überschwemmungsgebiete der Saalach und des Seebachs bei HQ_{extrem} in Abbildung 21 (Deiche intakt) und Abbildung 23. Zur Orientierung sind im Hintergrund die Gebäude und Verkehrswege eingezeichnet. Eine Datenreduktion auf beispielsweise Wasserspiegellängsschnitte zur Bewertung des Brückenstatus oder des Freibords an Schutzlinien zeigt Abbildung 22.

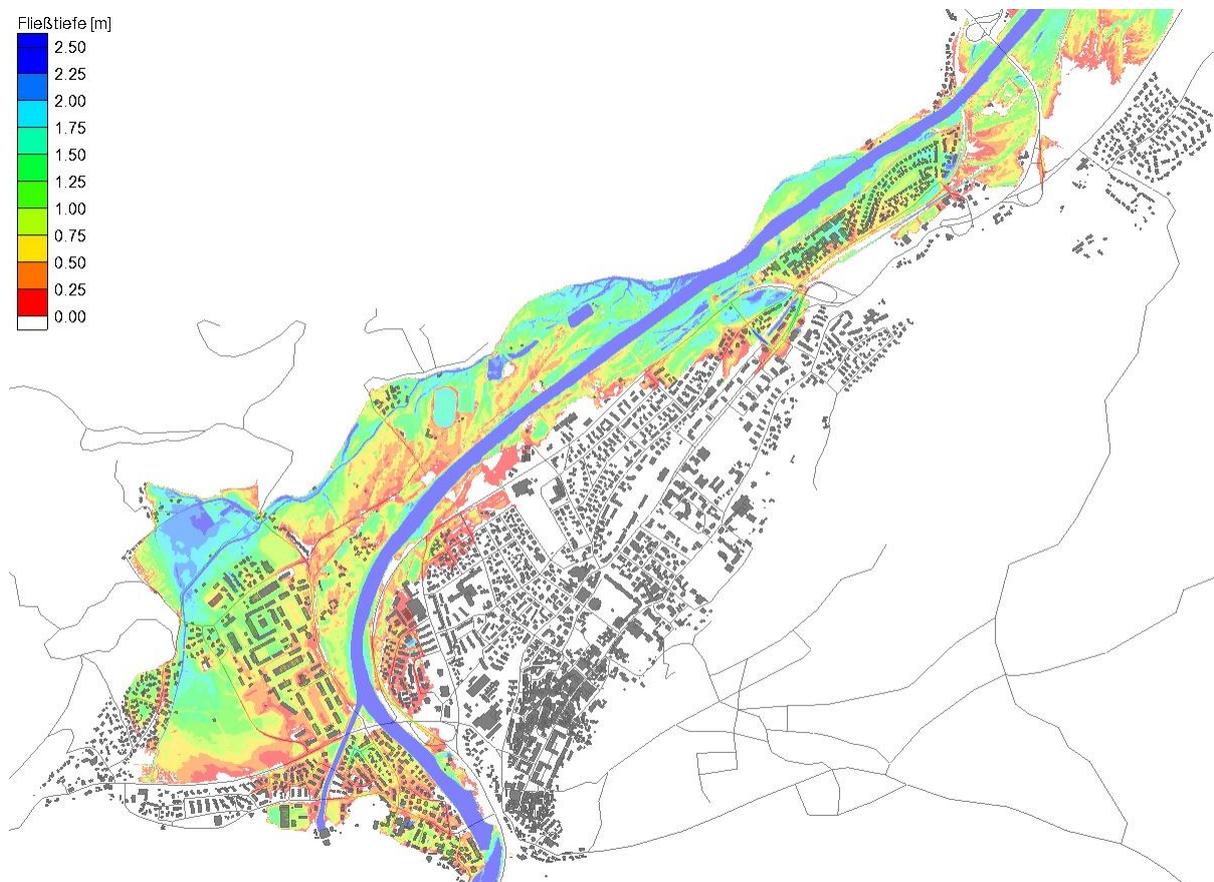


Abbildung 21 Lageplan maximale Fließtiefen bei HQ_{extrem} in der Saalach

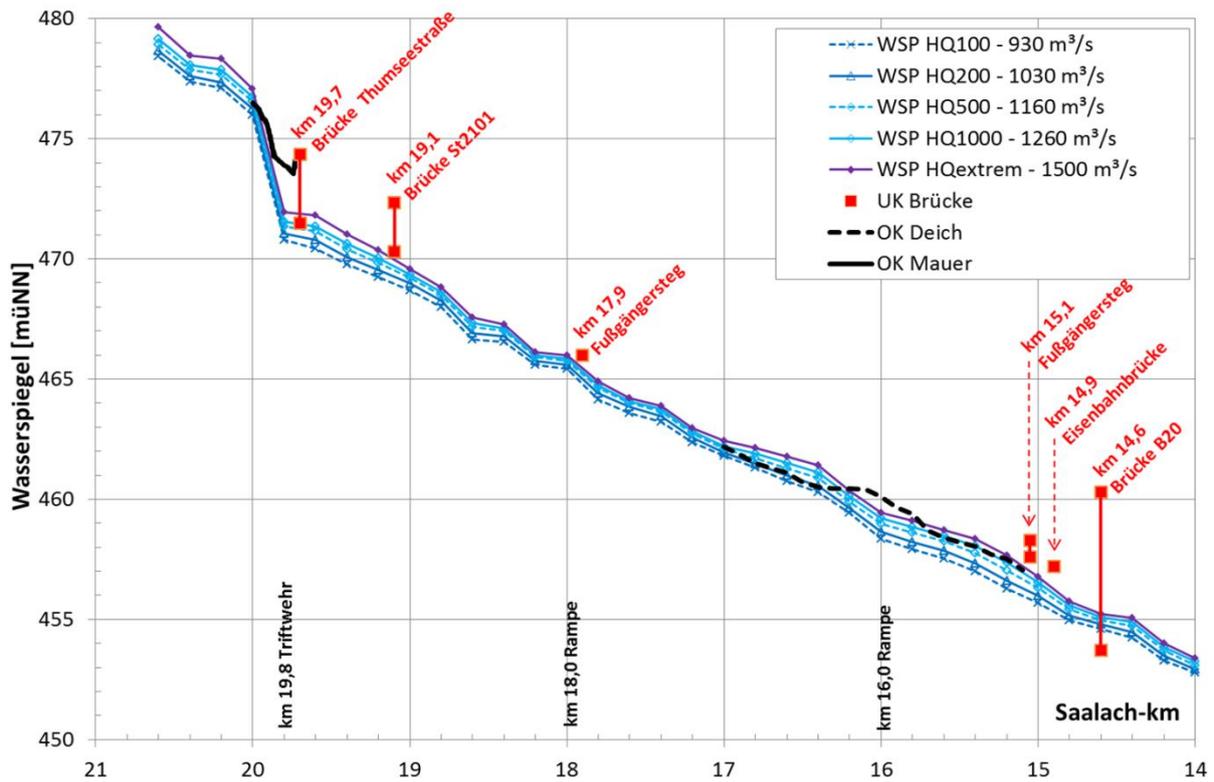


Abbildung 22 Längsschnitt Wasserspiegellagen in der Saalach



Abbildung 23 Lageplan maximal Fließtiefenverteilung bei HQ_{extrem} im Sebach

Die Ergebnisse aller in Kap. 6 angeführten Simulationen wurden mit den Schnittstellen an das Verkehrsmodell (detaillierte Ergebnisausgabe mit Einbindung von AP5 zur Festlegung der Befahrbarkeit von Verkehrswegen) und den Katastrophenschutz (Klasseneinteilung innerhalb der Schnittstelle) übergeben. Darüber hinaus erfolgte eine Ausspielung von Überflutungsszenarien als GIS Shapes (Überflutungsflächen spezifiziert nach Intensitätsklassen) für FLIWAS sowie eine maßstäbliche Plandarstellung für den Katastrophenschutz. Dabei wurden die beiden wichtigen Informationen für die Plandarstellung, der Befahrbarkeitsstatus der Verkehrswege sowie die Gefährdungsklasse von Gebäuden mit der in Kap. 7 beschriebenen Schnittstelle herausgearbeitet. Zur Verdeutlichung der Möglichkeiten der Visualisierung der Schnittstellenergebnisse sind die an Objekte verlinkten Informationen in Abbildung 25 exemplarisch für Gebäude und Verkehrswege dargestellt.

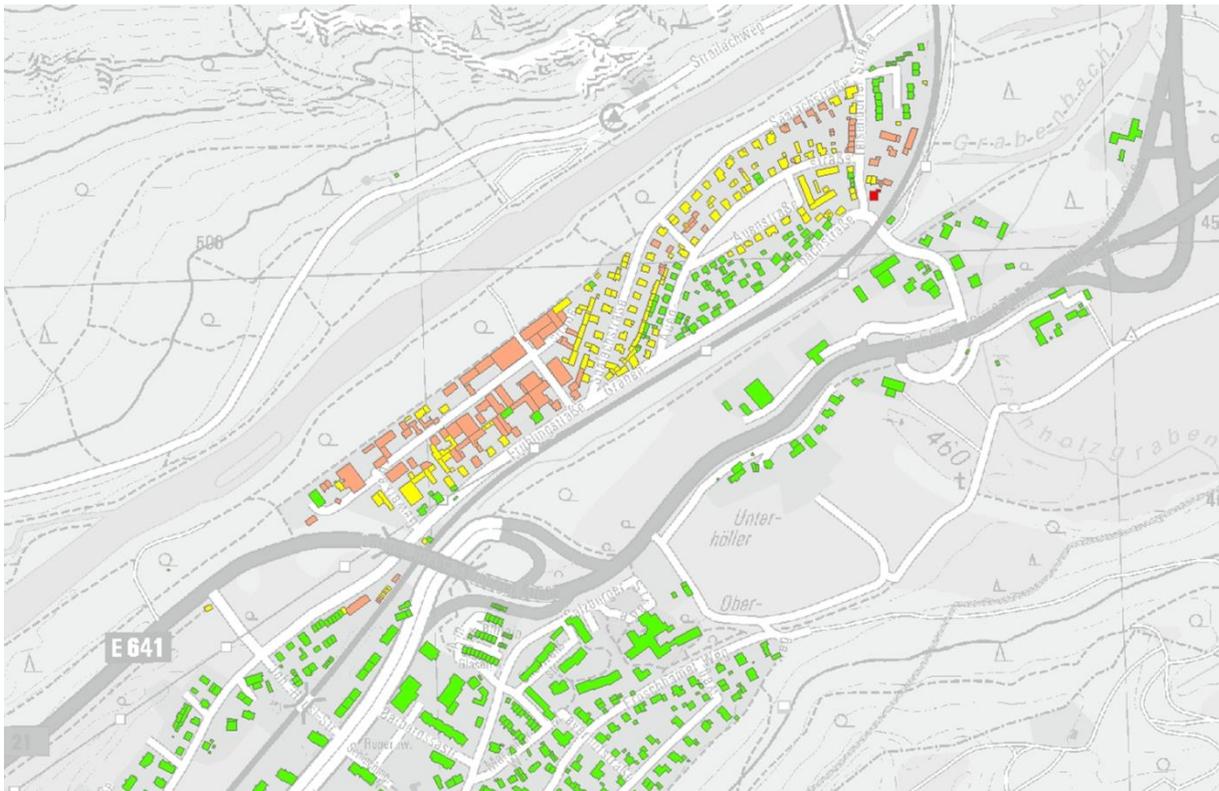


Abbildung 24: Visualisierung von Gefährungsklassen von Gebäuden (ohne Darstellung des Überschwemmungsgebiets)

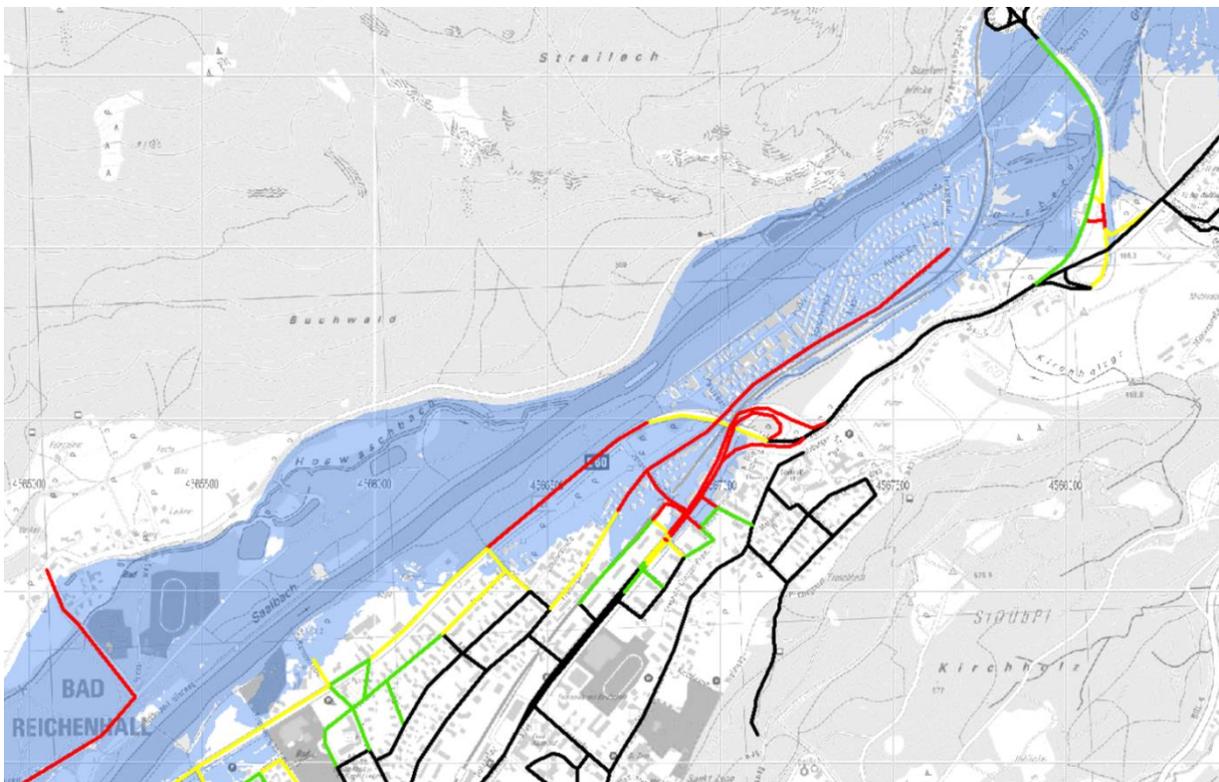


Abbildung 25: Visualisierung des Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen (inkl. Darstellung des Überschwemmungsgebiets)

9 Fazit und Ausblick

Für das Projektgebiet Bad Reichenhall wurde dem Stand der Technik entsprechend ein zweidimensionales Abflussmodell erstellt und damit Überflutungsszenarien von Katastrophenlastfällen berechnet. Eine Neuentwicklung erfolgte beim Algorithmus für die Schnittstelle zur Übergabe der flächigen zweidimensionalen Überflutungsszenarien an die automatisierte weitere Verwendung in Verkehrsmodellen sowie im Katastrophenschutz. Die grundsätzliche Entwicklungsarbeit ist gut dokumentiert und für den Einsatz mit allen Modellen allgemein einsetzbar. Aufgrund der Wahl des Abflussmodells HYDRO_AS-2D in Bad Reichenhall ist im Besonderen ist eine auf alle Details dieser Software abgestimmte, verkaufsfertige Softwarelösung entstanden.

Die Schnittstelle kann bei der aqausoli Ingenieur GmbH käuflich erworben werden:

<http://www.aquasoli.eu/de/vertrieb/erweiterungenmodule.htm>

Derzeit gibt es bereits erste Interessenten für die Schnittstelle aus dem Bereich des Katastrophenschutzes. Mit den erhofften Erfahrungen aus weiteren Einsatzgebieten sowie neu gekoppelten Softwareprodukten für die Weiterverarbeitung der hydraulischen Informationen wird eine permanente Weiterentwicklung des Produktes angestrebt.

ARBEITSPAKET 7 - Katastrophenschutzplanung

10 Ausgangslage und Zielsetzung

10.1 Ausgangslage

Fluss- und Seeufer sind seit alters her bevorzugte Siedlungsgebiete. Die Industrie nutzte die Wasserkraft, der Handel die Lage an den einst wichtigsten Verkehrsverbindungen. Dass Wasser jedoch nicht nur Leben und Lebensräume schafft, sondern diese auch bedroht, wird immer wieder durch die vermehrt auftretenden großen Hochwasserereignissen der letzten Jahrzehnte offenbart. Der deutlich zutage tretende globale Klimawandel hat immer extremere Niederschlagsereignisse und damit verbunden immer häufiger auftretende Hochwasser zur Folge.

Weltweit verursacht Hochwasser rund ein Drittel aller volkswirtschaftlichen Schäden, die durch Naturkatastrophen entstehen. Dabei hat sich das Ausmaß der Schäden bei ähnlichen Hochwässern in den letzten dreißig Jahren verdoppelt (Bernhardt, et al., 2008). Dieser Entwicklung wird verstärkt mit geeigneten Hochwasserschutzmaßnahmen entgegengetreten. Ein absoluter Hochwasserschutz ist jedoch unter wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten nicht zu realisieren.

Besonders Hochwasserereignisse, die über die 100-jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit hinausgehen, sind kaum zu beherrschen. Solche Ereignisse können z.B. extrem Niederschläge in kleine Einzugsgebiete mit daraus resultierenden Sturzflutereignissen oder Deichbruch, bzw. Talsperren(teil)versagen sein. Diese hydraulischen Belastungen waren auch die Grundlage für die der Katastrophenschutzplanung vorangestellten hydraulischen Simulation.

10.2 Zielsetzung des Arbeitspakets 7

Ziel des Arbeitspakets 7 ist die Bereitstellung eines Systems zur Optimierung von Evakuierungsmaßnahmen auf Grund extremer hydrologischer Ereignisse, der vorhandenen Verkehrsinfrastruktur und den soziologischen Randbedingungen. Das Ergebnis dynamischer Simulation, d.h. die zeitlichen Veränderungen unterworfenen Mobilität der einer Gefährdungssituation ausgesetzten Bevölkerung in dem betrachteten Gebiet, ist Grundlage für die Erstellung der Katastrophenschutzplänen, um die zur Verfügung stehenden Einsatzkräfte möglichst effektiv einsetzen zu können. Die zeitliche Dynamik ist hierbei eine besondere Herausforderung bei der Optimierung der Evakuierungsmaßnahmen, da z.B. das zeitlich variable Überfluten und Trockenfallen von Straßen besondere Lenkungsmaßnahmen und Evakuierungsstrategien erfordern.

Die aus den Simulationen des Hochwasserabflusses und der Verkehrssituation resultierenden Ergebnisse werden durch GIS-gestützte Analysewerkzeuge interpretiert und als Basisinformation für Einsatztaktik und Ressourcenplanung und das operationelle Hochwassermanagement verwendet. (Wieprecht, 2009)

11 Grundlagen und Stand der Technik

11.1 Alarm- und Einsatzpläne zur Hochwasserabwehr

Der Hochwasserschutz im „normalen“ Hochwasserfall ist fast flächendeckend entwickelt. Bis zu einem 100-jährlichen Hochwasserereignis sind Siedlungen, Gewerbe und Infrastruktureinrichtungen in der Regel durch technische Hochwasserschutzanlagen wie Deiche, Schutzmauern, Rückhaltebecken oder mobile Elemente, bzw. durch Reaktivierung von natürlichen Retentionsräumen, geschützt.

Für die Abwehr von Gefahren, die durch Hochwasser oder bei Versagen von Einrichtungen des Hochwasserschutzes drohen, sind die Kommunen und Gemeinden zuständig. Diese erstellen in Absprache mit der Wasserwirtschaftsverwaltung auf Grundlage von Hochwassergefahrenkarten, bzw. ausgewerteten vergangenen Hochwasserereignissen Alarm- und Einsatzpläne. Die Länder geben den ausführenden Behörden von Zeit zu Zeit Leitfäden oder Orientierungshilfen für die Erstellung von Hochwassereinsatzplänen an die Hand, wie beispielsweise das Umweltministerium in Baden-Württemberg. (Umweltministerium Baden-Württemberg, 2006)

Eine Weiterentwicklung in diesem Bereich sind Hochwassermanagementsysteme wie z.B. INGE – Interaktive Gefahrenkarte für den kommunalen Hochwasserschutz oder FLIWAS – Flut-Informations- und Warnsystem. Mit diesen Systemen ist es möglich, den Entscheidungsträgern die zur Gefahrenabwehr benötigten Informationen schnell und aktuell bereitzustellen. FLIWAS wurde 2008 landesweit in Baden-Württemberg eingeführt. Viele Städte und Gemeinde in Baden-Württemberg nutzen mittlerweile dieses System zur Verwaltung der Alarm- und Einsatzpläne im Hochwasserfall. Im Rahmen des EvaSim Projektes wurde FLIWAS ebenfalls eingesetzt.

