

Schlussbericht Teil I – Kurzbericht

ZE:

BIT Ingenieure AG – Standort Freiburg

Förderkennzeichen:

02WEE1629G

Vorhabensbezeichnung:

WaX – Verbundprojekt AVOSS: Auswirkungsbasierte Vorhersage von Starkregen und Sturzfluten auf verschiedenen Skalen: Potentiale, Unsicherheiten und Grenzen, Teilprojekt 5

Laufzeit des Vorhabens:

01.04.2022 – 30.04.2025, verlängert bis 30.09.2025

Berichtszeitraum:

01.04.2022 – 30.09.2025

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Thomas Brendt

Talstraße 1

79102 Freiburg

Verbundpartner:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie (HyFR)

Leibniz Universität Hannover, Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik (ISU)

Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

AtmoScience GmbH, Gießen (ATMO)

BIT Ingenieure AG, Freiburg (BIT)

HYDRON GmbH, Karlsruhe (HYDRON)

Forschungszentrum Jülich GmbH, Agrosphere – IBG-3 (FZJ)

Assoziierte Praxispartner:

LUBW, Referat 43 Hydrologie und Hochwasservorhersage, Karlsruhe

RP Stuttgart Referat 53.2

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, Mainz

HLNUG, Hessen Dezernat I1 und Dezernat W3

Landratsamt Rastatt, Geschäftsstelle Starkregenrisikomanagement

Verschiedene Pilotgemeinden

Mitarbeiter BIT Ingenieure:

Thomas Brendt

Bettina Huth

Nena Griessinger

Nico Binder

Inhaltsverzeichnis Teil I

1	Teil I – Kurzbericht.....	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	2
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	2
1.3.1	Förderantrag, Zuwendung und Organisation	2
1.3.2	Meetings, Konferenzen, Veranstaltungen.....	2
1.3.3	Arbeitsablauf und -organisation.....	3
1.4	Wissenschaftlicher und technischer Stand	4
1.4.1	Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte	4
1.4.2	Verwendete Fachliteratur und Informationen.....	4
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	4

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Übersicht über die zeitliche Bearbeitung der verschiedenen Arbeitspakete	3
---	---

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Übersicht über Verbundtreffen und Veranstaltungen	3
--	---

1 Teil I – Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Projekts war die Verbesserung der Frühwarnung vor den aus Starkregenereignissen entstehenden Sturzflutgefahren und potenziell resultierenden Schäden auf verschiedenen räumlichen Skalen. Dafür wurde sichergestellt, dass in alle Teilbereiche des Vorhabens Praxisakteure in das Projekt mit einbezogen wurden. Teilziele des Vorhabens waren:

1. Berechnung von Bemessungsstarkregen und dem pluviellen Starkregenindex (SRI) durch die Kombination von Radar- und Stationsdaten auf Bundesebene. Daraus kann eine großflächige Vorhersage des pluviellen Starkregenindex und somit eine anwenderorientierte Einordnung der Ereignisse erfolgen.
2. Hydrologische Modellierung zur Bestimmung des hydrologischen Sturzflutindex (SFI) für Bemessungsereignisse kleiner Einzugsgebiete der ausgewählten Bundesländer. Daraus wird die Übersetzung einer SRI-Vorhersage in den SFI möglich – also die Berücksichtigung der hydrologischen Gegebenheiten (z.B. Vorfeuchte) bei der Bewertung des Überflutungspotentials und nicht nur des Niederschlags wie bislang. Der SFI kann mit der Radarvorhersage zu einer Sturzflutwarnung kombiniert werden.
3. Entwicklung und Test eines Verfahrens, um auf der Grundlage von Radarvorhersagen mit neuronalen Netzen und vereinfachten Akkumulationsverfahren und unter Hinzunahme von Bodenfeuchte-daten Szenarien von Starkregengefahrenkarten (SRGK) für ausgewählte, stark betroffene Pilotgemeinden abzuleiten. Daraus können online und mit kurzer Berechnungszeit (Echtzeit) kontinuierliche und räumlich hochaufgelöste Vorhersagen zum Abflussgeschehen erfolgen, inklusive der Bezifferung von Unsicherheiten.
4. Erstellung eines probabilistischen Schadensmodells für Sturzfluten und Entwicklung von Risikokarten bei Starkregen- und Sturzflutereignissen für die entsprechende Risikokommunikation in ausgewählten Pilotgemeinden. Dadurch kann nicht nur Überflutungsvorhersage, sondern auch Schadensvorhersage geleistet werden.

Das Projekt konnte somit den folgenden drei Themenfeldern zugeordnet werden, die im Förderprogramm explizit aufgeführt waren:

- Digitale Instrumente für Monitoring, Analyse, Vorhersage und Kommunikation
- Urbane extreme Wasserereignisse
- Risikomanagement gegensätzlicher hydrologischer Extreme

Konkrete Arbeitsschritte der Mitarbeitenden der BIT waren die Unterstützung beim Trainieren und Validieren der im Rahmen des Projekts entwickelten neuronalen Netze sowie der Vergleich der unterschiedlichen hydraulischen Modelle. Des Weiteren wurde allen Verbundpartnern sowohl durch inhaltliche/fachliche Abstimmungen und Rückmeldungen als auch durch die Berechnung, Aufarbeitung und Bereitstellung verschiedenster Geodaten Zuarbeit geleistet (vgl. auch Teil II des Schlussberichts).