Die Einsatzpläne berücksichtigen in der Regel jedoch nur 100-jährliche Hochwasserereignisse. Für den Fall der Überschreitung eines solchen Hochwasserereignisses bis hin zu extremsten Abflüssen, liegen bisher nur wenige Informationen vor. Hier setzt das Verbundprojekt EvaSim an. Denn keine, bzw. unzureichende Katastrophenschutzplanungen haben oftmals ungeahnte Auswirkungen.

11.2 Hochwassermanagementsystem FLIWAS

Als Konsequenz aus den Erfahrungen zurückliegender Hochwasserereignisse wird seit 2004 im Rahmen des EU-Projektes „NOAH“ /1/ ein IuK-System zum Hochwasser- und Katastrophenschutz mit der Bezeichnung FLIWAS (Flut-Informations- und -Warnsystem) entwickelt. Die deutschen Partner sind die Hochwasserschutzzentrale Köln und für das Bundesland Baden-Württemberg das Regierungspräsidium Karlsruhe.

Aufgabe von FLIWAS ist es, im Hochwasserfall für Gefahrenabwehr und Katastrophenschutz die benötigten Informationen schnell und unkompliziert bereit zu stellen. Hierzu werden bestehende Daten und Informationsdienste in FLIWAS eingebunden sowie neue Möglichkeiten des Informationsaustausches verwirklicht.

Die Entwicklung der Basisversion BASE-FLIWAS erfolgt unter Federführung des Regierungspräsidiums Karlsruhe bis Mitte 2008 durch die Leiner und Wolff GmbH, Heidelberg.

FLIWAS wurde 2008 in Baden-Württemberg landesweit eingeführt. Bis heute wird das Hochwassermanagementsystem ständig weiterentwickelt und jährlich ein neues Versionsupdate zur Verfügung gestellt.

Bei FLIWAS handelt es sich um eine lizenzkostenfreie, auf Open-Source-Komponenten basierende Web-Anwendung. Technisch baut FLIWAS auf ZOPE, Python, PostgreSQL (bzw. Oracle) und dem UMN WMS auf. Bestehende Informationsdienste und Datenbanken können von FLIWAS integriert bzw. über entsprechende Schnittstellen in das System mit einbezogen werden. Im mobilen Einsatz kann auf FLIWAS über UMTS-fähige Notebooks, aber auch über web-fähige Mobiltelefone zugegriffen werden. FLIWAS stellt dem Benutzer in Form mehrerer Module Werkzeuge zur Verfügung, die nachfolgend dargestellt sind (Schultze, 2008):

Web-GIS und Hochwassergefahrenkarten

Ein wesentliches Element von FLIWAS ist ein leistungsfähiges Web-GIS, welches den Anwender beim Zugriff auf aktuelle Umwelt- und Wasserstandsdaten, bei der Abarbeitung von Hochwasseralarm- und Einsatzplänen sowie bei der Koordination und Durchführung von Maßnahmen zur Abwehr von Gefahren unterstützt. Lokale, nicht landesweit bereitgestellte Geodaten, beispielsweise kommunale Daten über die Anzahl der Einwohner pro Straßenzug, können von den Anwendern selbst in FLIWAS importiert und verwendet werden.

Im Web-GIS können die verschiedenen Geodaten mit Überschwemmungsflächen Szenarien oder -vorhersagen überlagert und ausgewertet werden.

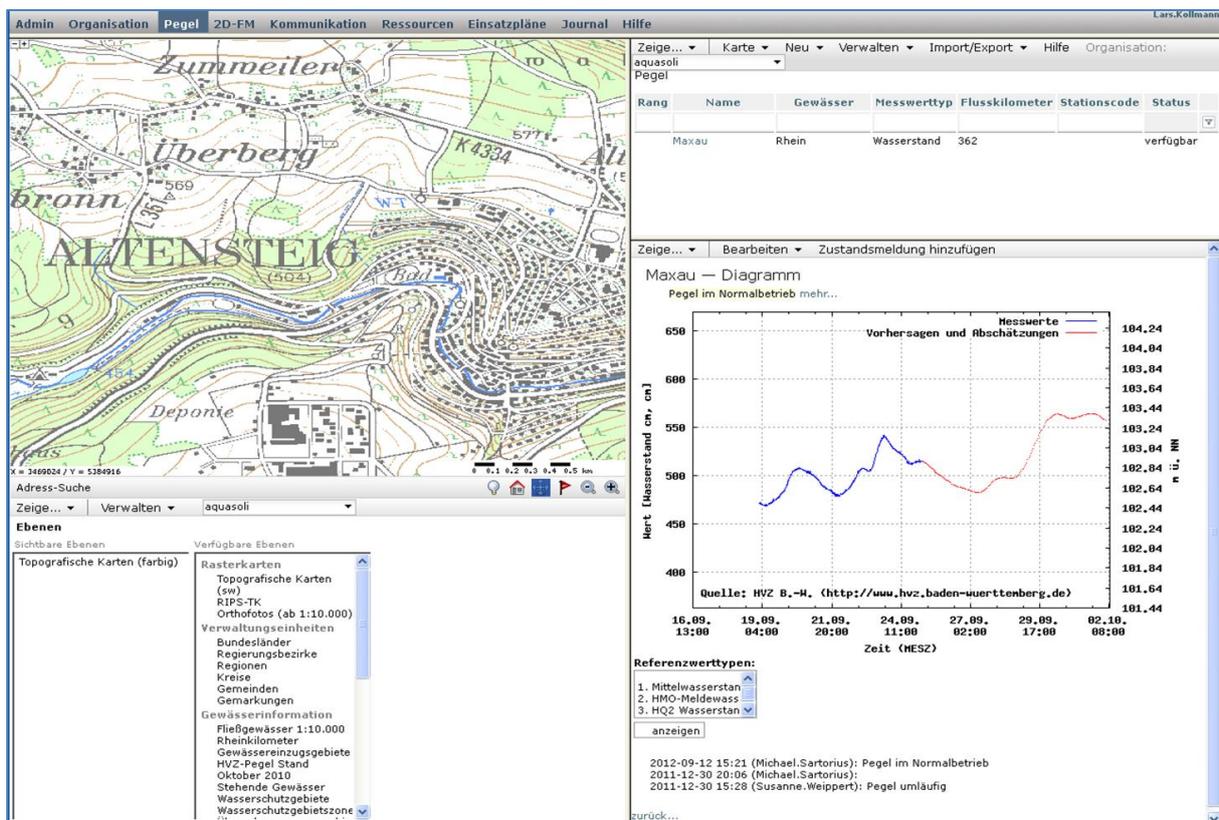


Abbildung 26 FLIWAS Benutzeroberfläche (Version 2.3)

Wasserstandsinformationen

FLIWAS verfügt über eine Schnittstelle zu den Wasserstandsmessungen und Vorhersagen der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale (HVZ) bei der LUBW in Karlsruhe. Neben der Anzeige der für den jeweiligen Nutzer relevanten Pegeldaten werden die Messwerte von FLIWAS u.a. dazu genutzt, nach Überschreitung kritischer Wasserstände Hochwasserschutzmaßnahmen anzustoßen oder Warnungen per E-Mail oder SMS zu versenden.

Alarm- und Einsatzpläne

Die Anwender erstellen innerhalb von FLIWAS selbst ihre Hochwasseralarm- und Einsatzpläne. Diese sind so organisiert, dass voreingestellte Ereignisse wie das Erreichen bestimmter Wasserstände zu einer Aktivierung der entsprechenden Maßnahmen führen. Die räumliche Lage der einzelnen Maßnahmen kann im Web-GIS dargestellt werden. Weitere Informationen, beispielsweise über benötigte Hilfsmittel und deren Lagerorte, können ebenfalls hinterlegt werden. Der jeweilige Bearbeitungszustand einer Maßnahme kann von jedem Nutzer mit entsprechenden Zugriffsrechten eingesehen werden. Berichte über die einzelnen Maßnahmen können auch automatisch per E-Mail oder SMS versandt werden.

2D-Flutungsmodell

Die Ergebnisse aus einem 2D-Flutungsmodell werden in FLIWAS eingespielt. Die vorhergesagte Ausbreitung der Hochwasserwelle kann in FLIWAS mit Hilfe des eigenen Szenario-Viewers wie in einem Zeitrafferfilm verfolgt werden. Zu jedem Zeitschritt können die vorhergesagten Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten zellenweise abgerufen werden.

Nachrichten und Berichte

FLIWAS enthält ein integriertes Nachrichten- und Berichtssystem, das eine Kommunikation innerhalb von FLIWAS sowie mit externen E-Mail-Systemen wie Outlook ermöglicht. U.a. lassen sich erstellte Nachrichten und Berichte auf einfache Weise georeferenzieren. Das zentrale Protokoll erlaubt eine nachgeschaltete Evaluation des Nachrichten- und Berichtsflusses.

Dokumentenablage

Jeder Nutzer in FLIWAS hat die Möglichkeit, alle für ihn relevanten Informationen, wie PDF-Dokumente, Fotos, Internetadressen, Hilfsmittel-Depots und Inventarlisten in FLIWAS zu hinterlegen. Bei Bedarf besteht die Möglichkeit, diese Informationen anderen FLIWAS-Nutzern durch Freischaltung zugänglich zu machen.

Mobiler Zugriff

Auf FLIWAS kann über verschiedenste Internetfähige Endgeräte zugegriffen werden. Durch die Integration mit E-Mail ist es z.B. möglich, Fotos vor Ort aufzunehmen und sofort über FLIWAS den Experten in den Krisenstäben zur Bewertung zukommen zu lassen.

PROJEKTGEBIET NAGOLD

12 Geografische Lage

Das Projektgebiet „Nagold“ umfasst in erster Linie die Nagoldtalsperre in Baden-Württemberg. Sie entspricht der Klassifizierung nach DIN 19700 einer Talsperre der Klasse I und ist eingebettet in einem 650 ha großen Landschaftsschutzgebiet im Schwarzwald mit einem Einzugsgebiet von 39 km². Sie wurde in der Zeit von 1965 bis 1970 erbaut. Die Talsperre dient dem Hochwasserschutz, senkt die Unterhaltungskosten für den Fluss Nagold und dient der Niedrigwasseraufhöhung. Die Nagoldtalsperre ist einer der großen Wasserspeicher in der Region und das größte Rückhaltebecken im Bundesland Baden-Württemberg. Sie unterteilt sich in eine Vorsperre mit einer Damm Höhe von 11,50 m und einer Hauptsperre mit einer Damm Höhe von 32,10 m. Der Gesamtinhalt beider Sperren beträgt bei Hochwasserstau ~ 5,5 Mio. m³ (Franke, et al., 1987)

Die nächst größere Stadt in 10 Km Entfernung ist Altensteig an der Nagold mit ca.11.000 Einwohnern.

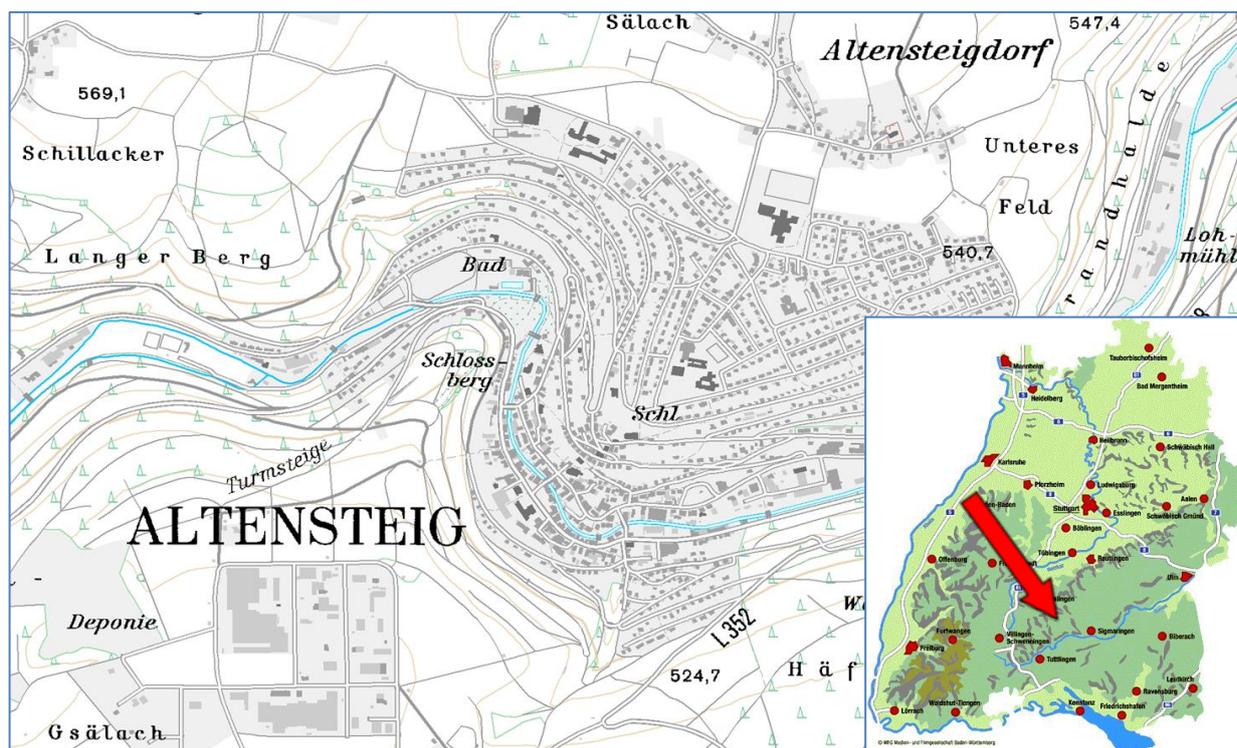


Abbildung 27 Auszug Topographische Karte M.: 1: 25 000

Der Betrieb der Stauanlage erlaubt grundsätzlich die gezielte Vermeidung bzw. Verminderung von Hochwasserauswirkungen auf die unterstrom gelegenen Siedlungsgebiete und stellt damit eine effiziente Schutzeinrichtung dar.

13 Hydraulische Lastfälle

In extremen Fällen, wie z.B. äußerst selten auftretende meteorologische Bedingungen, technisches Versagen oder auch bei absichtlich herbeigeführten Schäden am Sperrwerk, sind unbeherrschbare Abflusszustände denkbar, die einen unkontrollierten Wasserabfluss aus dem Speichersee zu Folge haben können.

Für die Stadt Altensteig wurden daher zwei Szenarien entwickelt, die im Rahmen der hydraulischen Modellierung untersucht wurden und als Eingangsgrößen für die spätere Gefährdungsanalyse und Katastrophenschutzplanung dienen sollen.

Dam breach

Das Dam breach Szenario beschreibt das (Teil) Versagen eines Dammkörpers, begründet z.B. auf eine überströmte Dammkrone und damit einhergehende Breschenbildung.

Piping failure

Beim Piping failure beginnt der Versagensmechanismus an einer Schwachstelle im Dammkörper, wodurch es zum Wasseraustritt und zur Bildung einer Sickerströmung mit damit verbundenen Materialaustrag kommt. Durch die Erosion des Dammmaterials vergrößert sich die Schwachstelle, wodurch es zum Kollabieren der Dammkrone kommt.

14 Schnittstelle zum Arbeitspaket 3

Im Arbeitspaket 3 wurde für das Projektgebiet Altensteig vom Ingenieurbüro DHI-WASY, ausgehend auf die zuvor definierten hydraulischen Lastfälle, hydrodynamische Simulationen durchgeführt. Die Ergebnisse wurde für alle Lastfälle in 15 - Minuten Schritten aus den dfsu Ergebnisdateien extrahiert und als shape Dateien an das Arbeitspaket 7 übergeben.

Hier erfolgte eine GIS-basierte Auswertung der Ergebnisse der hydrodynamischen Modellierung. Die shape Dateien des Überschwemmungsgebietes wurden mit der georeferenzierten topographische Karte von Altensteig im Maßstab 1: 25 000 überlagert. Dadurch war es möglich, unter Berücksichtigung von der Bebauung und Infrastruktureinrichtungen, das Überschwemmungsgebiet in Altensteig mit Fließtiefe und Fließgeschwindigkeit zeitabhängig darzustellen.

Für die durchzuführende Katastrophenschutzplanung sind folgende Dinge von entscheidender Relevanz:

- 1.) Das flächenbezogene größtmögliche Überschwemmungsgebiet bei beiden Lastfällen mit Fließtiefe und Fließgeschwindigkeit, sowie
- 2.) Der zeitliche Rahmen, in dem sich das Überschwemmungsgebiet ausdehnt, bis hin zur maximalen Ausbreitung

Die Abbildung 28 zeigt das maximale Überschwemmungsgebiet beim Lastfall Piping-failure. Durch die topographisch sehr günstige Hanglage von Altensteig, mit schnell ansteigendem steilem Gelände, ist die Ausbreitung der Überschwemmungsfläche durch die Bergflanken natürlich begrenzt. Dies wird auch in Abbildung 29 mit der Darstellung des Überschwemmungsgebietes, welches auf den Lastfall dam breach resultiert und einen deutliche höheren Abfluss als der Lastfall piping failure zur Folge hat, verdeutlicht.

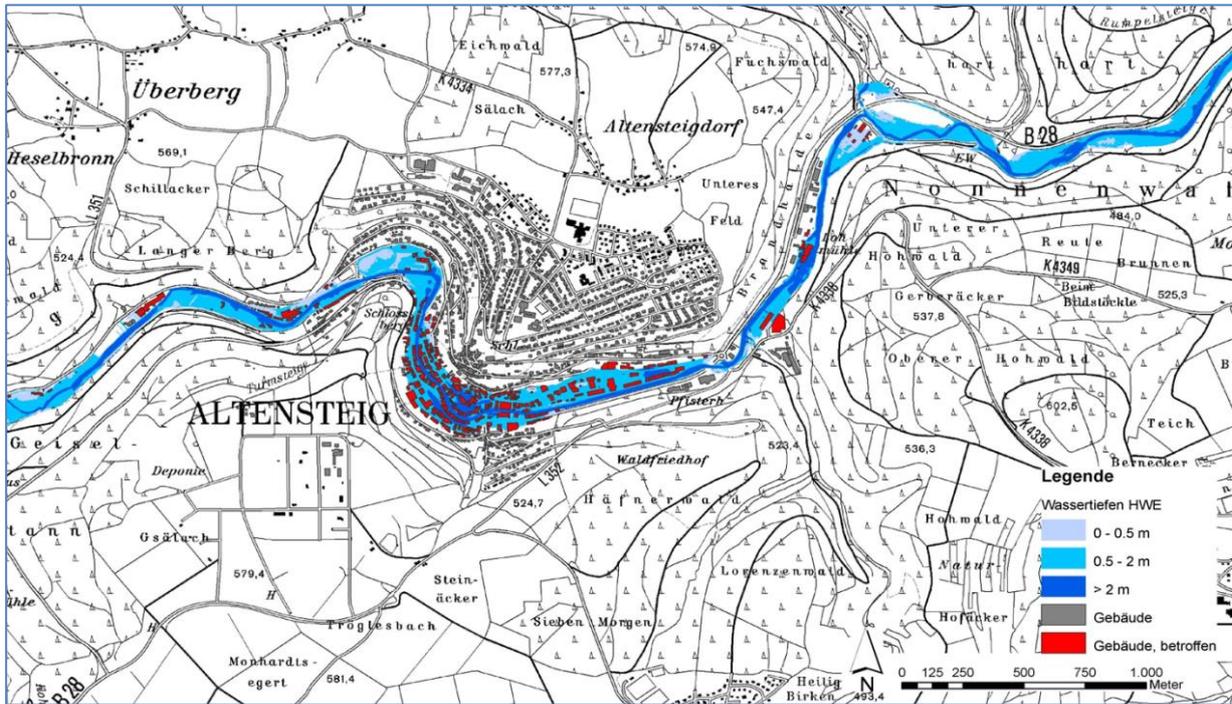


Abbildung 28 maximales Überschwemmungsgebiet - Lastfall Piping failure

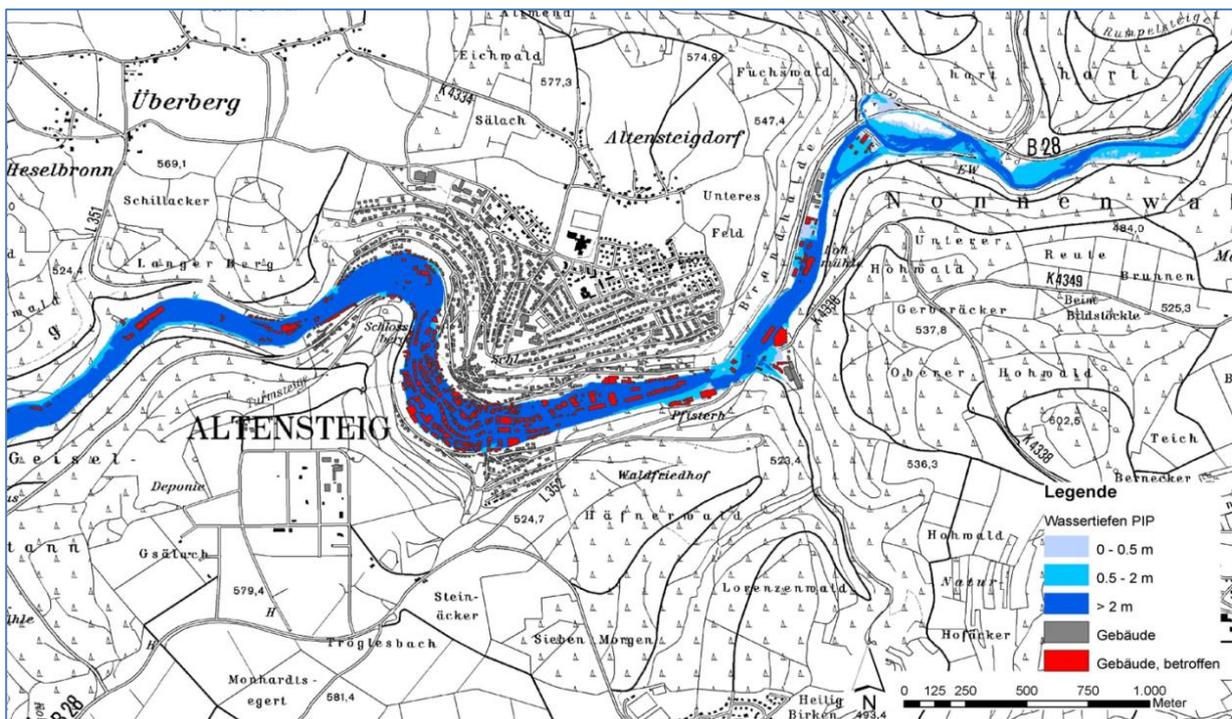


Abbildung 29 maximale Überschwemmungsgebiet - Lastfall Dam breach

15 Interpretation der Ergebnisse

Es war die Aufgabe, für die Stadt Altensteig eine Katastrophenschutzplanung zu entwickeln, die vorrangig die Evakuierung der Bevölkerung über Verkehrswege und definierte Wegebeziehungen aus dem gefährdeten Gebiet heraus bei extremen Hochwasserereignissen wiedergibt.

Dafür sind zum einen Gefährdungsanalysen durchzuführen, die auf Grundlage des Überschwemmungsgebietes Ergebnisse zu der tatsächlichen Gefährdung eines Objektes liefern können. Darüber hinaus müssen Kenntnisse erlangt werden, ob das bestehende Verkehrsnetz für den Evakuierungsverkehr ausgelegt ist.

Dafür sind Verkehrsmodelle notwendig, die den Evakuierungsverkehr abbilden und Aussagen über notwendige Kapazitäten von Verkehrsnetzwerken treffen können.

Voruntersuchungen haben ergeben, dass nur wenige Gebäude in Altensteig bei extremen Hochwassern tatsächlich evakuiert werden müssen. Die geringe Anzahl an den zu evakuierenden Personen stellte eine zu kleine Eingangsgröße für das Evakuierungsverkehrsmodell dar. Für die weitere Bearbeitung des EvaSim Projektes, wurde dementsprechend sowohl von einer Verkehrsmodellierung, als auch von einem zu erstellenden Katastrophenschutzplan für Altensteig abgesehen. Die Entscheidung wurde auch durch die Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 4, in dessen Rahmen eine Befragung unter der Altensteiger Bevölkerung hinsichtlich deren Evakuierungsverhalten durchgeführt wurde, untermauert. Der Konsens der Befragung war, dass die Bevölkerung bei drohender Gefahr durch Hochwasser einfach in die höher gelegenen Regionen von Altensteig evakuiert. Es wird also nicht horizontal, sondern vielmehr vertikal evakuiert.

Um dennoch der Maßgabe zur Erstellung eines Katastrophenschutzplans mit daraus resultierendem Evakuierungsverkehr nachzukommen, wurde die Bearbeitung des Projektgebietes „Rupertiwinkel“ um diese Maßnahme erweitert. Für dieses Projektgebiet waren bisher eigentlich nur Hochwasserverteidigungs- und Gefahrenabwehrmaßnahmen vorgesehen. Im Laufe des Projektes hat sich jedoch herausgestellt, dass die potentielle Gefahr durch extrem Hochwasserereignisse für Bad Reichenhall besonders groß ist.

PROJEKTGEBIET RUPERTIWINKEL

16 Geografische Lage

Das Projektgebiet liegt in Bayern im Landkreis Berchtesgadener Land. Der zu betrachtende Raum umfasst die Kommune Bad Reichenhall. Die Stadt Bad Reichenhall zählt 17.400 Einwohner und umfasst eine Fläche von 3.943 ha, wovon 568 ha als Siedlungsfläche ausgewiesen sind.

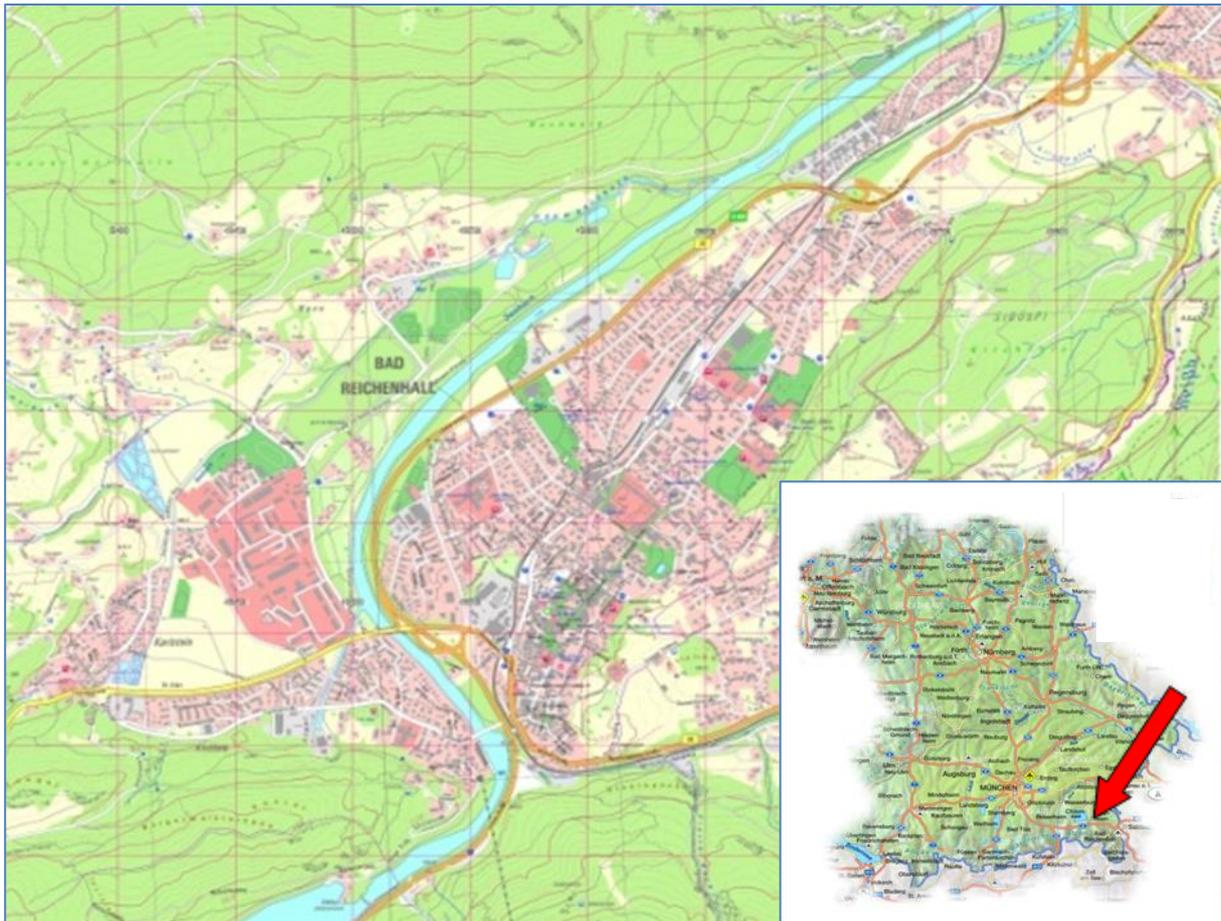


Abbildung 30 Auszug aus topographischer Karte M.: 1:10 000

Das Gewässersystem wird im Wesentlichen durch die Saalach, Gewässer 1. Ordnung, und den Seebach (ein Abfluss aus dem Thumsee) bestimmt. In die Gewässer mündet eine Vielzahl von Wildbächen mit Einzugsgebieten unter 10 km². Das Gewässersystem ist durch ein hochalpines und alpines Einzugsgebiet geprägt. Die Anlaufzeiten der Hochwasserwellen liegen im Bereich von wenigen Stunden und sind durch ausgeprägte Scheitelabflüsse charakterisiert.

Die Saalach ist ein großer alpiner Fluss. Das Überschwemmungsgebiet ist durch das Hochufer begrenzt.

Am südlichen Stadtrand befindet sich ein Stauwehr zur Wasserkraftnutzung. Die Bundesstraße B20 stellt auf deutscher Seite die einzige Verkehrsverbindung zwischen der Stadt Bad Reichenhall und der angrenzenden Gemeinde Piding dar.

In den vergangenen Jahrhunderten und Jahrzehnten ereigneten sich mehrere extreme Hochwasserereignisse, die eine massive Beeinträchtigung oder Zerstörung der Infrastruktur bewirkten. Die letzten großen Hochwasserereignisse an der Saalach traten im Jahr 2002 mit einer nahezu 100-jährlichen Wiederkehrzeit auf.

Bei extremen Hochwasserereignissen oder Versagensfällen an wasserbaulichen Anlagen besteht ein großes Gefährdungspotential und die Gefahr für Leib und Leben innerhalb der Siedlungsgebiete. Die fehlenden Vorwarnzeiten und schnell anlaufenden Hochwasserwellen lassen nur wenig Spielraum für die Durchführung von Hochwasserabwehr- und Evakuierungsmaßnahmen. Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre zeigen zudem die massive Beeinträchtigung der Verkehrssituation durch Überschwemmungen (Wieprecht, 2009)

17 Hydraulische Lastfälle

Die Besonderheit des Projektgebietes Bad Reichenhall ist die Tatsache, dass es sich um ein sehr kleinräumiges Einzugsgebiet handelt, welches bei extremen Regenerereignissen sehr schnell anspringt.

Als ein Szenario wird dem Untersuchungsgebiet ein kurzzeitiges Starkregenereignis zugrunde gelegt. Hierfür wurden für die Saalach die Ereignisse HQ_{100} , HQ_{200} , HQ_{500} sowie das HQ_{extrem} berechnet. Die fünf Jährlichkeiten wurden mit und ohne funktionsfähigen Hochwasserschutzdeich berechnet, um die jeweils geschützten Bereiche zu ermitteln. Des Weiteren wurden zur Ermittlung von zusätzlichem Schadenspotential im Versagensfall des Hochwasserschutzdeichs zwei Bruchszenarien sowie für die Beurteilung der Hochwasserverteidigung drei temporäre Schutzlinien simuliert.

Ein weiteres Szenario beschreibt ein Sturzflutereignis des Seebachs. In kleinen Einzugsgebieten führen lokale Starkregenereignisse zu diesen Sturzfluten. Die Hochwasserwelle bildet sich bei steilen Einzugsgebieten sehr plötzlich, ist äußerst energiereich und reißt auf dem Weg ins Tal Bäume, Sträucher, große Felsbrocken und ggf. auch ganze Talflanken mit sich.

Begünstigt wird dieser Effekt noch durch das felsige alpine Gelände. Dadurch wird das teilweise Versickern des Oberflächenwassers verhindert, so dass der Niederschlag nahezu komplett als Hochwasserbeeinflussender Faktor berücksichtigt werden muss.

18 Ergebnisübergabe

Die Ergebnisse aller im Arbeitspaket 3 dokumentierten Abflusssimulationen wurden für die weitere Verwendung im Arbeitspaket 7 aufbereitet und übergeben. Bei stationären Berechnungen konnte sich die Übergabe auf den letzten Zeitschritt der Be-

rechnung beschränken, bei instationären Berechnungen wurden alle Zeitschritte (Schrittweite 15 Minuten bei HQ_{extrem} Berechnungen bzw. 5 Minuten bei den Dammbrechberechnungen) übergeben.

Wie bereits im Kapitel 5 beschrieben, erfolgte auch hier eine GIS-basierte Auswertung der Ergebnisse der hydrodynamischen Modellierung. Die shape Dateien des Überschwemmungsgebietes wurden mit der georeferenzierten topographische Karte von Bad Reichenhall sowie des Verkehrswegenetzes im Maßstab 1: 10 000 überlagert. Dadurch war es möglich, unter Berücksichtigung von der Bebauung und Infrastruktureinrichtungen, das Überschwemmungsgebiet in Bad Reichenhall mit Fließtiefe und Fließgeschwindigkeit zeitabhängig darzustellen.

Die ermittelten Überschwemmungsgebiete stellen eine Eingangsgröße zur Erstellung von Hochwassereinsatz- und Katastrophenschutzpläne für das Projektgebiet dar.

Den nachfolgenden Abbildungen sind die maximale Überschwemmungsgebiete sowohl der Saalach (Abbildung 29, $HQ_{\text{extrem}} = 1.500 \text{ m}^2/\text{s}$), als auch des Seebachs (Abbildung 30, $HQ_{\text{extrem}} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$)

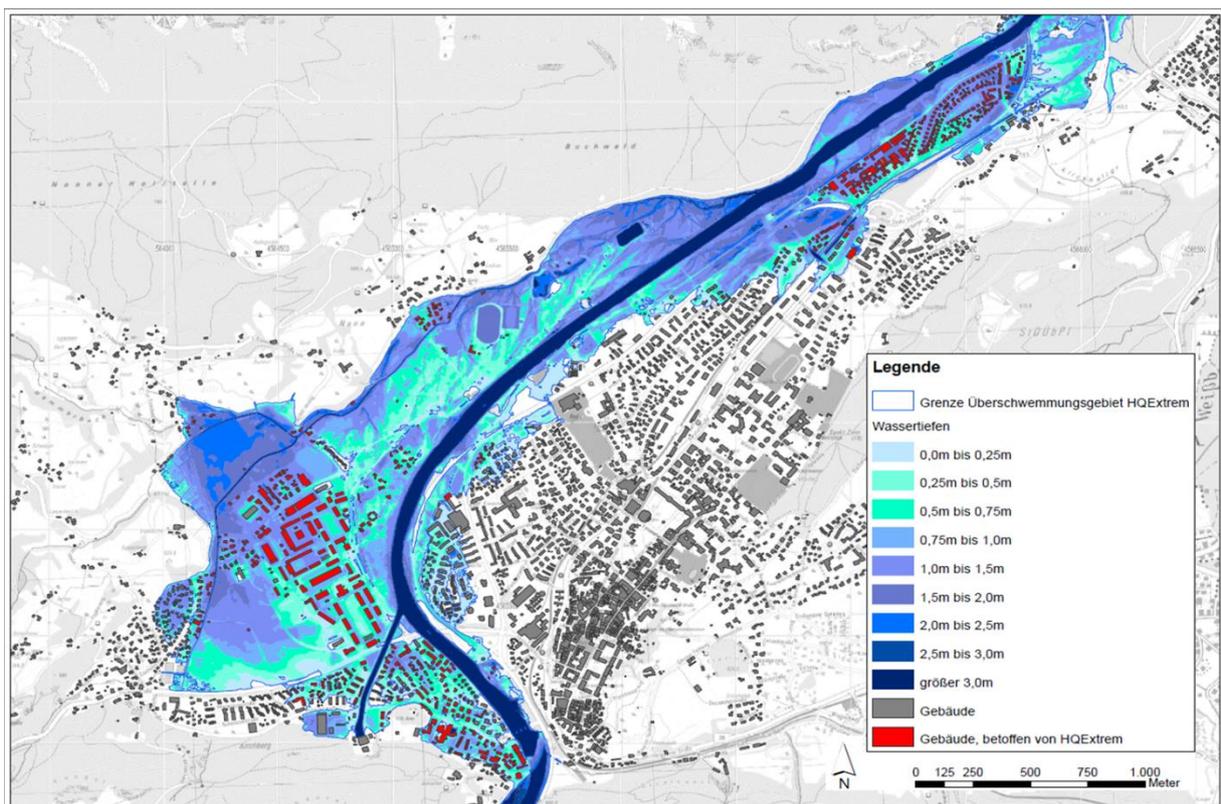


Abbildung 31 Darstellung des Überschwemmungsgebietes in Bad Reichenhall bei HQ_{extrem} der Saalach

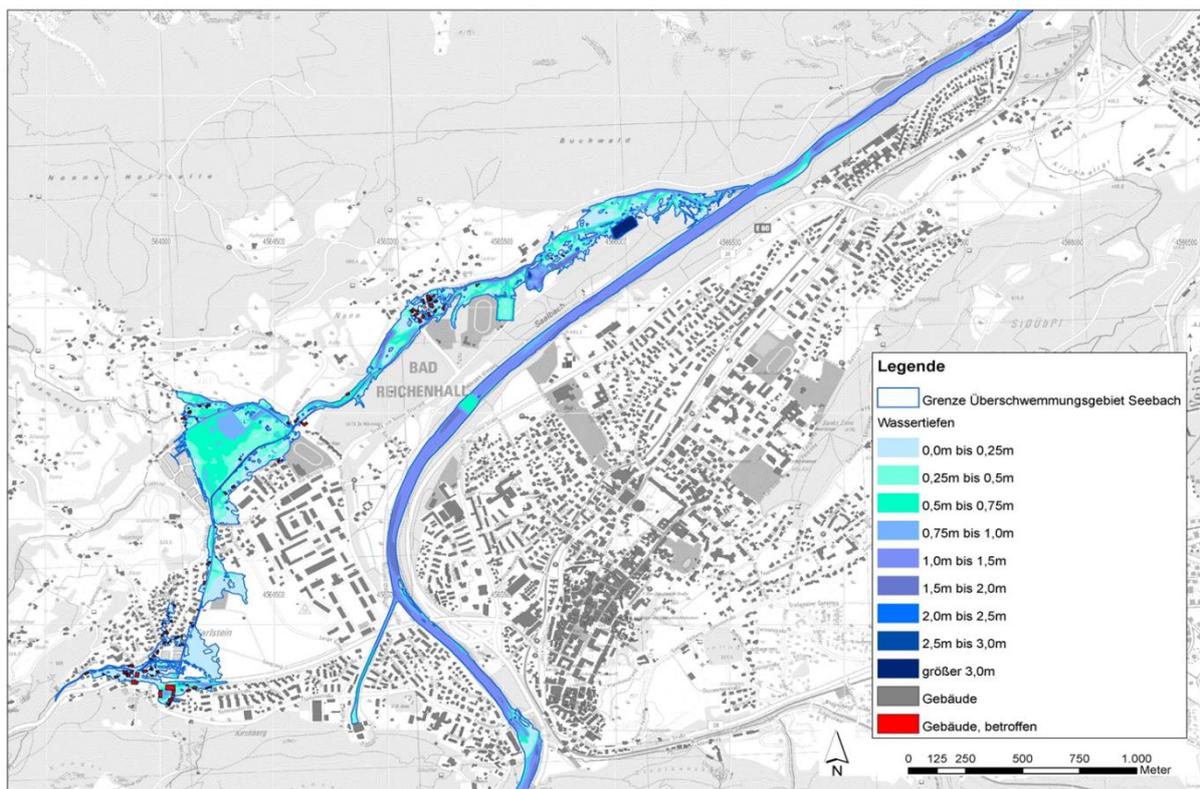


Abbildung 32 Darstellung des Überschwemmungsgebiets in Bad Reichenhall bei HQ_{extrem} des Seebachs

19 Hochwasserverteidigung/Gefahrenabwehr

19.1 Allgemein

Ein Hochwasserereignis hat nicht immer eine Katastrophe und damit eventuelle erforderliche Evakuierungsmaßnahmen zur Folge. Dies ist im Allgemeinen sogar eher die Ausnahme. Häufiger erfordern Hochwasserereignisse Maßnahmen zur Gefahrenabwehr. So hat die Stadt Bad Reichenhall einen Hochwassereinsatzplan entwickelt, der bereits Maßnahmen bei einem ein jährlichen Hochwasserereignis ($HQ_1 = 281 \text{ m}^3/\text{s}$) vorsieht. Der Meldebeginn des aktuellen Hochwassereinsatzplans beginnt bei einem Abfluss der Saalach von $185 \text{ m}^3/\text{s}$, bezogen auf den Referenzpegel Unterjettenberg, und endet mit Maßnahmen zur Gefahrenabwehr bei einem Abfluss von $478 \text{ m}^3/\text{s}$ (Stadt Bad Reichenhall, 2007). Das Hochwasserereignis vom 12.08.2002 mit einem Abfluss von $805 \text{ m}^3/\text{s}$ konnte nur noch mit sehr großem Aufwand beherrscht werden. Für Situationen jenseits dieser Abflussmengen liegen jedoch keine weiterführenden Informationen zur Hochwasserverteidigung vor, so dass eine unkontrollierte Hochwassersituation mit all seinen negativen Folgen unausweichlich ist.