Eine weitere Hauptaufgabe der BIT Ingenieure AG bestand darin, Erfahrungen aus dem Ingenieuralltag einfließen zu lassen und pragmatische Denkanstöße zu geben. Ergänzend konnten aus der bereits erfolgten Erstellung mehrerer Starkregenrisikomanagementkonzepte (SRRM) Kontakte zu einzelnen Pilotgemeinden genutzt und vertieft werden.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Für die Bearbeitung des Forschungsprojekts war es besonders wichtig, dass Institutionen und Unternehmen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen eingebunden waren. Ergänzt wurde die Arbeit außerdem durch den regelmäßigen Austausch mit den genannten (und weiteren) assoziierten Praxispartnern. Neben universitären Einrichtungen (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie und Leibniz Universität Hannover, Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik) waren die beiden Forschungszentren Helmholtz-Zentrum Potsdam (Deutsches GeoForschungsZentrum) und Forschungszentrum Jülich GmbH (Agrosphere, IBG-3) Teil des Verbundprojekts. Mit der Beteiligung von mittelständischen Unternehmen – den beiden Ingenieurbüros HYDRON GmbH aus Karlsruhe und BIT Ingenieure AG aus Freiburg sowie der Kachelmann GmbH – waren außerdem drei Verbundpartner aus der freien Wirtschaft involviert.

1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.3.1 Förderantrag, Zuwendung und Organisation

Der Antrag auf Förderung des Vorhabens „Auswirkungsbasierte Vorhersage von Starkregen und Sturzfluten auf verschiedenen Skalen: Potentiale, Unsicherheiten und Grenzen“ wurde im Mai 2021 eingereicht. Innerhalb des Dachantrags war der Teilantrag von BIT Ingenieure AG enthalten. Mit Datum vom 07.02.2022 wurde die Zuwendung seitens des BMBF / PTKA bestätigt. Die Koordinierung des Verbundantrags sowie des Gesamtprojekts erfolgte durch die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie. Offizieller Projektstart war im Mai 2022. Die Laufzeit des Projekts war ursprünglich auf drei Jahre bis zum 31.03.2025 ausgelegt und wurde mit dem Änderungsbescheid vom 16.11.2024 bis zum 30.09.2025 verlängert. Grund für die benötigte kostenneutrale Verlängerung war die Nichterreichung bzw. unzureichende Erreichung verschiedener Ziele. Diesem Antrag wurde seitens des PTKA stattgegeben.

1.3.2 Meetings, Konferenzen, Veranstaltungen

Im Projektverlauf gab es zahlreiche Veranstaltungen und Projekttreffen. Neben den Verbundtreffen „in Präsenz“, die abwechselnd in den Städten der beteiligten Verbundpartner erfolgten, fanden auch offizielle Veranstaltungen der Fördermaßnahme WaX statt. Darüber hinaus haben Mitarbeitende der BIT am Querschnittsthema „Risikokommunikation“ und an Workshops im Rahmen der Entwicklung des Sturzflutenindex SFI teilgenommen. Neben den genannten Veranstaltungen, die nachfolgend chronologisch aufgeführt sind, fanden im Rahmen des Forschungsvorhabens regelmäßige JourFixe-Termine online (alle drei Monate) sowie auch kleinere Treffen in den unterschiedlichsten Konstellationen auf Arbeitsebene statt, die hier nicht einzeln aufgeführt werden.

Tabelle 1.1: Übersicht über Verbundtreffen und Veranstaltungen

Datum	Veranstaltung	Ort
04./05. Mai 2022	KickOff Verbundtreffen	Freiburg
10./11. Februar 2023	Verbundtreffen	Hannover
12. Juli 2023	SFI Workshop	Karlsruhe
20./21. September 2023	WaX Statusseminar	Potsdam
11. März 2024	WaX Workshop Risikokommunikation	online
25./26. April 2024	Verbundtreffen	Jülich
22. Juli 2024	Workshop mit den Praxispartnern	online
12./13. März 2025	WaX Abschlusskonferenz	Berlin
01./02. Juli 2025	Abschlussveranstaltung Verbundtreffen	Freiburg

1.3.3 Arbeitsablauf und -organisation

Das Verbundprojekt war in verschiedene Arbeitspakete unterteilt. Die Bearbeitung erfolgte entsprechend der sich im Projektverlauf ergebenden Erfordernis. Aufgrund der Abhängigkeiten zu den Arbeiten anderer war keine kontinuierliche Bearbeitung möglich, sie orientierte sich aber größtenteils am vorgegebenen Zeitplan. Bezüglich des Berichtswesens und der Abrechnung wurden strikt die vorgegebenen Termine eingehalten. Der sich dabei ergebende organisatorische Teil der Arbeiten wies dabei einen relativ großen Anteil auf. Die nachfolgende Abbildung zeigt die zeitliche Bearbeitung der verschiedenen Arbeitspakete. Dabei ist die Projektverlängerung um drei Monate bereits berücksichtigt.