Hier setzt das Projekt EvaSim an. Für die Hochwasserverteidigung wurden die beiden Lastfälle HQ_{100} und HQ_{200} untersucht. Eine Verteidigung von noch größeren Hochwasserereignissen ist nicht mehr beherrschbar. Hier greift dann der Katastro-

pheneinsatzplan, der im Kapitel 11 detailliert beschrieben wird. Nachfolgend sind die Abflüsse und die entsprechenden Jährlichkeiten mit Pegelstand am Pegel Unterjettenberg, die für den Hochwassereinsatz- und Katastrophenschutzplan untersucht wurden, aufgeführt.

Tabelle 10 Abflüsse mit Jährlichkeiten und zugehörigem Pegelstand am Referenzpegel Unterjettenberg

	Abfluss [m ³ /s]	Pegelstand [m ü. PNP]
Meldebeginn	185	1,60
Meldestufe 1	255	2,00
Meldestufe 2	357	2,50
Meldestufe 3	478	3,00
Meldestufe 4	612	3,50
HW 12.08.2002	805	3,72
HQ100	930	4,50
HQ200	1030	4,80
HQ500	1160	5,20
HQ1000	1260	5,50
HQextrem	1500	6,00

Auf Grundlage der hydraulischen Simulation eines HQ₁₀₀ und HQ₂₀₀ Ereignisses wurden die Schwachstellen in bestehenden Schutzlinien aufgezeigt und weitere sinnvolle Verteidigungslinien identifiziert.

19.2 100-jährliches Hochwasserereignis

In Bad Reichenhall sind zwei technische Hochwasserschutzanlagen vorhanden. Im südwestlichen Teil der Stadt im Bereich der Predigtstuhlbahn befindet sich eine Hochwasserschutzmauer und im nordöstlichen Teil ein Hochwasserschutzdeich. Für beide Hochwasserschutzanlagen existieren keine Bauwerksunterlagen. Daher kann keine Aussage über den Bemessungswasserstand oder die Konstruktionsweise getroffen werden. Bei verschiedenen Ortsterminen zeigte sich jedoch, dass vor allem der Hochwasserschutzdeich in einem sanierungsbedürftigen Zustand anzutreffen ist. Nach Rücksprache mit den Wasserwirtschaftsbehörden wurde dieser Eindruck bestätigt. Eine Sanierung des Deiches soll auch in den nächsten Jahren erfolgen

Für die hydraulische Simulation eines 100 – jährlichen Hochwassers zeigten die Schutzanlagen ihre Wirkung. So konnte sowohl im Bereich der Hochwasserschutzmauer, als auch im Bereich des Deiches ein Abfluss ins Vorland vermieden werden.

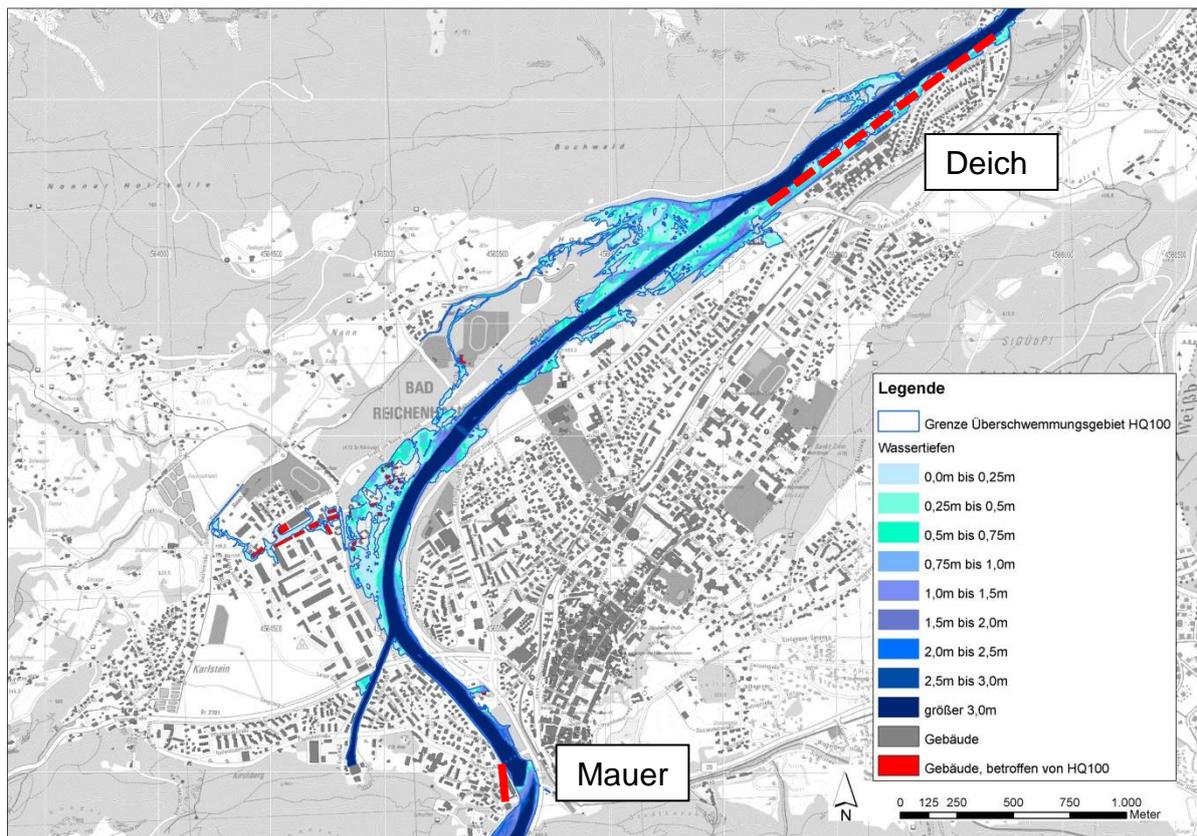


Abbildung 33 Darstellung des Überschwemmungsgebiet in Bad Reichenhalla bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis der Saalach

Aufgrund des schlechten Zustands des Deiches, wurde der bisherige Hochwasserereinsatzplan nach Auswertung der hydraulischen Simulation, neben weiteren erforderlichen Straßensperren, um die dringend notwendige Deichverteidigung ergänzt. Hierfür wurden die berechneten Ressourcen wie Personal- und Materialeinsatz unter Berücksichtigung der zeitlichen Dauer in den Hochwasserereinsatzplan eingepflegt.

Der Abschlag ins westliche Vorland wurde für die Hochwasserverteidigung, auch bei dem nachfolgend betrachteten 200-jährlichen Hochwasserereignisses nicht berücksichtigt. In diesem Abschnitt liegt ein militärischer Sicherheitsbereich mit der General – Konrad und der Hochstaufer Kaserne. Der Hochwasserschutz für die militärischen Sicherheitseinrichtungen wird von den stationierten Soldaten übernommen und unterliegt einem separaten Hochwasserereinsatzplan.

19.3 200-jährliches Hochwasserereignis

Bei einem 200-jährlichen Hochwasserereignis weist die Hochwasserschutzmauer immer noch gute Schutzwirkungen auf. Der bei einem HQ_{100} Ereignis noch geschützte nordöstliche Bereich von Bad Reichenhall ist nun allerdings komplett hydraulisch belastet. Die zeitabhängige Darstellung zur Ausbereitung des Überschwemmungsgebietes hat gezeigt, dass die Überschwemmung jedoch nicht einem überströmen oder gar Bruch des Deiches zur Folge hatte. Der alleinige Grund für die Überschwemmung des Nord-Ostens von Bad Reichenhall ist ein Zuströmen des Wassers durch eine Unterführungsanlage noch vor Beginn des Deiches. Die beschriebene Situation ist in nachfolgenden Abbildungen dargestellt:

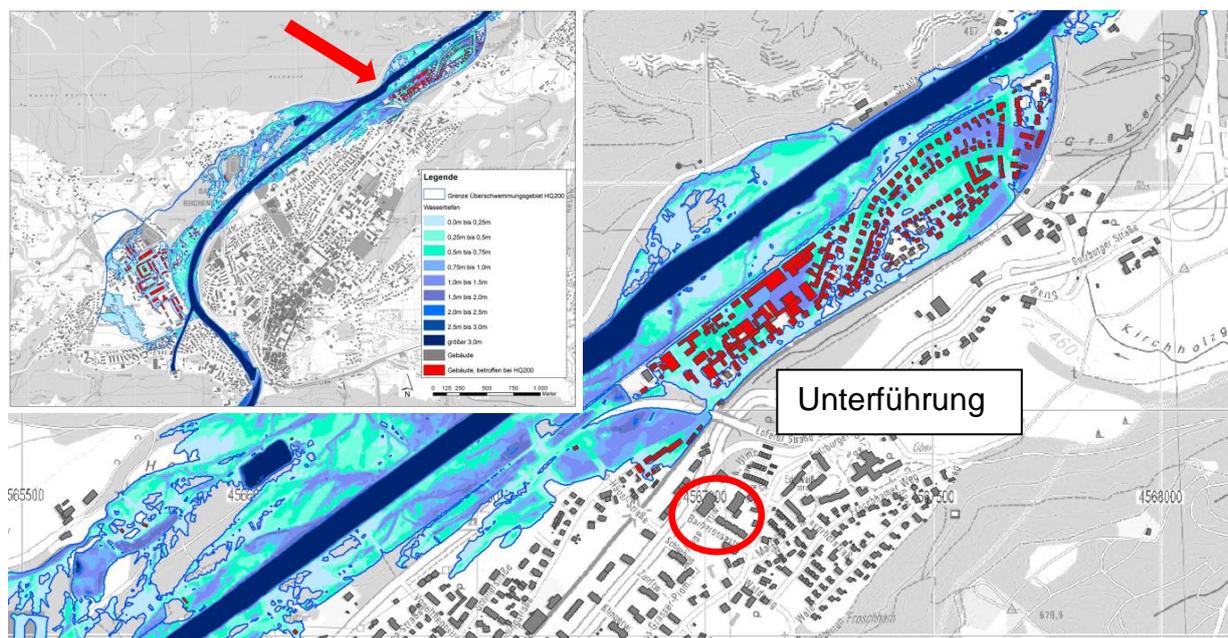


Abbildung 34 Darstellung des Überschwemmungsgebietes in Bad Reichenhall bei einem 200-jährlichen Hochwasserereignis der Saalach

19.4 Verteidigungslinien für mobile Schutzelemente

Durch die Errichtung einer Verteidigungslinie an dieser Stelle ist es möglich, das gesamte hinter dem Deich liegende Gebiet auch im Falle eines 200-jährlichen Hochwassers zu schützen. Dies konnte durch eine hydraulische Simulation, im Zuge derer die genannte Unterführung als "undurchströmbar" angenommen wurde, verifiziert werden.

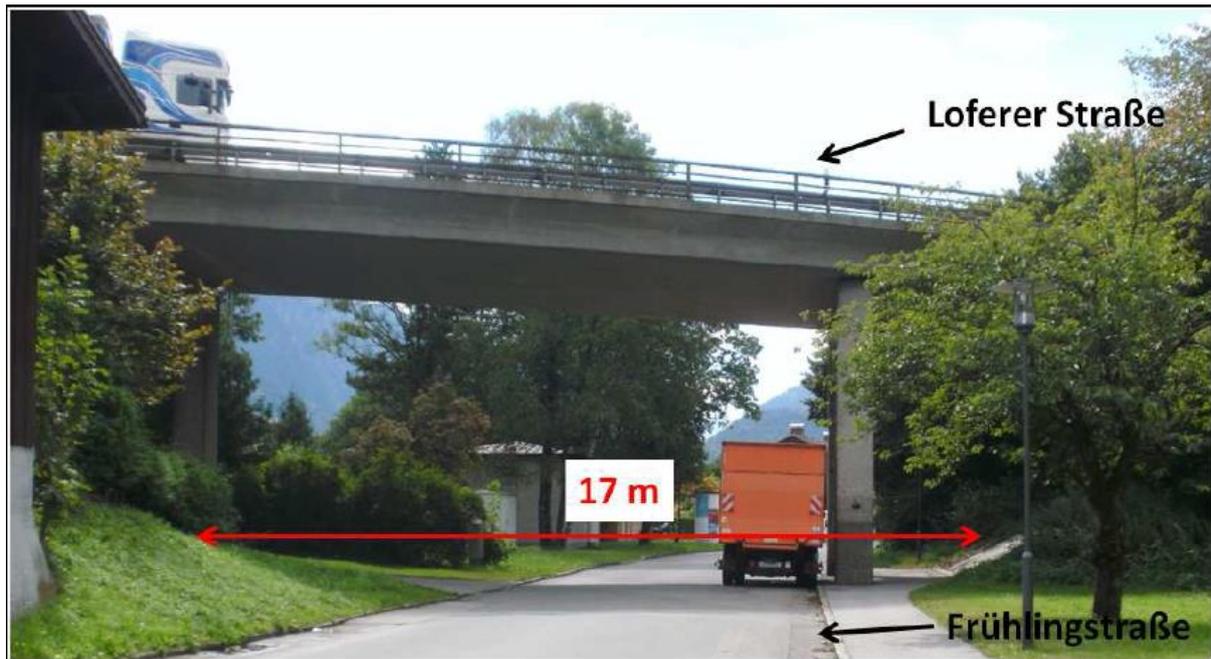


Abbildung 35 Darstellung der Örtlichkeit der Verteidigungslinie

Das Ergebnis der hydraulischen Simulation mit einer Verteidigungslinie ist in der Abbildung 34. dargestellt. Die zusätzliche Verteidigungslinie hat jedoch auch einen erhöhten Aufstau im Oberstrom zur Folge. Dadurch werden im Vergleich zum Überschwemmungsgebiet ohne Verteidigungslinie jedoch nur zwei zusätzliche Gebäude hydraulisch belastet und die Wassertiefe um ca. 10 cm erhöht, was für die anderen, bereits hydraulisch belasteten Objekte keine größeren Auswirkungen hat.

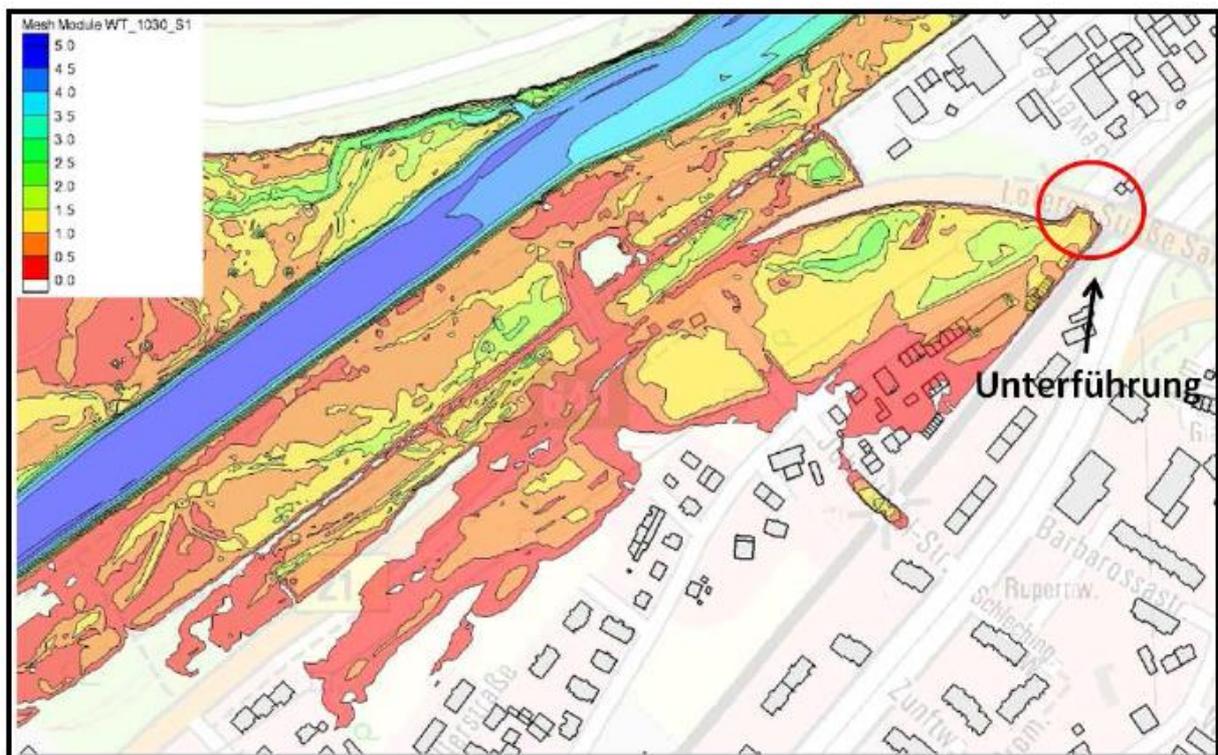


Abbildung 36 Darstellung des Überschwemmungsgebiet in Bad Reichenhall bei HQ_{200} mit zusätzlicher Verteidigungslinie

19.5 Auswahl eines geeigneten Schutzsystems

Aus dieser Simulation wurde des Weiteren ersichtlich, dass das an der Verteidigungslinie zu erreichende Stauziel an keiner Stelle mehr als einen Meter beträgt.

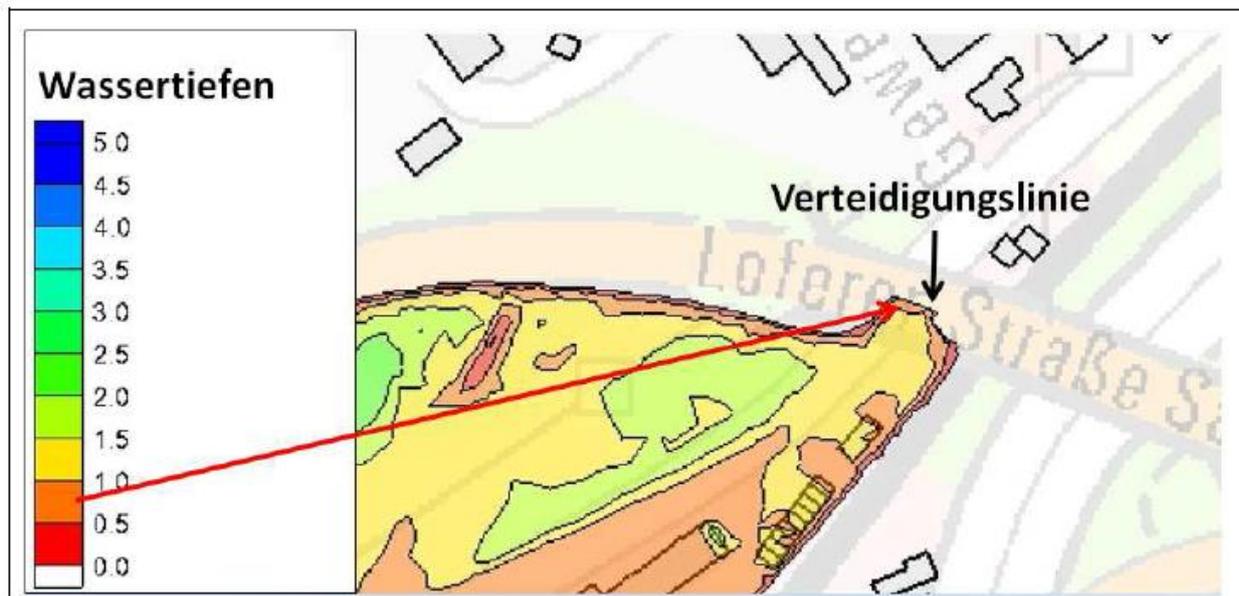


Abbildung 37 Fließtiefendarstellung an der Verteidigungslinie

Mit der geplanten Verteidigungslinie muss demnach auf einer Länge von 17 Meter ein Stauziel von einem Meter realisiert werden.