TP5: BIT				Zeit und Meilensteinplanung											
AP		Arbeitsschritt		2022			2023			2024			2025		
AP	AS	Thema	Leitung, Verantwortlich	Meilenstein	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	
C Lokale Bemessung und Vorhersage															
C1		Ermittlung der Starkregengefahrenkarten (SRGK)	BIT												
	C1.1	2-D hydraulische Modellierung in ausgewählten Untersuchungsgebieten mit Hydro_AS-2D und Hystem-Extran-2D	BIT	M.C1a										X	
	C1.3	Erarbeitung von Benchmarkdatensätzen für historische Ereignisse und Validierung der SRGK	ISU, FZJ, BIT, HyFR	M.C1c										X	
D Schadensmodelle, schadensbasierte Vorhersage und Risikokommunikation															
D2		Risikokarten zur Unterstützung einer effektiven Risikokommunikation	GFZ												
	D2.2	Erstellung von Risikokarten für die Testgebiete	BIT, GFZ	M.D2b										X	

Abbildung 1.1: Übersicht über die zeitliche Bearbeitung der verschiedenen Arbeitspakete

Die Koordinierung des Verbunds erfolgte zentral über die Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie. Die einzelnen Arbeitspakete bzw. Unterarbeitspakete wurden durch die jeweiligen Leitungen organisiert (siehe Übersicht). Bei den regelmäßigen Verbundtreffen wurden die weiteren Verbundpartner über den Stand der Arbeiten informiert und es fand ein entsprechender Abgleich statt. Anschließend wurden die nächsten Schritte sowie die Terminketten festgelegt. Um allen Beteiligten einen gemeinsamen Datenzugriff zu gewährleisten, wurde durch das Land Baden-Württemberg auf den Servern des KIT in Karlsruhe eine Austauschplattform zur Verfügung gestellt (bwSync&Share). Als Ergänzung konnten größere Daten-

pakete auch über eine seitens der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie, bereitgestellte Server-Plattform ausgetauscht werden.

1.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Aufgrund der immer häufiger auftretenden Starkregenereignisse in Deutschland und Europa und den damit verbundenen großen Schäden entstand in den letzten zehn Jahren in Deutschland ein Konsens zur Notwendigkeit eines Starkregenrisikomanagementkonzepts (SRRM) für die Kommunen. Seither wurden Studien und Arbeitshilfen publiziert und in den meisten Bundesländern Leitfäden zur Erstellung von Starkregenhinweis- bzw. -gefahrenkarten (SRGK) und SRRM-Konzepten aufgestellt. In Bezug auf die Kurzfristvorhersage der direkten Auswirkungen von Starkregenereignissen für betroffene Kommunen besteht jedoch noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Im Verbundprojekt AVOSS sollten diese Ansätze erweitert und es sollte ein Echtzeit-Vorhersage- und Vorwarnmodell entwickelt werden. Das Vorhaben zielte darauf, aus Radar-Vorhersagedaten von Starkregenereignissen in Echtzeit zunächst die durch Sturzfluten gefährdeten Flächen zu identifizieren, daraus potenzielle Schäden für einzelne Ortslagen abzuleiten und ein auswirkungsbasiertes Warnsystem aufzubauen.

1.4.1 Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte

Es sind keine vorhandenen Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte betroffen. Teilweise wurden lizenzierte Softwareprodukte eingesetzt, die im Ingenieuralltag verwendet werden und an den entsprechenden Stellen namentlich aufgeführt sind.

1.4.2 Verwendete Fachliteratur und Informationen

Während der Projektbearbeitung wurde eine Vielzahl an Fachliteratur, Regelwerken, Veröffentlichungen usw. gesichtet. Diese sind bei entsprechender Relevanz in den Berichten, Veröffentlichungen, Leitfäden aufgeführt.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Bearbeitung der einzelnen Arbeitspakete erfolgte ausschließlich mit eigenem Personal. Es erfolgte eine sehr enge Zusammenarbeit mit den Verbundpartnern und vereinzelt Zusammenarbeit mit den assoziierten Projektpartnern. Weitere Stellen wurden nicht eingebunden.

Aufgestellt: Dipl.-Hyd. Bettina Huth
Freiburg, 23.03.2026

BIT Ingenieure AG
Talstraße 1
79102 Freiburg

Schlussbericht Teil II – Darstellung des Projekts

ZE:

BIT Ingenieure AG – Standort Freiburg

Förderkennzeichen:

02WEE1629G

Vorhabensbezeichnung:

WaX – Verbundprojekt AVOSS: Auswirkungsbasierte Vorhersage von Starkregen und Sturzfluten auf verschiedenen Skalen: Potentiale, Unsicherheiten und Grenzen, Teilprojekt 5

Laufzeit des Vorhabens:

01.04.2022 – 30.04.2025, verlängert bis 30.09.2025

Berichtszeitraum:

01.04.2022 – 30.09.2025

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Thomas Brendt

Talstraße 1

79102 Freiburg

Verbundpartner:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Hydrologie (HyFR)

Leibniz Universität Hannover, Institut für Strömungsmechanik und Umweltphysik (ISU)

Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)

AtmoScience GmbH, Gießen (ATMO)

BIT Ingenieure AG, Freiburg (BIT)

HYDRON GmbH, Karlsruhe (HYDRON)

Forschungszentrum Jülich GmbH, Agrosphere – IBG-3 (FZJ)

Assoziierte Praxispartner:

LUBW, Referat 43 Hydrologie und Hochwasservorhersage, Karlsruhe

RP Stuttgart Referat 53.2

Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz, Mainz

HLNUG, Hessen Dezernat I1 und Dezernat W3

Landratsamt Rastatt, Geschäftsstelle Starkregenrisikomanagement

Verschiedene Pilotgemeinden

Mitarbeiter BIT Ingenieure:

Thomas Brendt

Bettina Huth

Nena Griessinger

Nico Binder

Inhaltsverzeichnis Teil II

2	Teil II – Darstellung des Projekts	1
2.1	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen	1
2.1.1	Zuarbeiten in Arbeitspaket B2.....	1
2.1.2	Arbeiten in Arbeitspaket C1.1	3
2.1.3	Arbeiten in Arbeitspaket C1.3	4
2.1.4	Zuarbeiten in Arbeitspaket C2.....	9
2.1.5	Arbeiten in Arbeitspaket D2	9
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	9
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	9
2.4	Nutzung und Verwertung erzielter Ergebnisse.....	10
2.5	Fortschritte bei anderen Stellen	10
2.6	Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse	10

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Sensitivitätsanalyse des 2D-Modells Karlsbad (hier beispielhaft: Variation des Rauigkeitsbeiwerts der Landwirtschaft).....	3
Abbildung 2.2:	Ablaufschema des Antrainierens einer anschließend möglichen LIVE-Vorhersage von Überflutungstiefen in AVOSS	4
Abbildung 2.4:	Einarbeitung der Fotos und Informationen in die Benchmarkdatenbank am Beispiel Emmendingen-Mundingen	7
Abbildung 2.5:	Abgleich der Fotodokumentation aus der Benchmarkdatenbank mit den Berechnungsergebnissen am Weißbach	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Zusammenstellung der durchgeführten HydroAS-Berechnungen für AP B2 (Auszug).....	2
Tabelle 2.1:	Zusammenstellung der durchgeführten Berechnungen im HydroZwilling Rheinland-Pfalz	3
Tabelle 2.2:	Zusammenstellung der durchgeführten HydroAS-Berechnungen für AP C1.3	5

2 Teil II – Darstellung des Projekts

2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen

Gemäß Dachantrag war das Büro in den Arbeitspaketen C1 sowie D2 involviert. Darüber hinaus waren über die gesamte Laufzeit des Projekts umfassende und teils zeitintensive Zuarbeiten für die Projektpartner in anderen Arbeitspaketen (AP) erforderlich, zum Beispiel in AP B2. Diese umfassten zum einen die Aufbereitung und Bereitstellung verschiedenster Geo- und Modelldaten, zum anderen HydroAS-Berechnungen mit den 2D-Modellen der verschiedenen Testgebiete. Der Schwerpunkt der Arbeiten lag insgesamt auf der hydrodynamischen Modellierung mit der Software HydroAS der Firma Hydrotec. In den folgenden Testgebieten (und jeweiligen Teilmodellgebieten) wurden 2D-Berechnungen durchgeführt (s. Tabelle 2.1 u. Tabelle 2.3):

- HydroAS-Berechnungen mit bestehenden Modellen aus den SRRM-Konzepten:
 - Bonndorf (BW): Wutach, Steina, Ehrenbach
 - Emmendingen (BW): Nord, Süd
 - Bretten (Riedgraben, BW): Gesamt
 - Karlsbad (bereitgestellt durch Fa. Wald+Corbe, BW): West, Gesamt
 - Hexental (BW): West
- HydroAS-Berechnungen nach manueller Aufbereitung der Modelle für schnellere Berechnung:
 - Bonndorf (BW): Wutach
 - Emmendingen (BW): Nord
 - Karlsbad (BW): West
- HydroAS-Berechnungen mit neu erstelltem Modell:
 - Herrstein-Rhaunen (RLP)

Abweichend vom ursprünglichen Projektantrag wurde auf die Verwendung eines zweiten hydraulischen Modells (Hystem-EXTRAN 2D) verzichtet. Dies wurde gemeinschaftlich mit allen in AP C.1 involvierten Projektpartnern entschieden, da in dem dadurch entstehenden Mehraufwand keine Vorteile für die Ergebnisse des Forschungsvorhabens gesehen wurden. Vielmehr konnte die dadurch eingesparte Zeit für vertiefte Arbeiten basierend auf den bestehenden HydroAS-Modellen eingesetzt werden (siehe auch Kapitel 2.2).