Die Errichtung von Dämmen aus Sandsäcken ist sicherlich die bekannteste und am häufigsten zum Einsatz kommende Maßnahme des mobilen Hochwasserschutzes. Zusätzlich gibt es zahlreiche weitere Arten mobiler Hochwasserschutzsysteme; hierzu zählen beispielsweise die Schlauch- und Beckensysteme (welche je nach Typ entweder mit Sand oder Wasser gefüllt werden) sowie mobile Hochwasserschutzmauern aus Schalungsbrettern, Dammbalken oder Betonelementen. Für die Errichtung der dargestellten Verteidigungslinie wurde nach Abwägung aller Vor- und Nachteile dieser Verteidigungsvariante die Verwendung von Sandsäcken als am besten geeignet angesehen.

Vorteile dieser Variante des mobilen Hochwasserschutzes liegen in „der Einfachheit der Anwendung, der Flexibilität der Einsatzmöglichkeiten und der Verfügbarkeit der Materialien (Sand, Split)“ (Egli, 2004)

In nachfolgender zusammenfassender Systemübersicht zeigt sich zudem, dass Sandsacksysteme auch finanziell gesehen die günstigste Variante des Hochwasserschutzes darstellen (noch günstiger wären Tafelsysteme; mit diesen kann jedoch nicht die geforderte Stauhöhe von einem Meter erreicht werden).

Einzig der hohe Personalbedarf zur Errichtung eines Sandsackdammes stellt einen Nachteil dieses Systems dar; für eine geforderte Dammlänge von 17 Metern dürfte dies allerdings keine bedeutende Rolle spielen.

Systemtyp	Max. Stauhöhe (Herstellerangabe)	Personalbedarf / 100 m/ h*	Investition Fr. / m**
Sandsacksysteme	2 m	40 Personen	100 - 150.-
Tafelsysteme	0.5 m	4 – 8 Personen	50.- - 100.-
Schlauchsysteme	1.2 m	4 Personen	250 – 500.-
Beckensysteme	1.5 m	4 – 8 Personen	400 – 450.-
Klappsysteme	2 m	2 Personen	350 – 400.-
Bocksysteme	2 m	4 – 8 Personen	500 – 600.-
Dammsysteme	1 m	4 Personen	550 – 600.-
Betonelementsysteme	1 m	4 Personen	250.-

* bezogen auf eine Stauhöhe von 0.5 m

Außerdem muss auch bedacht werden, dass die Errichtung der geplanten Verteidigungslinie erst für einen Hochwasserabfluss notwendig wird, welcher durchschnittlich einmal in 200 Jahren auftritt. In diesem Fall ist die vorsorgliche Anschaffung, Lagerung und Wartung komplexer, eigens für den Hochwasserschutz konzipierter Systeme (wie zum Beispiel Dammbalkensysteme) nicht rentabel.

Hinzu kommt, dass für den Aufbau dieser Systeme geschultes Personal benötigt wird; daher ist für Schulungszwecke (sowie zur Überprüfung der Logistik und der Bauteile) ein jährlicher Probeaufbau nötig

Sandsäcke bieten hier den Vorteil, dass die benötigten Materialien (Jutesäcke, Sand, etc.) im Bedarfsfall vergleichsweise spontan bereitgestellt werden können; laufende Kosten werden also vermieden. Außerdem kann auch mit freiwilligen, ungeschulten Helfern gearbeitet werden, ohne dass regelmäßige Probeeinsätze erforderlich wären (Lotz, et al., 2004)

Die erforderlichen Ressourcen für die Verteidigungslinie wurde in dem Hochwasser-einsatzplan berücksichtigt.

Die Dargestellten Lastfälle HQ_{100} und HQ_{200} stellen die Grundlage für den modifizierten und erweiterten Hochwassereinsatzplan der Stadt Bad Reichenhall dar. Bei Hochwasserereignissen mit einer Jährlichkeit von > 200 Jahren, ist eine Hochwasserverteidigung nicht mehr zu realisieren. Bei solchen extremen Hochwässern steht in erster Linie eine Schadensminimierung und der Schutz der Bevölkerung durch zeitnahe eingeleitete Evakuierungsmaßnahmen im Vordergrund. Die hierfür benötigte Katastrophenschutzplanung wird im Kapitel 11 detailliert beschrieben.

20 Katastrophenschutz

Für die Katastrophenschutzplanung wurde für den Lastfall $HQ_{\text{extrem}} = 1.500 \text{ m}^3/\text{s}$ der Saalach ebenfalls das Überschwemmungsgebiet mit einer 2d- Abflussmodell erstellt.

Die aus den hydraulischen Simulationen der Arbeitspakete 3 resultierenden Ergebnisse wurden über eine Schnittstelle im shape-format zur Verfügung gestellt. In Verbindung mit einer georeferenzierten topographischen Karte des Untersuchungsgebiets ist es somit möglich, das Überschwemmungsgebiet in seiner Ausbreitung mit Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe darzustellen. Dadurch erhält man erste Erkenntnisse, wie sich das Überschwemmungsgebiet darstellt und welche Bebauungen, bzw. Infrastruktureinrichtungen betroffen sind. Eine Aussage über die Gefährdung der Objekte und dessen Bewohner kann jedoch noch nicht getroffen werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Überschwemmungsgebiet in Bad Reichenhall bei einem Abfluss der Saalach von $Q = 1.500 \text{ m}^3/\text{s}$.

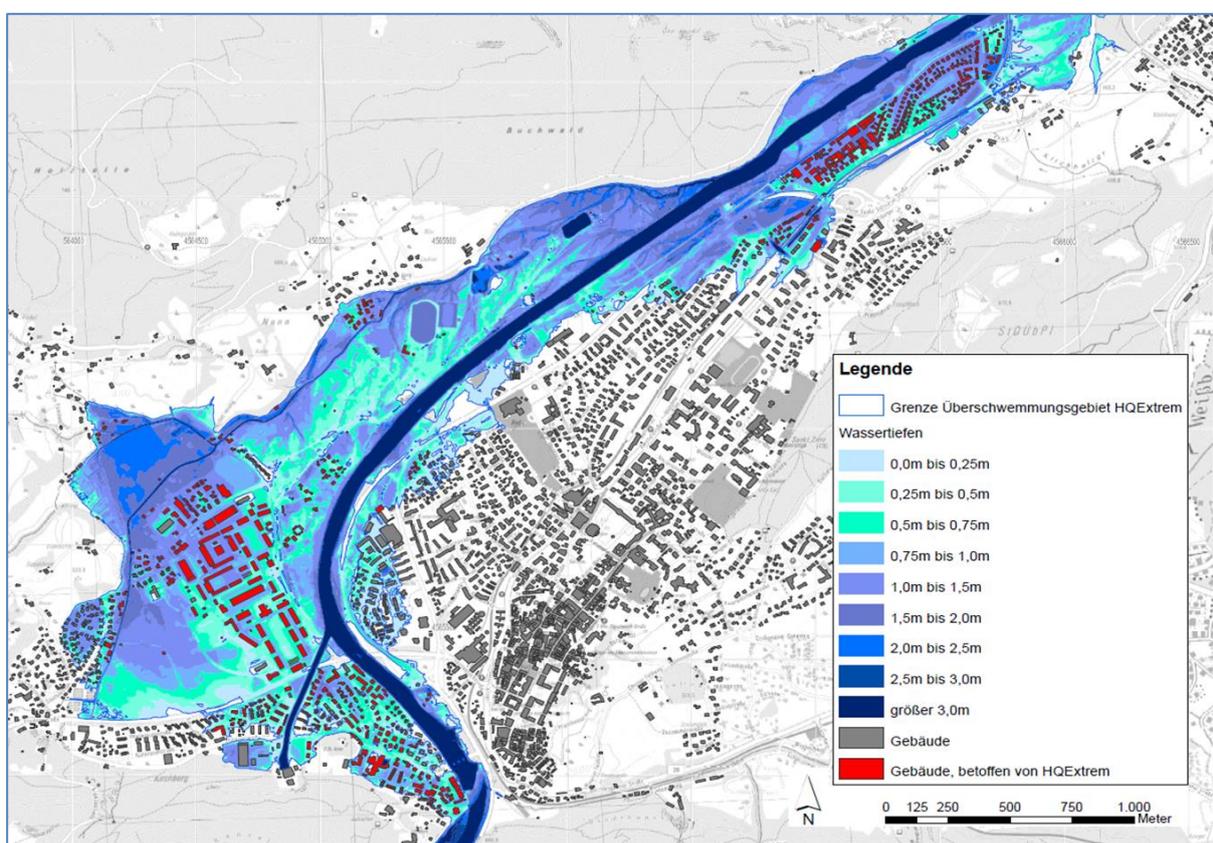


Abbildung 38 Überschwemmungsgebiet Bad Reichenhall - Lastfall HQ_{extrem}

20.1 Gefährdungsanalyse

Da in einem Überschwemmungsgebiet nicht nur die Fließtiefe Einfluss auf den monetären Schaden eines Objektes hat, sondern auch die Fließgeschwindigkeit, der Anströmwinkel und die Dauer der Überflutung, wurden zur Gefährdungsbeurteilung im Hochwasserfall die Hochwasserintensität, bzw. die Energielinienhöhe berücksichtigt. Die Hochwasserintensität wird über den Maximalwert aus der Fluthöhe h oder dem

Produkt aus der Fluthöhe h und der Fließgeschwindigkeit v definiert. Im Rahmen des EvaSim Projektes wurden dabei zur weiteren Betrachtungsweise drei Gruppen definiert:

- Personen
- Fahrzeuge
- Gebäude

Für jede Gruppe wurden Grenzwerte definiert, dessen Darstellung und Herleitung nachfolgend detailliert beschrieben werden

20.2 Intensitätsklassifizierung für Personen

Eine differenzierte Betrachtungsweise der Grenzwerte ist zwingend erforderlich, um die sehr viel geringe Standsicherheit und größere Gefährdung des Menschen im Hochwasserfall gerecht zu werden.

Für Personen besteht im Freien bereits bei einer geringen Hochwasserintensität akute Lebensgefahr. Mittels der so genannten Personenflutsicherheit (PFS) kann in Abhängigkeit von der Wasserführung, der Personengröße (Erwachsene / Kinder), dem Bodenmaterial und ggf. anderer Größen der Gefährdungsbeginn durch die Wasserströmung lokal berechnet werden (Broich, 2010)

Hierzu wurden 1989 an der Colorado State University und ergänzend 2000 im Rahmen des RESCDAM-Projekts Versuche durchgeführt, die die Standsicherheit von Personen in Gewässern unter Berücksichtigung der Fließgeschwindigkeit und Wassertiefe untersuchen und durch Interpretation der Ergebnisse sichere und unsichere Bereiche ausweisen können (Maijala, et al., 2001)

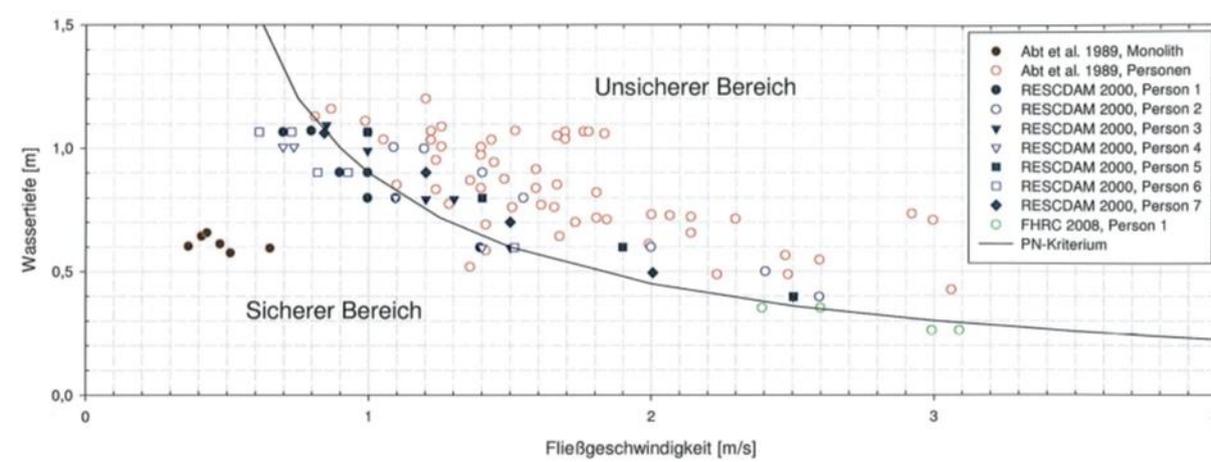


Abbildung 39 Kritische Geschwindigkeit - Tiefen Beziehung für Personen

Die Abgrenzung von sicherem und unsicherem Bereich wird durch die Product Number (PN) beschrieben. Das PN – Kriterium besagt, dass ein Mensch bis zum 0,9 –

fachen der Produktzahl $PN = \text{Wassertiefe } h \text{ [m]} * \text{Strömungsgeschwindigkeit } v \text{ [m/s]}$ im strömenden Wasser stehen kann.

$$PN = h * v < 0,9$$

20.3 Intensitätsklassifizierung für Gebäude

Die Intensitätsklassifizierung für Gebäude beschreibt große Gefahrenpotentiale. Zum einen ist bei hohen Wassertiefen das Erdgeschoss eines Gebäudes ganz überflutet, Fluchtwege in die oberen Geschosse oder auf das Dach können abgeschnitten werden. Gebäude werden kaum zerstört, aber Erd- und Kellergeschosse stark beschädigt. Bei hohen Fließgeschwindigkeiten entstehen dynamische Beanspruchungen, die ein Gebäude zerstören können. Es muss mit sehr hohem Geschiebetrieb, lokalen Erosionserscheinungen und der Ablagerung von Steinen und Blöcken gerechnet werden.

Um festzustellen welchen Einfluss die Intensität explizit auf die Tragwerksstruktur der einzelnen Gebäude hat, analysierte Black 1975 drei einfache Rahmenkonstruktionstypen (1, 1 ½ und 2 Etagen mit unterschiedlichen Füllmaterialien), um die Auftriebskräfte zu bestimmen. Diese wurde als Funktion der Fluthöhe berechnet. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Verschieben des Gebäudes möglich ist, wenn die Auftriebskräfte das Eigengewicht überschreiten. Durch die Kombination von Auftriebskräften und dynamischen Kräften wurden Fließgeschwindigkeiten berechnet, die nötig sind, um das Haus zu verschieben (Black, 1975). Diese Zusammenhänge können in einer etwas veränderten Form mit Übertragung auf die heutigen Bauwerksstrukturen folgendermaßen dargestellt werden.

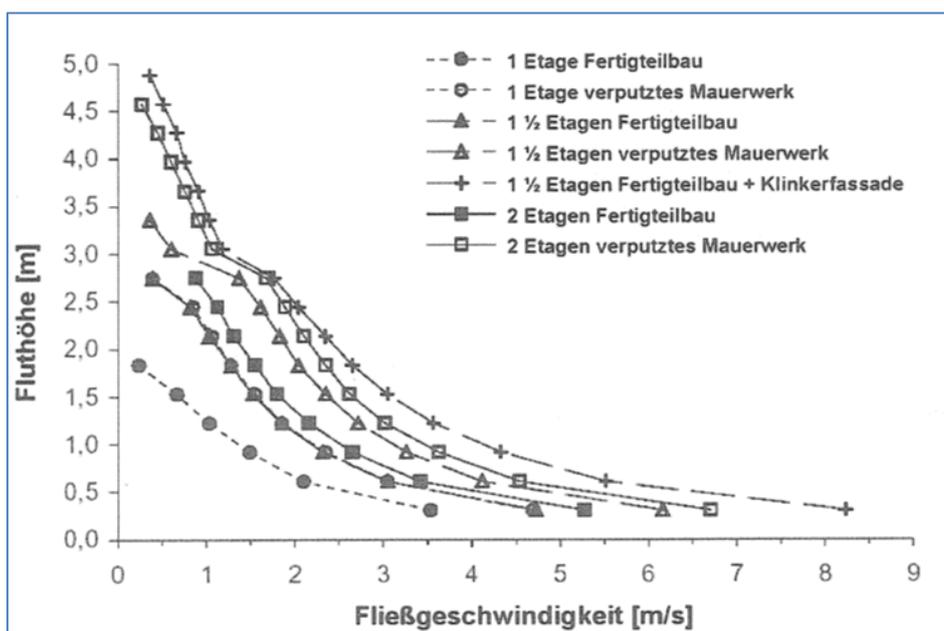


Abbildung 40 Darstellung der kritischen Fließgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Fluthöhe für verschiedene Gebäudetypen

Die Tragwerksstruktur der heutigen Gebäude ist vermehrt durch Ziegel- und Mauerwerksbauten geprägt. Im Jahr 1990 ermittelten Claussen und Clark für diese Bauten die Grenzwertkriterien, bei denen partielle Schäden, bzw. komplettes Versagen der Gebäude zu erwarten ist (Clausen, et al.).

- Übergang vom reinen Durchfeuchtungsschaden zum partiellen strukturellen Schaden (Eindrücken von Fenstern und Türen, geringfügiger Schaden an tragenden Elementen):

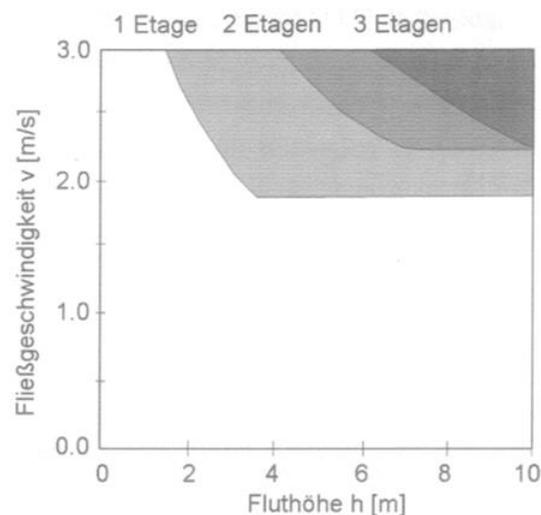
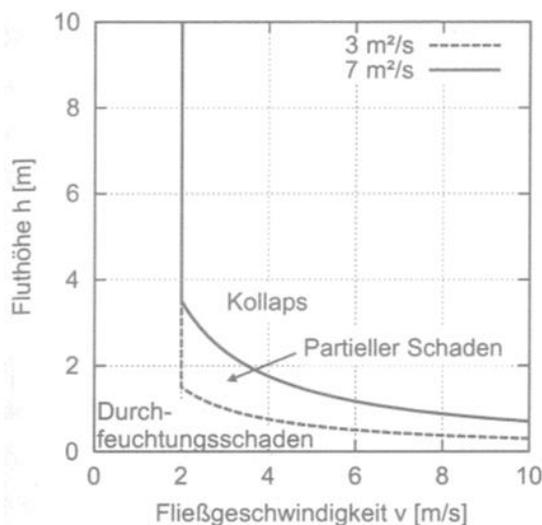
$$h * v = 3 \text{ m}^2/\text{s}$$

- Übergang vom partiellen strukturellen Schaden zur vollständigen Zerstörung (vollständiges strukturelles Versagen oder schwerer Schaden der einen Abriss und Neubau erforderlich macht):

$$h * v = 7 \text{ m}^2/\text{s}$$

- Für die Vereinfachung der Vernachlässigung des Bereichs des partiellen strukturellen Schadens gilt:

$$h * v = 6 \text{ m}^2/\text{s}$$



Diese Werte wurden aus der Schadensanalyse des Dale-Dyke-Dammbrochs von 1864 abgeleitet. Dabei wurden die Überflutungshöhen und Fließgeschwindigkeiten nach dem Dammbbruch mit einem Computerprogramm simuliert und mit den beobachteten Schäden korreliert.

Für $v < 2 \text{ m/s}$ wurde kein struktureller Schaden berichtet. Daher ist dieser Wert als unterer Grenzwert für das Eintreten eines strukturellen Schadens eingeführt worden.