2.1.1 Zuarbeiten in Arbeitspaket B2

Als Eingangsdaten für die Entwicklung des Akkumulationsverfahrens AccRo (vgl. Berichte HyFR) als Teil des Sturzflutenindex SFI sowie für die Validierung des SFI wurden u.a. HydroAS-Berechnungsergebnisse in den folgenden Testgebieten erzeugt, plausibilisiert und aufbereitet:

- Bonndorf
- Emmendingen
- Bretten
- Karlsbad
- Hexental

Hierfür wurden jeweils 60 Rechenläufe der sogenannten „SFI-Matrix“ durchgeführt (vgl. Tabelle 2.1). Die SFI-Matrix beinhaltet Design-Oberflächenabflusskennwerte (OAK), basierend auf unterschiedlichen Vorfeuchtebedingungen sowie verschiedenen Intensitäten (SRI) und Dauerstufen des Niederschlags. Die OAK

als Eingabedaten für die 2D-Modellierung wurden durch die Projektpartner HyFR und Hydron bereitgestellt. Aus den Standardergebnissen der Fließgeschwindigkeiten und Überflutungstiefen wurde der maximale spezifische Abfluss über alle Zeitschritte ermittelt und die Daten wurden in ein für alle Modelle (RIM2D, AccRo etc.) einheitliches Rasterformat überführt.

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der durchgeführten HydroAS-Berechnungen für AP B2 (Auszug)

Kommune	HydroAS-Modell	Berechnungsszenario	N-Daten	OAK
BONNDORF	<i>Wutach (AVOSS-Zuschnitt)</i>			
		SFI-Matrix (gesamt)	Kachelmann	HyFR
	<i>Steina (SRRM)</i>			
		SFI-Matrix (Auswahl)	Kachelmann	HyFR
EMMENDINGEN	<i>Ehrenbach (SRRM)</i>			
		SFI-Matrix (Auswahl)	Kachelmann	HyFR
	<i>Süd (SRRM)</i>			
		SFI-Matrix (gesamt)	Kachelmann	HyFR
		selten, verschlämmt	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM
		außergew., verschl.	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM
		extrem, verschlämmt	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM
	<i>Nord (SRRM)</i>			
	SFI-Matrix (gesamt)	Kachelmann	HyFR	
	selten, verschlämmt	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM	
	außergew., verschl.	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM	
	extrem, verschlämmt	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM	
BRETTEN	<i>Gesamt (Referenz SRRM)</i>			
		außergew., verschl.	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM
		SRI3	Kachelmann	HyFR
		SRI7	Kachelmann	HyFR
	SRI11	Kachelmann	HyFR	
KARLSBAD	<i>West (AVOSS-KNN)</i>			
		SFI-Matrix (gesamt)	Kachelmann	HyFR
HEXENTAL	<i>West (SRRM)</i>			
		SFI-Matrix (gesamt)	Kachelmann	HyFR
		selten, verschlämmt	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM
		außergew., verschl.	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM
	extrem, verschlämmt	SRRM BaWü (HyFr)	SRRM	

Ergänzend wurden im Sommer 2025 für das Testgebiet Herrstein-Rhaunen in Rheinland-Pfalz zahlreiche Rechenläufe mit der dort etablierten Modellsoftware scenarify der Firma VrVis durchgeführt. Hier wurden verschiedene Szenarien mit dem im HydroZwilling standardmäßig hinterlegten KOSTRA-Daten und aus LAR-SIM erzeugten OAK-Daten berechnet. Die Landesverwaltung Rheinland-Pfalz (LfU) stellte dafür einen zeitlich begrenzten Zugang zum HydroZwilling zur Verfügung.

Dieser Modellvergleich diente vorrangig einer Abstimmung mit dem Praxispartner LfU Rheinland-Pfalz. Ergänzende Details zu den angewendeten Methoden und Modellergebnissen wurden intern dokumentiert, aber nicht veröffentlicht. Folgende Szenarien wurden hier berechnet, die dem Verbundpartner Hydron einen Vergleich der unterschiedlichen hydrologischen Eingabedaten ermöglichten:

Tabelle 2.2: Zusammenstellung der durchgeführten Berechnungen im HydroZwilling Rheinland-Pfalz

Einstellungen scenarify	N Input			
	Quelle	D = 60 Min SRI 7	D = 60 Min SRI 10	D = 240 Min SRI 10
Standardeinstellungen zu Interzeption und Infiltration	KOSTRA 2020	X	X	X
	Blockregen 100mm/h			
Infiltration nach Green-Amp-Verfahren	KOSTRA 2020	X		
Ohne Interzeption und Infiltration	LARSIM OAK	X	X	X
	KOSTRA 2020		X	
	Blockregen 100mm/h			

2.1.2 Arbeiten in Arbeitspaket C1.1

Neben den grundlegenden Abstimmungen mit den Projektpartnern HyFR und ISU in Bezug auf die benötigten Daten(formate), die Möglichkeit des Austausches großer Datenmengen sowie die gemeinsame Auswahl der Testgebiete Emmendingen und Karlsbad erfolgte zunächst die Aufbereitung und Bereitstellung von Grundlagendaten für den Aufbau des neuronalen Netzes und die Erzeugung der OAK-Daten. Anschließend wurden die bestehenden hydrodynamischen 2D-Modelle der Einzugsgebiete der beiden Gebiete in Hinblick auf die Verwendung im Forschungsvorhaben, d.h. vorrangig in Hinblick auf die Verkürzung der Rechenzeiten modifiziert. Insbesondere das 2D-Modell aus dem SRRM Karlsbad erforderte bereichsweise eine starke Reduktion der Knoten- und Elementdichte, um in kurzer Zeit hunderte von Rechenläufen mit HydroAS durchführen zu können. Ergänzend erfolgte für die Abschätzung der Modellunsicherheiten (ISU) im Testgebiet Karlsbad eine (begrenzte) Sensitivitätsanalyse mit Variationen der Modellparameter Amin und CFL sowie der verwendeten Rauigkeitsbeiwerte.

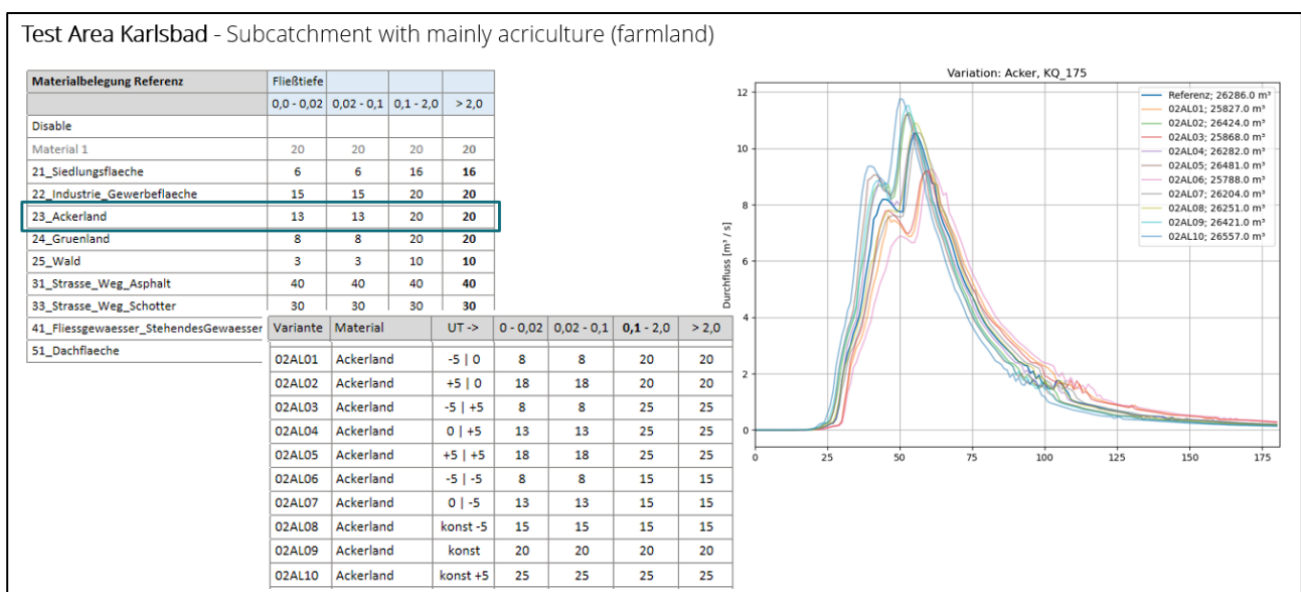


Abbildung 2.1: Sensitivitätsanalyse des 2D-Modells Karlsbad (beispielhaft: Variation des Rauigkeitsbeiwerts der Landwirtschaft)

Als nächstes wurden vielzählige Berechnungsergebnisse mit HydroAS als Eingangsdaten für die beiden neuronalen Netze erzeugt, plausibilisiert und aufbereitet. Dazu wurden verschiedene Tools sowie eine anwenderfreundliche Benutzeroberfläche für eine möglichst zeit- und ressourcenschonende Automatisierung dieser Berechnungen und Validierungen programmiert. Die folgende Abbildung zeigt die Integration der HydroAS-Berechnungen in die potenziell mögliche Erzeugung von LIVE-Vorhersagekarten maximaler Überflutungstiefen.