Zusammenfassend können die gewonnen Werte aus dem RESCDAM – Projekt folgendermaßen dargestellt werden:

Tabelle 11 Schadensparameter für Gebäude

Bauweise		partieller Schaden	Kollaps
Holzrahmen	verankert	$h \cdot v \geq 2 \text{ m}^2/\text{s}$	$h \cdot v \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$
	unverankert	$h \cdot v \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$h \cdot v \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$
Mauerwerk, Beton und Ziegel		$v \geq 2 \text{ m/s}$	$v \geq 2 \text{ m/s}$
		$h \cdot v \geq 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$h \cdot v \geq 7 \text{ m}^2/\text{s}$

Für die Katastrophenschutzplanung im EvaSim – Projekt, sollen Entscheidungskriterien festgelegt werden, ab wann ein Gebäude aufgrund der hydraulischen Belastung evakuiert werden muss. Um den teilweise mit Unsicherheiten behafteten hydraulischen Simulationsergebnissen und den zusätzlich in der Stabilität der Gebäude negative beeinflussende Faktoren, wie z.B. der Anprall von Treibgut (Bäume, Autos usw.) gerecht zu werden, wurde für die Gefährdungsanalyse der Objekte die Intensitätsklassifizierung nach dem Schweizer Modell durchgeführt.

Tabelle 12 Intensitätsklassifizierung nach Schweizer Modell

Intensitätsklasse	Grenzen	Gefahrenmerkmale	Ereignis
3 [stark]	$hw \geq 2,0 \text{ m}$ oder $q = v \cdot hw \geq 2,0 \text{ m}^2/\text{s}$	· Menschen innerhalb Gebäude stark gefährdet · Plötzliche Gebäudezerstörung möglich	· Gebäude ist betroffen · Evakuierung des Gebäudes
2 [mittel]	$2,0 > hw > 0,5 \text{ m}$ oder $2,0 \text{ m}^2/\text{s} > q = v \cdot hw > 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	· Menschen außerhalb von Gebäuden stark, innerhalb kaum gefährdet	· Gebäude ist betroffen · Bewohner ereignisbezogen informieren, Sensibilisierung
1 [schwach]	$hw \leq 0,5 \text{ m}$ oder $q = v \cdot hw \leq 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$	· Menschen außerhalb von Gebäuden kaum gefährdet, Sachschäden an Gebäuden	
0	keine Überflutung	keine Gefährdung	Gebäude ist nicht betroffen

Um eine weiterführende Gefährdungsanalyse für die Objekte durchzuführen, wurden zunächst die hydraulisch belasteten Objekte, Versorgungs- und Infrastruktureinrichtungen, aber auch die für die Hochwasserabwehr, bzw. notwendige Evakuierungsmaßnahmen hydraulisch unbelasteten Objekte in einer Datenbank erfasst und klassifiziert.

Die Klassifizierung wurde über die Schutzklasse „normal“ bzw. „hoch“ definiert. Diese differenzierte Betrachtungsweise ist erforderlich, um den Handlungsbedarf und die Schutzbedürftigkeit des jeweiligen Objektes zu ermitteln. Im Folgenden sind die we-

sentlichen Unterscheidungsmerkmale aufgeführt, die die Schutzklasse „hoch“ von der „normalen“ unterscheidet:

- Objekte, die besonders Schutzbedürftig sind und für die keine selbständige Evakuierung möglich ist (z.B. Krankenhaus, Kindergarten, Altersheim).
- Objekte, die für Evakuierungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung sind (z.B. Sammelstellen, öffentliche, med. Einrichtungen) .
- Objekte, von denen im Hochwasserfall Gefahren ausgehen (z.B. Tankstellen, Umspannwerk, Gewerbe mit wassergefährdenden Stoffen).
- Objekte, die für Evakuierungsrouten von großer Bedeutung sind (z.B. Brücken Hauptverbindungsstraßen).
- Objekte, die dem Hochwasserschutz dienen (z.B. Dammbalken, Pumpwerke, Deiche, HW-Mauern).

Für die Objekte der Schutzklasse „hoch“ bestehen individuelle Auslösebedingungen von durchzuführenden Maßnahmen, in Abhängigkeit der unmittelbaren hydraulischen Belastung, bzw. der Erreichbarkeit im Hochwasserfall.

Für die Objekte der Schutzklasse „normal“ wurde die Intensitätsklassifizierung nach dem Schweizer Modell definiert.

Objekte der Intensitätsklasse 0 bis 2 werden für durchzuführende Evakuierungsmaßnahmen nicht berücksichtigt. Bewohner von Objekten der Intensitätsklasse 3 werden zur Evakuierung aufgerufen oder müssen bei Immobilität durch Einsatzkräfte evakuiert werden.

Der Arbeitsablauf zur Gefährdungsbeurteilung der gefährdeten Objekte lässt sich folgendermaßen schematisch darstellen:

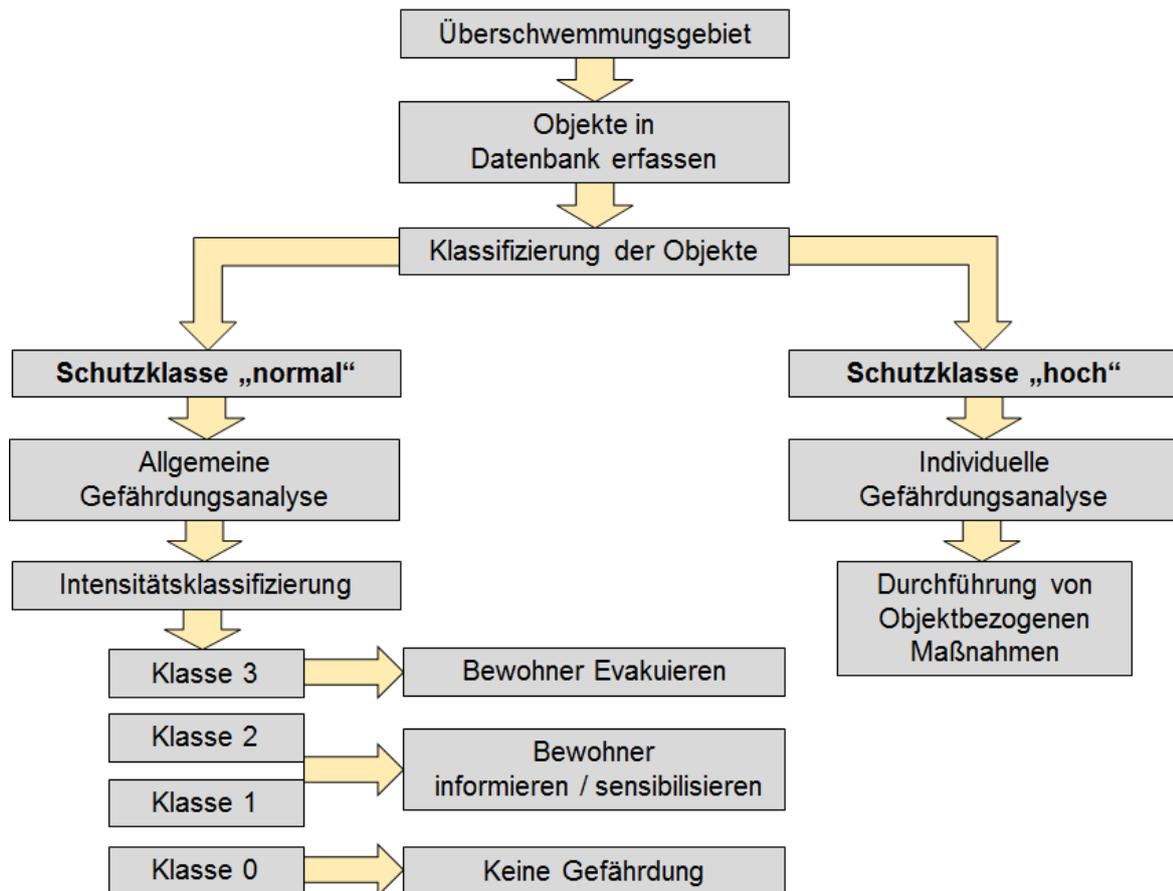


Abbildung 41 Darstellung des Arbeitsablaufes zur Gefährdungsanalyse

21 Evakuierungsmaßnahmen /-bedarf

Der Evakuierung im Hochwasserfall liegt das Konzept zugrunde, dass durch die geringe Zeitverfügbarkeit, die Einschränkung im Verkehr und die begrenzte Ressourcenverfügbarkeit die zu evakuierenden Personen auf ein Minimum zu beschränken sind. Das Überflutungsmodell liefert für die Zielsetzung „Minimaler Evakuierungsaufwand“ die entscheidenden Informationen durch eine gebäudescharfe Gefährdungsanalyse. Es wird vorausgesetzt, dass zum einen nur Gebäude zu räumen sind, die durch Strömungsbelastung einzustürzen drohen oder aufgrund von Überflutungen die Flucht innerhalb des Gebäudes nicht möglich ist und zum anderen Gebäude der Schutzklasse „hoch“, bei denen bereits bei geringer hydraulischer Belastung eine Aufrechterhaltung von zwingend erforderlichen Versorgungseinrichtungen nicht mehr gewährleistet werden kann. Die Abbildung 40 zeigt eine Darstellung der Intensitätsklassenverteilung im Untersuchungsgebiet Bad Reichenhall bei HQ_{extrem}

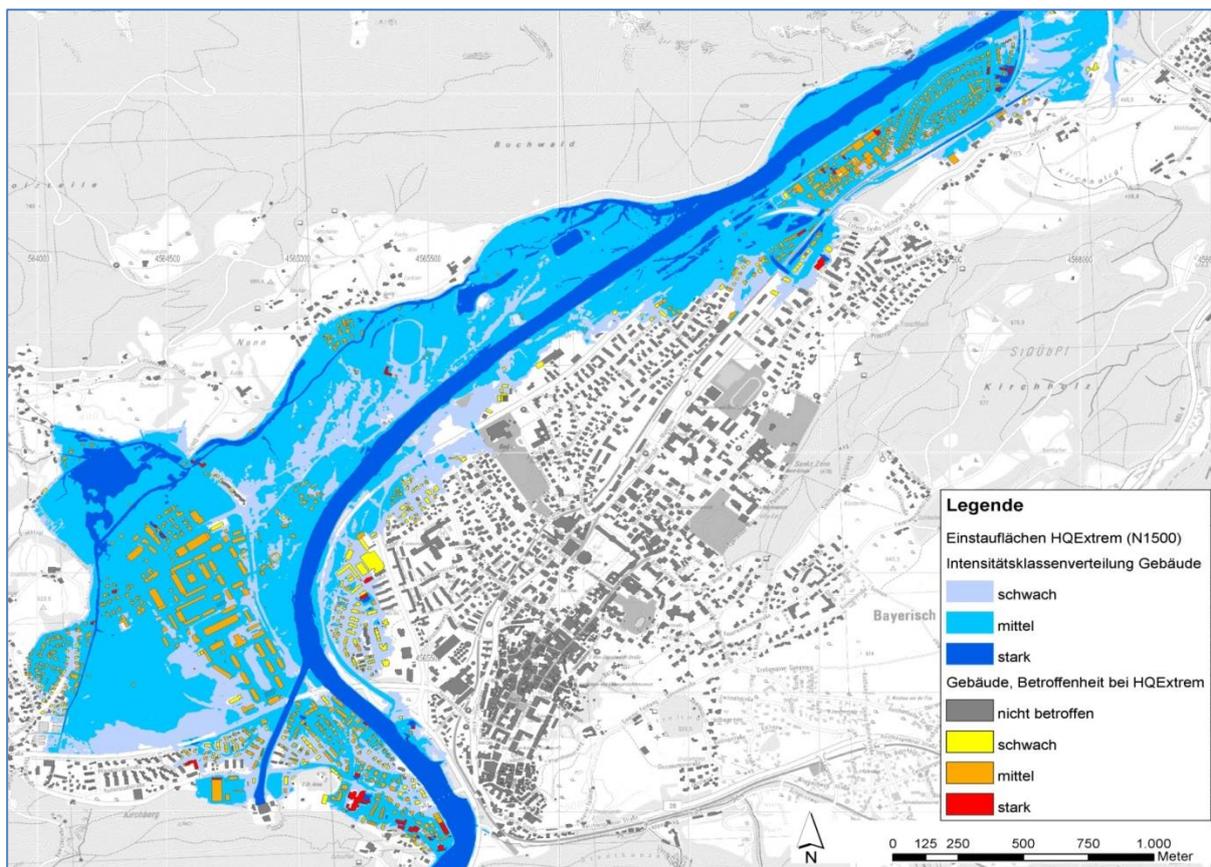


Abbildung 42 Intensitätsklassenverteilung für Bad Reichenhall bei HQ_{extrem}

21.1 Evakuierungsrouten

Neben der Gefährdungsbeurteilung der Objekte der Schutzklasse „normal“ und „hoch“ wurden anhand von Verkehrsmodellierungen die Kapazitäten des Verkehrsnetzes im Evakuierungsfall (Arbeitspaket 6) ermittelt. Hierfür wurden die für den Evakuierungsfall erforderlichen Bewegungen im Individualverkehr, wie z.B. PKW's und Fußgänger simuliert.

Zusätzlich zu den hydraulischen Parametern gehen auch Untersuchungen der Soziologie in das Verkehrsmodell ein. Nur durch deren Beteiligung konnten wesentliche Informationen über das Verhalten der Bevölkerung in einer Extremsituation erlangt werden, die für die Modellierung des Verkehrsverhaltens eine wichtige Rolle spielen. Wie schnell tritt eine Person die Flucht an? Welches Verkehrsmittel wird zur Flucht gewählt? Wie viel Prozent flüchten gar nicht und benötigen dadurch gegebenenfalls Hilfe durch Einsatzkräfte.

Anhand von Befragungen und einer Literaturanalyse wurden typische Verhaltensweisen von Personen während der Evakuierung bestimmt. Diese Verhaltensweisen wurden im Evakuierungsverkehrsmodell nachgebildet und stellen für die Evakuierungsplanung eine geeignete Maßnahme zur Optimierung zur Durchführung des Evakuierungsablaufes dar.

Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Durchführung einer Evakuierung, ist der Kenntnisstand zum Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen. Im Allgemeinen sind hydraulisch belastete Verkehrswege für den Zivilverkehr grundsätzlich nicht nutzbar. In Abhängigkeit der Attribute Wasserstand und Fließgeschwindigkeit wird die zeitabhängige Kapazität jeder Strecke des Verkehrsmodells angepasst. Die Hydrauliksimulation gibt daher zum einen, einen zeitabhängigen Befahrbarkeitsstatus von Evakuierungsrouten für den Zivilverkehr und zum anderen, unter Berücksichtigung der Grenzwerte der Stabilität von Einsatzfahrzeugen unter Strömungsbelastung, einen Aufschluss über die Befahrbarkeit von überfluteten Verkehrswegen für Einsatzkräfte.

Die Ausgabe zum Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen erfolgt in 4 Kategorien:

- Sicherheitsabstand (Freibord) der Straße mind. 50 cm
→ *frei Befahrbar für alle Verkehrsteilnehmer*
- Sicherheitsabstand (Freibord) der Straße zwischen 50 und 0 cm
→ *frei Befahrbar für Einsatzkräfte, für Zivilverkehr gesperrt*
- Straße hydraulisch belastet → Energiehöhe ≤ 30 cm
→ *frei Befahrbar für Einsatzkräfte, für Zivilverkehr gesperrt*
- Straße hydraulisch belastet → Energiehöhe > 60 cm
→ *unpassierbar*

Die Befahrbarkeit der einzelnen Verkehrswege stellt sich für ein Teilgebiet in Bad Reichenhall folgendermaßen dar:

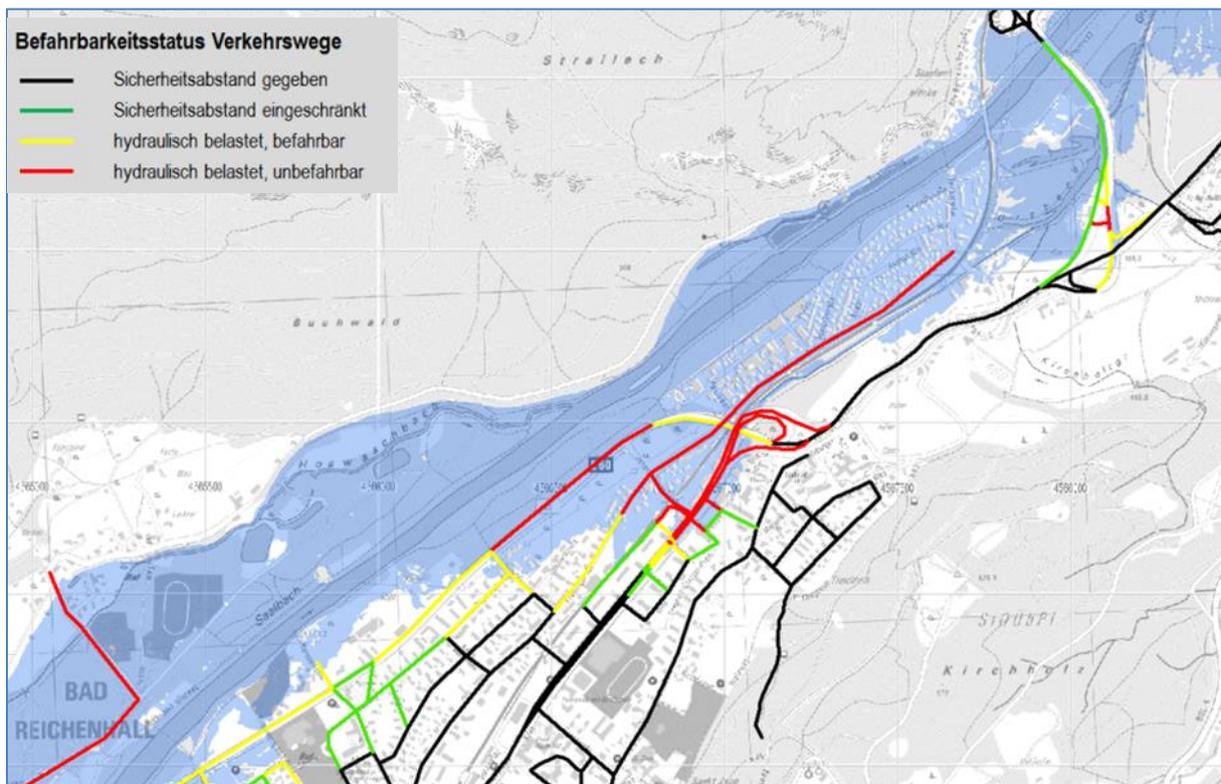


Abbildung 43 Befahrbarkeitsstatus Verkehrswege Bad Reichenhall bei HQ_{extrem}

Durch Erkenntnisse aus der Verkehrsmodellierung kann das Routenwahlverhalten unter Berücksichtigung unterschiedlicher Überflutungsszenarien überprüft und die Fluchtwegpläne im Evakuierungsfall optimiert werden.

22 Katastrophenschutzplanung

Die zuvor beschriebenen Simulationen von Überflutung und Verkehr werden durch Programmschnittstellen automatisiert und anschaulich aufbereitet an das GIS-gestützte Hochwassermanagementsystem FLIWAS übergeben.

Durch ein im Rahmen von EvaSim entwickeltes Analyseprogramm, wird für betroffene Objekte ein Status in Bezug der hydraulischen Belastung ermittelt. Für Objekte der Schutzklasse „normal“ werden die hydraulischen Belastungen entsprechend der Intensitätsklassifizierung unterschieden.

Die Auswertung der Überflutungsszenarien für Bad Reichenhall, unter Berücksichtigung des Belastungsstatus für Objekte der Schutzklasse „normal“ zeigen, dass ein großer Teil dieser Objekte während der Überflutung einen sicheren Aufenthalt ermöglichen und kein Evakuierungsbedarf besteht (siehe Abbildung 2.30).

Auf Grundlage der oben beschriebenen Informationsbereitstellung und der objektdifferenzierten Betrachtung, wurden folgende Analysen und Informationsaufbereitungen in den Untersuchungsgebieten durchgeführt:

- *Gefährdungsbeurteilung von Gebäuden und Objekten:*

Unter Berücksichtigung der Fließtiefe und Fließgeschwindigkeit (Intensitätsklassifizierung), erfolgen individuelle und nutzungsspezifische Gefährdungsbeurteilungen. Dabei wird zwischen Objekten der Schutzklasse „normal“ und Schutzklasse „hoch“ unterschieden. Alle hochwassergefährdeten Objekte werden in einer zentralen Datenbank verwaltet.

- *Erfassung der erforderlichen Maßnahmen zur Hochwasserverteidigung:*

Auf Grundlage der hydraulischen Simulation werden zum einen Schwachstellen oder Überlastungen an bestehenden Hochwasserschutzeinrichtungen aufgezeigt und zum anderen strategisch wichtige Interventionslinien ermittelt.

- *Erfassung beeinträchtigter oder gestörter Verkehrswegebeziehungen:*

Für das gesamte Verkehrsnetz wird der Befahrbarkeitsstatus mit aufgeführten Abgrenzungen ermittelt (siehe Abbildung 5)

- *Berechnung des Ressourceneinsatzes:*

Die zur Hochwasserabwehr benötigten Ressourcen (wie Material, Personal, Geräte nach Zeit und Dauer) werden ermittelt und verschiedenen Depots bzw. Institutionen zugeordnet.

- *Berechnung des Evakuierungsbedarfs:*

Erfordert die Gefährdungsbeurteilung im Hochwasserfall eine Evakuierung, kann die Anzahl der zu evakuierenden Personen auf Grundlage der zentralen Datenbank abgeschätzt werden. Zusätzlich werden die Routen zwischen Evakuierungsgebiet und Sammelstelle auf die Befahrbarkeit überprüft.

- *Zeitabhängige Priorisierung von Einsatzmaßnahmen in der Gefahrenabwehr und im Evakuierungsfall*

Die im Forschungsvorhaben „EVASIM“ eingesetzten Instrumente und Werkzeuge stellen die Datengrundlage für das webbasierte Hochwasser- und Katastrophenmanagementsystem FLIWAS dar. Die Ergebnisse können über eine interaktive graphische Programmoberfläche zur Lagebeurteilung, zur Gefahrenabwehr und zur Durchführung von Evakuierungsmaßnahmen verwendet werden.

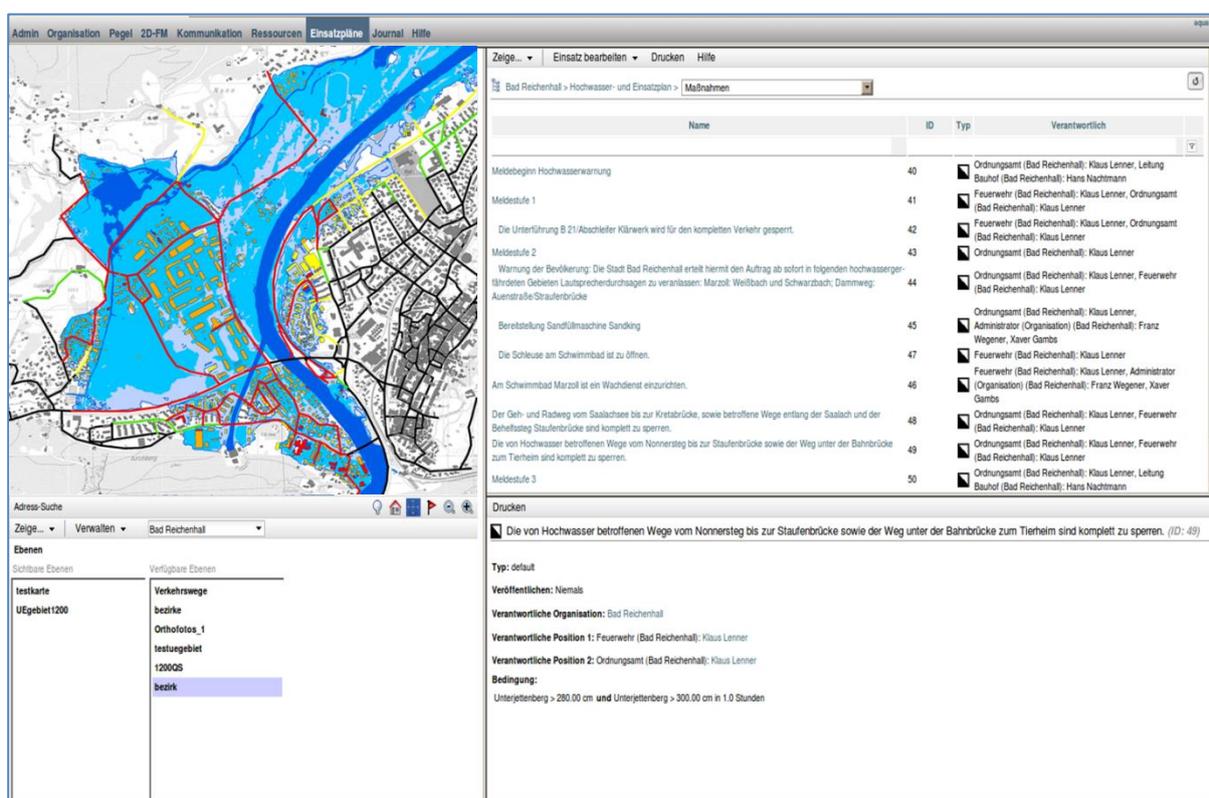


Abbildung 44 Benutzeroberfläche FLIWAS für den Hochwassereinsatz- und Katastropheneinsatzplan der Stadt Bad Reichenhall

23 Fazit

Die Simulation von Hochwasserereignissen, vom Niederschlagsereignis bis hin zum Überflutungsszenario, ermöglicht, im Zusammenhang mit einem gekoppelten Verkehrsmodell, die Identifizierung von Verkehrsquellen und -zielen, sowie den Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen und damit Planungswerkzeugen für eine optimierte Evakuierung. Mit dem Hintergrundwissen um das Verhalten der Bevölkerung bei

Evakuierungsaufforderungen und die Fahrstabilität von Fahrzeugen auf überfluteten Verkehrswegen wird damit eine präzise Steuerung sowohl des Zivilverkehrs, als auch der Einsatzkräfte bei Evakuierungsmaßnahmen möglich.

Ergebnisse sind neue, innovative Hochwassereinsatz- und Katastrophenschutzpläne für den gezielten und effektiven Ressourceneinsatz. Es wurde ein auf die Software FLIWAS abgestimmtes EDV gestütztes Managementsystem entwickelt. Dieses ist im kommunalen Hochwasserschutz zukünftig für kleine Hochwasserereignisse bis hin zu Katastrophenereignissen anwendbar und stellt einen durchgängigen, zuständigkeitsübergreifenden Informationsfluss sicher.

Bereits der Aufbau dieses Hochwassermanagementsystems liefert wichtige Erkenntnisse über mögliche Hochwassergefährdungen und –schadenspotentiale und sensibilisiert Entscheidungsträger für geeignete Abwehrstrategien und Vorsorgemaßnahmen.

VERWERTUNGSPLAN

23.1 Erfindungen / Schutzrechtsanmeldungen

aquasoli Ingenieurbüro bearbeitete die Arbeitspakete 3 und 7. Im Rahmen der Projektarbeit wurden Softwarelösungen entwickelt, die eine automatisierte Datenanalyse mit Datenausgabe aus dem Berechnungsprogramm HYDRO_AS-2D durchführt. Die Urheberrechte der Schnittstellenprogrammierung liegen beim aquasoli Ingenieurbüro.

Aquasoli hat bei der Entwicklung der Übertragungsalgorithmen eine maximale Flexibilität in der Diskretisierung des Abflussmodells berücksichtigt, wodurch unterschiedliche Diskretisierungsstufen des Rechengitters mit unterschiedlichen Rechenzeiten und –genauigkeiten möglich sind.

Die Schnittstellen unterscheiden sich in drei unterschiedliche Szenarien, je nach Art der Bündelung der zu extrahierenden Informationen:

- Punktinformationen (z.B. WSP an Pegelpunkten)
- Linieninformationen (z.B. Fließtiefen/-geschwindigkeiten entlang von Verkehrswegen)
- Polygoninformationen (z.B. Verteilung von Intensitätsklassen in Verkehrsbezirken, Gefährdungsbeurteilung von Einzelgebäuden)

Die nachfolgend dargestellten Schnittstellen sind speziell auf das eingesetzte Softwarepaket SMS/ HYDRO_AS-2D abgestimmt.

SMS ist eine allgemeine Benutzeroberfläche für die hydrodynamische Modellierung und wird als Pre- und Postprozessor für HYDRO_AS-2D, einer Konsolenanwendung für die Lösung der Flachwassergleichung, eingesetzt. In SMS wird für das Untersuchungsgebiet, ein unstrukturiertes Berechnungsgitter aus linearen Dreiecken und Vierecken erstellt, auf dem das Setup der Berechnung sowie die Darstellung der Berechnungsergebnisse erfolgt. Die eigentliche Gleichungslösung erfolgt in HYDRO_AS-2D mittels Finite-Volumen-Methode in den Knoten. HYDRO_AS-2D berechnet das zu jedem Knoten zugehörige Kontrollvolumen über Polygone, deren Stützpunkte die Eckenschwerpunkte und Seitenmittelpunkte aus den am Knoten anschließenden Elementen darstellen. Die Bestimmung von Strömen (Fluxes) erfolgt entlang der Kanten durch die Seiten der Kontrollvolumina. Nach der Lösung der Flachwassergleichung stehen folgende zeitabhängige Data Sets zur Verfügung:

- Depth (Fließtiefe h , Gleichungslösung ohne Korrekturen)
- Veloc (Fließgeschwindigkeitsvektor \vec{v} , Gleichungslösung ohne Korrekturen)

- WSPL (Wasserspiegellage mit Korrekturen an der Nass-Trocken-Grenze für eine lagerichtige Darstellung der Anschlagslinie)

Daraus lassen sich weitere, für die Verkehrsmodellierung und die Katastrophenschutzplanung interessante Größen ableiten:

- Spezifischer Abfluss $q = h|\bar{v}|$
- Energiehöhe $E = h + \frac{|\bar{v}|^2}{2g}$
- Intensitätsklassen

Die Programmierung der nachfolgend dargestellten Schnittstellen erfolgte mittels vb.net unter der Oberfläche Microsoft Visual Basic 2008 in der frei verfügbaren Express Edition.

Für das Verständnis der spezifischen Anpassung der Schnittstelle Hydraulik – Verkehr sind folgende Besonderheiten von HYDRO_AS-2D von Vorteil:

- explizites Lösungsschema: absolute Stabilität der Berechnung auch bei steilen Gerinnen und/ oder extrem instationären Vorgängen (Damm-/ Deichbruch)
- Finite Volumen Methode mit knotenzentrierter Variablenhaltung
- unstrukturierte Gitter aus Dreiecks- und Viereckselementen möglich.
- Brückenbauwerke können zweidimensional modelliert werden (Konstruktionsunterkannte als Randbedingung in Knoten). Für die Simulation von Verrohrungen / Durchlässen, Wehren sowie Brückenüberströmung stehen eindimensionale Hilfsstrukturen zur Verfügung.
- Möglichkeit zur exakten Positionierung der Wasseranschlagslinie auch zwischen zwei Lösungsknoten

Eine Schutzrechtsanmeldung wurde bisher nicht beantragt.

Die oben beschriebenen Entwicklungen stellen ein wichtiges Instrument für die Übernahme von Daten aus der 2d Abflussberechnung in das Hochwassermanagement dar. Der Einsatz der Softwarelösungen HYDRO_AS-2D und SMS bestimmt in der 2d Abflussmodellierung zunehmend den Markt. Aquasoli erwartet, dass die Nachfrage an der Bereitstellung von Hochwassermanagementsystemen, basierend auf 2d Abflussmodellen steigt, so dass gute Vermarktungschancen zu erwarten sind.

Eine Vermarktung der oben beschriebenen Programmentwicklungen ist ab 2014 angedacht.

23.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Das von aquasoli auf Grundlage von FLIWAS entwickelte modellgestützte Hochwassermanagementsystem zur Katastrophenschutzplanung und Gefahrenabwehr ermöglicht durch eine zuverlässige schnelle und präzise Einschätzung von Hochwassergefahren die rechtzeitige Einleitung von geeigneten Abwehrmaßnahmen. In der Projektphase hat sich gezeigt, dass insbesondere bei extremen Hochwasserereignissen und beim Versagen von Hochwasserschutzbauwerken kaum Informationen für eine realistische Gefährdungseinschätzung vorliegen.

Insbesondere bei Kreisverwaltungsbehörden und Kommunen stoßt aquasoli mit den Ergebnissen und Produkten aus EvaSim auf großes Interesse.

Die größte Barriere für eine Verwertung der Entwicklungen aus EvaSim stellt die Finanzierung und staatliche Förderung von Hochwassermanagementsystemen dar. Als größter finanzieller Aufwand ist die Bereitstellungen von Daten und Modellen für die 2d Abflussmodellierung zu sehen.

In Deutschland werden derzeit zur Umsetzung der Hochwasserrisikomanagementrichtlinie bundesweit die Hochwassergefährdung für HQextrem ermittelt und Hochwassergefahrenkarten erstellt. Die Bereitstellung dieser Karten ist bis Ende 2013 abzuschließen. Die 2d Modelle zur Erstellung der Hochwassergefahrenkarten bieten eine ideale Grundlage für ein modellgestütztes Hochwassermanagement und schaffen somit die entscheidende Voraussetzung für eine wirtschaftliche Bereitstellung auf kommunaler Ebene. Die Bereitstellung der Hochwasserrisikomanagementpläne ist bis Ende 2015 abzuschließen.

Von besonderer Bedeutung ist, dass die Hochwassergefahrenkarten auch Überschwemmungsszenarien beinhalten, die einen Katastrophenfall darstellen und damit auch den Verantwortlichen der Kreisverwaltungsbehörden den notwendigen Katastrophenschutz aufzeigt.

Aquasoli erwartet, dass durch Veröffentlichung der hochwassergefährdeten Gebiete (Hochwassergefahrenkarten) eine gesteigerte Nachfrage für die Bereitstellung von modellgestützten Hochwassermanagementsystemen bewirkt wird, da die aktualisierten Daten zur Hochwassergefährdung für Entscheidungsträger der Kreisverwaltungsbehörden und der Kommunen einen Handlungsbedarf erkennen lassen.

Die im Rahmen von EvaSim gewonnene Erkenntnisse, in Verbindung der im Markt bereits eingeführten und zusätzlichen entwickelten Instrumente, ergeben ein marktreifes Produkt, das in der Art für unsere Zielgruppen noch nicht verfügbar ist.

Folgende Produkte und Leistungen werden zukünftig von aquasoli angeboten:

1. Bereitstellung, Aktualisierung von 2d Abflussmodellen für Szenarienberechnungen und Prognoseberechnungen
2. Durchführung von Hochwassergefährdungsanalysen, Schadensanalysen einschl. Der Aufstellung von Hochwasserverteidigungsstrategien.
3. Bereitstellung von operationellen Hochwasserabflussmodellen
4. Beratungsleistungen in der Aufstellung von Katastrophenschutzplänen
5. Bereitstellung von Hochwassermanagementsystemen einschl. Aufbau und Pflege der Datenbanken
6. Erstellung, Aktualisierung, Fortschreibung von Hochwassereinsatzplänen einschl. Datenbankübernahme
7. Erstellung, Aktualisierung, Fortschreibung von Alarm- und Meldeplänen einschl. Datenbankübernahme
8. Implementierung und Administration von FLIWAS
9. Anwenderschulung, Support von FLIWAS

23.3 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Das Verbundvorhaben EvaSim wurde von aquasoli bereits auf mehreren Messen und Tagungen vorgestellt. Die Interessenten lassen sich in folgende Gruppierungen zusammenfassen:

- Kreisverwaltungsbehörden und kommunale Entscheidungsträger
- Einsatzorganisationen und Hilfsorganisationen
- Unternehmen die vom Hochwasser betroffen sind
- Versicherungswirtschaft
- Hersteller und Lieferanten von Produkten zur Gefahrenabwehr
- Entwicklung und Vertrieb von geographischen Informationssystemen

Das große Interesse unterschiedlicher Gruppierungen an dem Verbundvorhaben EvaSim zeigt den Bedarf und das Marktpotential von modellgestützten Hochwassermanagementsystemen.

Im Rahmen von EvaSim wurde ein Konzept zur Evakuierung von Personen bei Hochwasser ausgearbeitet. Das Konzept beinhaltet den Ansatz, dass die zu evakuierenden Personen auf ein Minimum zu beschränken sind und die dafür erforderlichen Evakuierungsrouten und Sammelpunkte zur Verfügung stehen müssen. Dies wird durch eine, innerhalb von EvaSim entwickelte, modellgestützte Lokalisierung von hydraulisch belasteten Straßen und Objekten erreicht.

Auf Grundlage der eingesetzten gekoppelten Modellierungstechnik wurde im Pilotprojekt „Rupertiwinkel“ aufgezeigt, dass bestehende Evakuierungspläne bei extremen Hochwässern durch überflutete Verkehrsrouten und Sammelpunkte nicht umsetzbar sind.

Für Kreisverwaltungsbehörden und kommunale Verwaltungen sind die oben genannten Erkenntnisse von grundlegender Bedeutung und erfordern eine Überprüfung bestehender Hochwasserevakuierungspläne unter Berücksichtigung der zeitlich und räumlich diskretisierten hydraulischen Belastung von Gebäuden und Straßen.

Die Untersuchungen im AP7 zeigen zudem, dass bei einer gebäudescharfen Lokalisierung von hochwassergefährdeten Objekten der Evakuierungsbedarf um ein vielfaches reduziert wird und dadurch die Kosten für den Hochwassereinsatz im Evakuierungsfall gesenkt werden können.

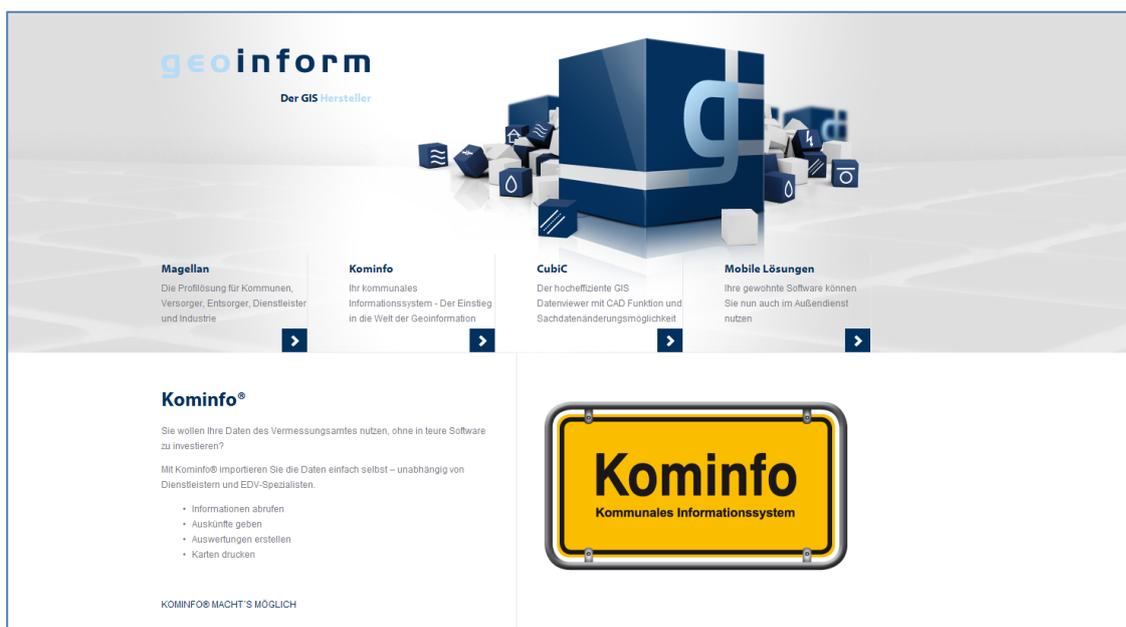
23.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Das Verbundvorhaben EvaSim zeigt großes Interesse bei Dienstleistern und Unternehmen aus den Bereichen Geoinformation und Vermessung. Zudem wurden während der Projektphase EvaSim Kontakte zu Dienstleistern hergestellt, die Hochwassermanagementsysteme entwickeln.

Folgende Kontaktabbahnungen sind bereits erfolgt und werden fortgeführt:

Firma Geoinform

Geoinform ist ein Softwarehersteller für kommunale Informationssysteme und betreut bundesweit mehr als 1000 Kunden. Das Produkt KOMINFO wird in vielen Kommunen als Auskunftssystem für Geodaten eingesetzt.



Quelle: Auszug Internetseite www.geoinform.de

In ersten Gesprächen zwischen aquasoli und Geoinform wurden Möglichkeiten besprochen, bestehende Datenbankinformationen wie z.B. ALKIS-Daten und die Benutzeroberfläche von KOMINFO für das Hochwassermanagement zu nutzen.