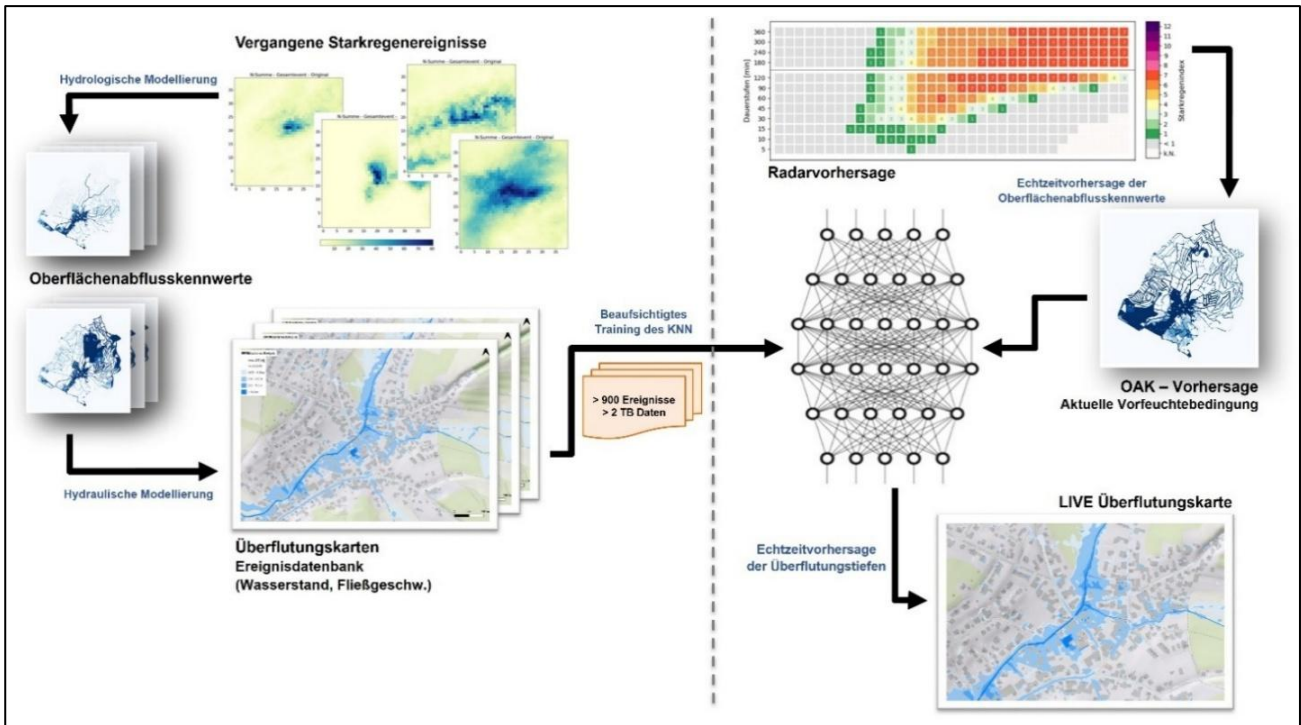


Abbildung 2.2: Ablaufschema des Antrainierens einer anschließend möglichen LIVE-Vorhersage von Überflutungstiefen in AVOSS

In Summe wurden über 900 HydroAS-Berechnungen im Testgebiet Emmendingen und über 400 HydroAS-Berechnungen im Testgebiet Karlsbad durchgeführt, die dem Training sowie der Validierung und Plausibilisierung der neuronalen Netze dienen.

2.1.3 Arbeiten in Arbeitspaket C1.3

Ziel in AP C1.3 war es für die BIT Ingenieure AG u.a., zur Validierung der Modelle einen Abgleich der Dokumentation der abgelaufenen Ereignisse mit den Berechnungsergebnissen aus HydroAS durchzuführen. Grundsätzlich wurde dieser Abgleich für diejenigen Testgebiete aufgestellt, für die bereits 2D-Modelle aus erarbeiteten SRRM vorlagen. Dies waren Emmendingen, Karlsbad und Bonndorf.

Um den Vergleich auch für ein weiteres Testgebiet außerhalb Baden-Württembergs – die Verbandsgemeinde Herrstein-Rhaunen in Rheinland-Pfalz – durchführen zu können, wurde hier ein HydroAS-Modell im 1m-Raster neu aufgebaut. Dieses Modell entspricht in seinen Grundlagendaten und Modellannahmen den für den Aufbau des sogenannten HydroZwillings der Landesverwaltung Rheinland-Pfalz verwendeten Daten. Dadurch war anschließend auch ein Modellvergleich zwischen HydroAS und scenarify der Firma VrVis möglich.

Zusätzlich wurden in AP C1.3 HydroAS-Berechnungen zum Vergleich der anderen im Projekt verwendeten hydraulischen Modelle herangezogen. Dabei wurde jeweils HydroAS aufgrund seiner seit Jahren stattfindenden praktischen Anwendung und der steten Weiterentwicklung insbesondere in Hinblick auf die

Starkregenmodellierung als Referenzmodell („state of the art“) angesehen. Die Ergebnisse sind u.a. in der aktuell erfolgten Veröffentlichung von Leistert, H. et al. (2026) sowie in den Schlussberichten der anderen Verbundpartner zu finden.