Leica Geosystems

Leica Geosystems ist Weltmarktführer für Vermessungsgeräte und bietet eine Vielzahl von Dienstleistungen in den Bereichen Vermessung und Monitoring an. Während der Projektphase EvaSim wurde aquasoli von Leica Geosystems angesprochen und in einer ersten Besprechung die Möglichkeit einer Zusammenarbeit und der Einsatz von GeoMoS (webfähiger Datendienst für Monitoring) im Hochwassermanagement erörtert.



Leica GeoMoS Adjustment
Reduce risk, improve your decision making

Leica Monitoring Solutions

Construction sites, tunnels, mines, dams, slopes - wherever you need the most precise and reliable information on structural movement. Leica GeoMoS Adjustment allows you to make informed decisions based on statistically optimized and validated data.

Automatic Network Adjustment and Deformation Analysis

- Most accurate method for detecting movements
 - Combination of measurements from multiple total stations and/or GPS/GNSS
 - Mathematically optimized robust adjustment for highest precision and reliability
 - Automatic outlier detection and removal
- Statistical significance of movements - better decision making
 - Statistically qualify the movements - is it really moving?
 - Quantify the precision and reliability of the monitoring system
- Detection of unstable reference points
 - Distinguish movement of the structure from problems in the reference frame
 - Identify which reference points are stable and which are not

Quelle: Auszug Internetseite www.leica-geosystems.de

Ingenieurbüro Leiner und Wolff

Das Ingenieurbüro Leiner und Wolff ist an der Entwicklung von FLIWAS in Baden-Württemberg und für die Stadt Köln beteiligt. In einer ersten Kontaktabmahnung wurde die Möglichkeit einer Kooperation wie z.B. Weiterentwicklung von Softwarelösungen wie FLIWAS und HNI eruiert.

The screenshot shows the website for Leiner & Wolff. At the top, there is a navigation bar with the company name 'LEINER & WOLFF' and a right-pointing arrow. Below this is a secondary navigation menu with links: HOME, PRODUKTE, DIENSTLEISTUNGEN, KONTAKT, ÜBER UNS, and IMPRESSUM. The main content area is divided into two columns. The left column features several sections, each with an icon and a brief description: 'Hochwasserschutz und Gefahrenabwehr' (with a buoy icon), 'Fernerkundung' (with a satellite icon), 'Geoinformation' (with a compass icon), 'Freie Software und offene Standards' (with a document icon), and 'Webentwicklung'. The right column has two orange-bordered sections: 'PRODUKTE' and 'DIENSTLEISTUNGEN'. The 'PRODUKTE' section lists 'BLIF', 'BILLBOARD', 'FLIWAS', 'MOBIL-2010', and 'HNI' with short descriptions. The 'DIENSTLEISTUNGEN' section lists 'Softwareentwicklung', 'Beratung', 'Support', and 'Schulung'.

Quelle: Auszug Internetseite www.leiner-wolff.de

Ingenieurbüro Nujic

Aquasoli ist bereits Vertriebspartner vom Ingenieurbüro Nujic, das die Lizenzrechte an der Software HYDRO_AS-2D hält und die Programmentwicklungen durchführt. Für einen optimalen Einsatz von HYDRO_AS-2D im Hochwassermanagement sind folgende Weiterentwicklungen angedacht:

- Implementierung von räumlich diskretisierten Niederschlags-Abflussmodellen.
- Anpassung von HYDRO_AS-2D als operationelles Abflussmodell für Echtzeitberechnungen.

Deutscher Wetterdienst

Während der Projektphase fand zwischen dem Deutschen Wetterdienst und aquasoli ein informeller Austausch bzgl. des Einsatzes von FeWIS zur Einschätzung von Niederschlagsextremereignissen in kleinen Einzugsgebieten und der damit verbundenen Hochwassergefährdung statt. Nach derzeitigem Informationsstand ist das Informationssystem FeWIS zur Prognose und Beurteilung von Hochwassergefährdung noch nicht geeignet. Aquasoli wird mit dem Deutschen Wetterdienst im Kontakt bleiben und die Weiterentwicklungen im Bereich der Extremniederschlagsvorhersage für kleine Einzugsgebiete beobachten.

Fewis - das effektive Warnmanagement

Das ist die Aufgabe und das Ziel des Warnmanagementsystem FeWIS, das der DWD in einem Pilotprojekt mit der Berliner Feuerwehr praktisch erprobt hat. Über FeWIS versorgt der DWD eine geschlossene Benutzergruppe im Internet mit allen erforderlichen Informationen über Wetter und Unwetter.

Mittelpunkt ist hierbei die Warnübersicht, die dem Nutzer einen schnellen und umfassenden Überblick über alle für ihn relevanten Warnungen ermöglicht.

In drei Stufen erfolgt die Darstellung drohender Wettergefahren:

1. **Warnlagebericht**
Dieser wird 24 Stunden vor dem zu erwartenden Wetterereignis verbreitet und sagt aus, dass bestimmte Wettergefahren die Unwetterschwelle erreichen können, ohne auf detaillierte Warnungen für Landkreise einzugehen.
2. **Vorwarnung**
Diese wird 12 - 24 Stunden vor dem zu erwartenden Wetterereignis verbreitet und weist die Kunden rechtzeitig auf bevorstehende Wettergefahren hin, deren Eintreffen als sehr wahrscheinlich bis sicher gilt.
3. **Warnung**
Die konkret formulierte Warnung weist die Kunden rechtzeitig auf bevorstehende Wettergefahren hin, deren Eintreffen als sehr wahrscheinlich bis sicher gilt. Bei FeWIS entscheidet der Kunde selbst, ab welchen Schwellenwerten er informiert werden möchte. Da Wetter regional sehr unterschiedlich ist, gibt der DWD für jeden einzelnen Landkreis in Deutschland Warnungen heraus.

Viele zusätzliche Informationen

FeWIS bietet aber noch weitere Informationen, die es ihnen erleichtern im Notfall die richtigen Entscheidungen zu treffen:

- Im Bereich Wettersituation können sie anhand von Bildern und Filmen unseres Wetterradars die aktuelle Situation vor Ort genau abschätzen. Der Satellitenfilm verschafft ihnen zusätzlich einen umfassenden Gesamtüberblick. Ergänzend werden nützliche Informationen zu Temperatur, Niederschlag, Windspitzen, Frosteindringtiefe und Schneehöhe uvm. bereitgestellt.
- Im Bereich Vorhersage halten sie regionale Kurzfrist- und Mittelfristvorhersagen immer aktuell.
- FeWIS ermöglicht ihnen auch einen direkten Zugang zu unserem System webKONRAD, sofern sie eingetragener und geschulter Nutzer sind.
- Der Bereich Waldbrandgefahrenindex gibt ihnen einen Überblick über die aktuelle Waldbrandsituation und deren Prognose für die nächsten zwei Tage.
- Bei Notfällen mit Schadstoffausbreitung kann der Deutsche Wetterdienst eine Vorhersage erstellen, die sie in Abstimmung mit unseren beratenden Meteorologen über FeWIS erhalten.
- Natürlich stehen ihnen auch sonst über das System FeWIS unsere Meteorologen vom Dienst für eine Beratungsgespräch zur Verfügung.

Für einen Zugang zu FeWIS benötigen sie nur einen PC mit Internetzugang.
Im derzeitigen Ausbaustadium ist FeWIS für Leitstellen und Berufsfeuerwehren gedacht.

Weitere Informationen erhalten sie über fewis@dwd.de oder unsere [Vertriebsstellen](#).





Quelle: Auszug Internetseite www.dwd.de

Weitere Innovationen sind von aquasoli angedacht:

- Einbindung des Pegelsystems, verwaltet durch die bayerische Wasserwirtschaftsverwaltung, in FLIWAS einschl. einer automatisierten Abfrage der Flusswasserstände
- Koppelung von Stadtentwässerungsmodellen mit HYDRO_AS-2D

LISTE DER ERFOLGTEN VERÖFFENTLICHUNGEN

Unterreitmeier, B., Kollmann, L. (2011) Präsentation des EvaSim Projektes auf der Messe acqua alta in Hamburg vom 11.10.-13.10.2011

Unterreitmeier, B., Kollmann, L. (2011) Vorstellung des EvaSim Projektes im Open Space – Ausstellerforum auf der Messe acqua alta in Hamburg am 13.10.2011

Unterreitmeier, B., Kollmann, L. (2012) Präsentation des EvaSim Projektes auf der Messe acqua alta alpina in Salzburg vom 08.03 - 10.03.2012

Unterreitmeier, B., Elsner, T., Kollmann, L. (2012) Projektvorstellung im Fachmagazin CP – Crisis Prevention. Ausgabe 03/12

Unterreitmeier, B., Kollmann, L. (2012) Präsentation des EvaSim Projektes vor Vertretern des Landratsamt BGL, der Stadt Bad Reichenhall, sowie der Kreisbrandinspektion in Bad Reichenhall am 09.07.2012

Unterreitmeier, B., Kollmann, L. (2012) Präsentation und Abstimmung der Ergebnisse zur Hochwasser- und Katastrophenschutzplanung vor Vertretern des Landratsamt BGL, sowie des Ordnungs- und Tiefbauamtes der Stadt Bad Reichenhall in Bad Reichenhall am 13.09.2012

Unterreitmeier, B., (2012) Präsentation des EvaSim Projektes auf der Messe Intergeo in Hannover vom 09.10 - 11.10.2012

Unterreitmeier, B., Elsner, T., Kollmann, L. (2013) Veröffentlichung Fachbeitrag zum Verbundprojekt EvaSim. Jahrbuch Gewässer-Nachbarschaften 2013, Schulungen und Erfahrungsaustausch, naturnahe Gewässerunterhaltung, präventiver Hochwasserschutz. DWA-Landesverband Sachsen/Thüringen. März 2013.
ISBN 978-3-942964-75-3

Abkürzungsverzeichnis

WSP _{krit}	kritischer Wasserspiegel, beginnende Überflutung der Straße [müNN]
WSP	maßgebender Wasserspiegel [müNN]
S	Sicherheitsabstand [m]
h	Fließtiefe [m]
v	Fließgeschwindigkeit [m/s]
E	Energiehöhe der Strömung $E = h + \frac{ \vec{v} ^2}{2g}$
q	spezifischer Abfluss, $q = h \vec{v} $
T	Jährlichkeit/ Wiederkehrintervall [a]

Literaturverzeichnis

ELLA 2000-2006. [Online] ELLA 2000-2006. [Zitat vom: 01. 04 2013.] <http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=34360>.

Aspekte der Risikoanalyse für Stauanlagen am Beispiel der Rurtalsperre. **Huber, N. P., Niemeyer, M., Köngeter, J. & Polczyk, H. 2004.** Weimar : s.n., 2004. 13. Deutsches Talsperrensymposium.

Bernhardt, Marco, Ernsberger, Jörg und Feuchtgruber, Josef. 2008. *Leben mit dem Fluss. Hochwasser im Spiegel der Zeit.* Augsburg : Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2008.

Black, R. D. 1975. *Flood proofing rural residences - A Project Agnes Report.* Washington D.C. : US Department of Commerce, Economic Development Administration, 1975. EDA 77-088.

Broich, Karl. 2010. Personengefährdung durch strömendes Wasser. *DWA Korrespondenz Wasserwirtschaft.* 2010, Heft Nr. 10.

Clausen, L. und Clark, P.B. *The development of criteria for predicting dambreak flood damages using modelling historical dam failures.* International Conference on river flood hydraulics Wallingford : John Wiley Sons Ltd.

DIN 19700. 2004. Stauanlagen. s.l. : Normungsausschuss Wasserwesen im Deutschen Institut für Normung, 2004.

Duclos, L., Sanderson, F. E., Thompson, B., Bracklin & Binder, S. 1987. Community Evacuation Following a Chlorine Release, Mississippi. *Disasters, Vol. 11, No 4.* 1987.

Egli, T. 2004. *Entscheidungshilfe Mobiler Hochwasserschutz: Systeme für den Notfall.* Bern : Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, 2004.

Ellinger, Michael. 2012. *Reduzierung von Hochwasserrisiken durch den Einsatz mobiler Schutzsysteme, Bachelor's Thesis.* München : Technische Universität München, Fachgebiet Risikoanalyse, 2012.

Fink, Thomas. 1997. Parameteranalyse zur rechnergestützten Modellierung von Flutwelle, Räumungsverkehr und Personenschaden. s.l. : Diplomarbeit, Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, 1997.

Franke, Peter und Frey, Wolfgang. 1987. *Talsperren in der Bundesrepublik Deutschland.* Berlin : Nationales Komitee für Grosse Talsperren in der Bundesrepublik Deutschland (DNK) und Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK). Systemdruck-GmbH, 1987. ISBN 3-926520-00-0.

Giesecke, J. 2002. Gutachten für die vertiefte Sicherheitsüberprüfung der Nagoldtalsperre. s.l. : Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, 2002.

- HUT. 2000.** *RESCDAM - The use of physical models in dam-break flood analysis.* s.l. : Helsinki University of Technology, 2000.
- International methods of risk analysis, damage evaluation and social impact studies concerning dam-break accidents.* **Reiter, P. 2000.** Seinäjoki, Finnland. : s.n., 2000. International seminar on the RESCDAM project.
- Keys, H. J. R. 2007.** Lahars from Mount Ruapehu – mitigation and management. s.l. : Department of Conservation, Turangi, New-Zealand, 2007.
- Kuhn, Rainer und Alcantara, Sophia. 2013.** *EvaSim - Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen - Abschlussbericht.* 2013.
- Lotz, Jörg und Metzler, Markus. 2004.** *Die Roten Hefte Nr. 82 Hochwassereinsatz.* s.l. : Kohlhammer, 2004. ISBN-10: 9783170182820.
- Majjala, Timo, Huokuna, Mikko und Honkakunnas, Tomi. 2001.** *RESCDAM - Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis - Final Report.* Helsinki, Finnland : s.n., 2001.
- Matsim. 2012.** Überflutung von Padang, Indonesien. 2012.
- Medis. 2005.** Rimax Medis Workshop "Erfassung von Hochwasserschäden". Dresden : s.n., 2005.
- Merkblatt. 2012.** Sturmflut - Hinweise für die Bevölkerung. s.l. : Behörde für Inneres und Sport, Katastrophen und Bevölkerungsschutz, 2012.
- Perry, R. W. 1985.** Comprehensive Emergency Management: Evacuating Threatened Populations. *Contemporary Studies in Applied Behavioral Science, Vol. 3.* 1985.
- Sametz, L. 1981.** Beitrag zur Frage der Flutwellenbildung bei progressiven Dambrüchen infolge Überströmung. s.l. : Dissertation, Technische Universität Graz, Fakultät für Bauingenieurwesen, 1981.
- Schreckenberger, M., Sharma, S. D. 2002.** Pedestrian and Evacuation Dynamics. *Springer, Berlin.* 2002.
- Schultze, Albrecht. 2008.** *FLIWAS-LE, Landesweite Einführung des Flut- Informations- und -Warnsystems in Baden-Württemberg.* Stuttgart : s.n., 2008.
- Sorensen, J. H., Vogt, M. B. und Mileti, D. S. 1987.** Warning and Evacuation Dynamics. *Springer Berlin.* 1987.
- Stadt Bad Reichenhall. 2007.** *Katastrophenschutz-Sonderplan: Vermeidung und Bewältigung von Hochwasserereignissen.* Bad Reichenhall : s.n., 2007.
- Stedje, G., Landry, M. & Aboelata, M. 2006.** *Estimating Loss of Life from Hurricane-Related Flooding in the Greater New Orleans Area.* Alexandria, VA, USA : Report for U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, 2006.

Transportation model for evacuation in estimating dam failure life loss. **Aboelata, M., Bowles, D. S., & Chen, A. 2004.** Melbourne, Victoria, Australia : s.n., 2004. Proceedings of the Australian Committee on Large Dams Conference.

UMBW. 2006. *In 5 Schritten zum Hochwasseralarm- und Einsatzplan – Eine Orientierungshilfe für die Erstellung, Ergänzung und Aktualisierung von kommunalen Hochwasseralarm- und Einsatzplänen.* s.l.: WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg., 2006.

Umweltministerium Baden-Württemberg. 2006. *In 5 Schritten zum Hochwasseralarm- und Einsatzplan.* Heidelberg: Herausgegeben von der WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg, 2006.

Wieprecht, Silke. 2009. *Vorhabensbeschreibung - EvaSim - Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen.* 2009.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Gekoppelte Verkehrs- und Hydrauliksimulation zur Steuerung von Verkehr bei Evakuierungsmaßnahmen - Verbundschlussbericht Teilberichte Arbeitspaket 3 und 7	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Unterreitmeier, Bernhard Kollmann, Lars Elsner, Thomas	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.10.2012
	6. Veröffentlichungsdatum 14.10.2013
	7. Form der Publikation Bericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) aquasoli Ingenieurbüro Inh. B. Unterreitmeier Haslacher Straße 14 D-83278 Traunstein	9. Ber. Nr. Durchführende Institution 08029-02
	10. Förderkennzeichen 13N10596
	11. Seitenzahl 100
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 32
	14. Tabellen 12
	15. Abbildungen 44
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)?	
18. Kurzfassung Nach Kurzdarstellung des Verbundvorhabens EVASIM werden als Teil des Abschlussberichts die Arbeiten in den Paketen 3 „Hydraulische Simulation“ und 7 „Katastrophenschutzplanung“ dargestellt. Die hydraulische Simulation beinhaltet die Erstellung und den Betrieb eines zweidimensionalen Abflussmodells für das Projektgebiet Bad Reichenhall. Mit diesem Modell wurde die Überflutungssituation bei Katastrophenszenarien ermittelt. Mit neu entwickelten Schnittstellen wurden die Ergebnisse der Abflusssimulation auf die Infrastruktur (Verkehrswege und Gebäude) übertragen und deren Gefährdung ermittelt. Die aus den Simulationen des Hochwasserabflusses und der Verkehrssituation resultierenden Ergebnisse werden durch GIS gestützt Analysewerkzeuge interpretiert und als Basisinformation für Einsatztaktik und Ressourcenplanung verwendet. So konnten nach eingehender Gefährdungsanalyse von hydraulisch belasteten Objekten und Infrastruktureinrichtungen Angaben zur Art und Umfang von Hochwasserschutzmaßnahmen und erforderlichen Evakuierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des Befahrbarkeitsstatus von Verkehrswegen gemacht werden. Die Handlungsempfehlungen und Maßnahmenkataloge wurden in Rahmen von Hochwassereinsatz-, bzw. Katastropheneinsatzplänen ausgearbeitet und in ein EDV gestütztes Managementsystem eingepflegt.	
19. Schlagwörter Katastrophenschutz, Abflusssimulation, Überflutungsszenarien, Befahrbarkeitsstatus, Sicherheitsabstand, Katastrophenmanagement, Gefährdungsanalyse, Evakuierungsbedarf	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title EvaSim – Integration of Traffic and Hydrodynamic Modelling for Evacuation Plans due to Flooding Hazard	
4. author(s) (family name, first name(s)) Unterreitmeier, Bernhard Kollmann, Lars Elsner, Thomas	5. end of project 31.10.2012
	6. publication date 14.10.2013
	7. form of publication Report
8. performing organization(s) (name, address) aquasoli Ingenieurbüro Inh. B. Unterreitmeier Haslacher Straße 14 D-83278 Traunstein	9. originator's report no. 08029-02
	10. reference no. 13N10596
	11. no. of pages 100
12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry of Education and Research 53170 Bonn	13. no. of references 32
	14. no. of tables 12
	15. no. of figures 44
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract Following a brief outline of the joint project EvaSim, the materials in Packages 3 "Hydraulic Simulation" and 7 "Disaster Control Planning" are presented as part of the final report. The hydraulic simulation involves the creation and operation of a two-dimensional flow model for the project area Bad Reichenhall. With this model, the flooding situation in disaster scenarios was determined. With newly-developed interfaces, the findings of the runoff simulation were applied to the infrastructure (traffic routes and buildings) and their exposure hazard identified. The results from the simulations of the flood runoff and traffic situation were interpreted by GIS-supported analysis tools and utilized as basic information for operational tactics and resource planning. Thus, after a thorough risk analysis of hydraulically-loaded objects and infrastructure facilities, specifications could be given as to the nature and extent of flood control measures and necessary evacuation procedures taking into account the trafficability of transport routes. The recommendations and catalogue of countermeasures were developed in the context of flood and disaster response plans and entered into an EDV-supported management system.	
19. keywords Civil protection, trafficability, evacuation process , hydrolic simulation, Flooding scenarios, hazard analysis	
20. publisher	21. price