In der folgenden Tabelle sind die HydroAS-Berechnungen aufgelistet, die speziell für die Arbeiten in AP C1.3 durchgeführt wurden:

Tabelle 2.3: Zusammenstellung der durchgeführten HydroAS-Berechnungen für AP C1.3

Kommune	HydroAS-Modell	Ereignis/Szenario	N-Daten	OAK
BONNDORF	<i>Wutach (AVOSS-Zuschnitt)</i>			
		14.06.2015	Kachelmann	HyFR
	<i>Steina (SRRM)</i>			
		14.06.2015	Kachelmann	HyFR
	<i>Ehrenbach (SRRM)</i>			
		14.06.2015	Kachelmann	HyFR
	EMMENDINGEN	<i>Süd (AVOSS-KNN)</i>		
		20.07.2014	Kachelmann	HyFR
		30.08.2020	DWD	HyFR
		08.06.2021	Kachelmann	HyFR
		29.06.2021	DWD	HyFR
		<i>Süd (SRRM)</i>		
		20.07.2014	Kachelmann	HyFR
		30.08.2020	DWD	HyFR
		08.06.2021	Kachelmann	HyFR
		29.06.2021	DWD	HyFR
	<i>Nord (SRRM)</i>			
		20.07.2014	Kachelmann	HyFR
		30.08.2020	DWD	HyFR
		08.06.2021	Kachelmann	HyFR
		29.06.2021	DWD	HyFR
	BRETTEN	<i>Gesamt (Referenz)</i>		
		06.06.2015	Kachelmann	HyFR
		SRI3	Kachelmann	HyFR
		SRI7	Kachelmann	HyFR
		SRI11	Kachelmann	HyFR
KARLSBAD	<i>West (AVOSS-KNN)</i>			
		18.06.2021	Kachelmann	HyFR
		29.06.2021	Kachelmann	HyFR
		04.07.2021	Kachelmann	HyFR
	<i>Gesamt (SRRM)</i>			
		18.06.2021	Kachelmann	HyFR
		29.06.2021	Kachelmann	HyFR
		04.07.2021	Kachelmann	HyFR
HERRSTEIN	<i>Gesamt (AVOSS-Masterarbeit)</i>			
		27.05.2018	Kachelmann	Hydron
		SRI7, 1Std.	KOSTRA-DWD-2020	Hydron
		SRI10, 1Std.	KOSTRA-DWD-2020	Hydron
	SRI10, 4Std.	KOSTRA-DWD-2020	Hydron	

Vergleich der hydrodynamischen Modelle HydroAS und scenarify

Im Rahmen des Projekts wurde im Pilotgebiet Herrstein ein Vergleich der hydrodynamischen Modelle HydroAS und scenarify angestrebt. Die dafür notwendige Voraussetzung, beide Berechnungen mit den identischen Eingabedaten (u.a. Niederschlag, DGM, Rauheitswerte, Durchbrüche und Durchlässe) durchzuführen, erwies sich als große Herausforderung, die jedoch unter Zuhilfenahme der Hydrotec-Software MapWork gelöst werden konnte. Entscheidend waren hier zum einen die Möglichkeit der Verwendung der aus LARSIM berechneten Oberflächenabflusskomponenten (OAK) in scenarify, zum anderen die Möglichkeit der Übernahme der im scenarify-Modell vorhandenen Geländeanpassungen (Durchbrüche) und Gewässerdurchlässe in das HydroAS-Modell. Somit konnte eine konsistente Datengrundlage für beide Modellansätze sichergestellt werden. Aufgrund der Verwendung der mit LARSIM berechneten OAK waren die Prozesse zur Ermittlung des Effektivniederschlags (hier: Interzeption, Infiltration) „ausgeschaltet“ und es wurden beide Modelle nur zur Berechnung der Abflusskonzentration und des Strömungsverhaltens verwendet. Mit dem nachträglichen Einbau der Gebäude als „Löcher“ in HydroAS konnte auch das Verhalten der Gebäude als Fließhindernisse vergleichbar abgebildet werden. Dieser Modellvergleich richtete sich ebenfalls insbesondere an den Praxispartner LfU Rheinland-Pfalz, für den die Bewertung der Modellunterschiede von besonderem Interesse war. Ergänzende Details zu den angewendeten Methoden und Modellergebnissen werden in einer internen Dokumentation für das LfU RLP festgehalten, die jedoch nicht veröffentlicht wird.

Aufbau einer Benchmarkdatenbank

Zum Aufbau der Benchmarkdatenbank in AP C1.3 erfolgte durch die BIT die Zusammenstellung von Fotos und Videos sowie die Dokumentation der Beobachtungen in der Datenbank für folgende abgelaufene Starkregenereignisse:

- Emmendingen (BW): 08.06.2021
- Karlsbad (BW): 18.06., 29.06 und 04.07.2021
- Herrstein (RLP): 27.05.2018

Durch die Projektpartner HyFR und ISU wurden weitere Ereignisse in die Benchmarkdatenbank eingepflegt, deren Dokumentation im entsprechenden Schlussbericht des jeweiligen Projektpartners zu finden ist:

- Emmendingen (BW): 20.05.2019, 07.08.2019, 30.08.2020, 08.06.2021, 26.08.2022
- Bretten (Riedgraben, BW): 06.06.2015
- Bonndorf (BW): 14.06.2015
- EZG Wieslauf (BW): 02.06.2024
- Stadtgebiet Freiburg (BW): 24.08.2023

Die Benchmarkdatenbank soll dem Abgleich mit Berechnungsergebnissen aus hydrodynamischen Modellen dienen und somit zur Plausibilisierung herangezogen werden. Außerdem kann sie auch zukünftig sukzessive gefüllt werden, um weitere Starkregenereignisse zu dokumentieren.

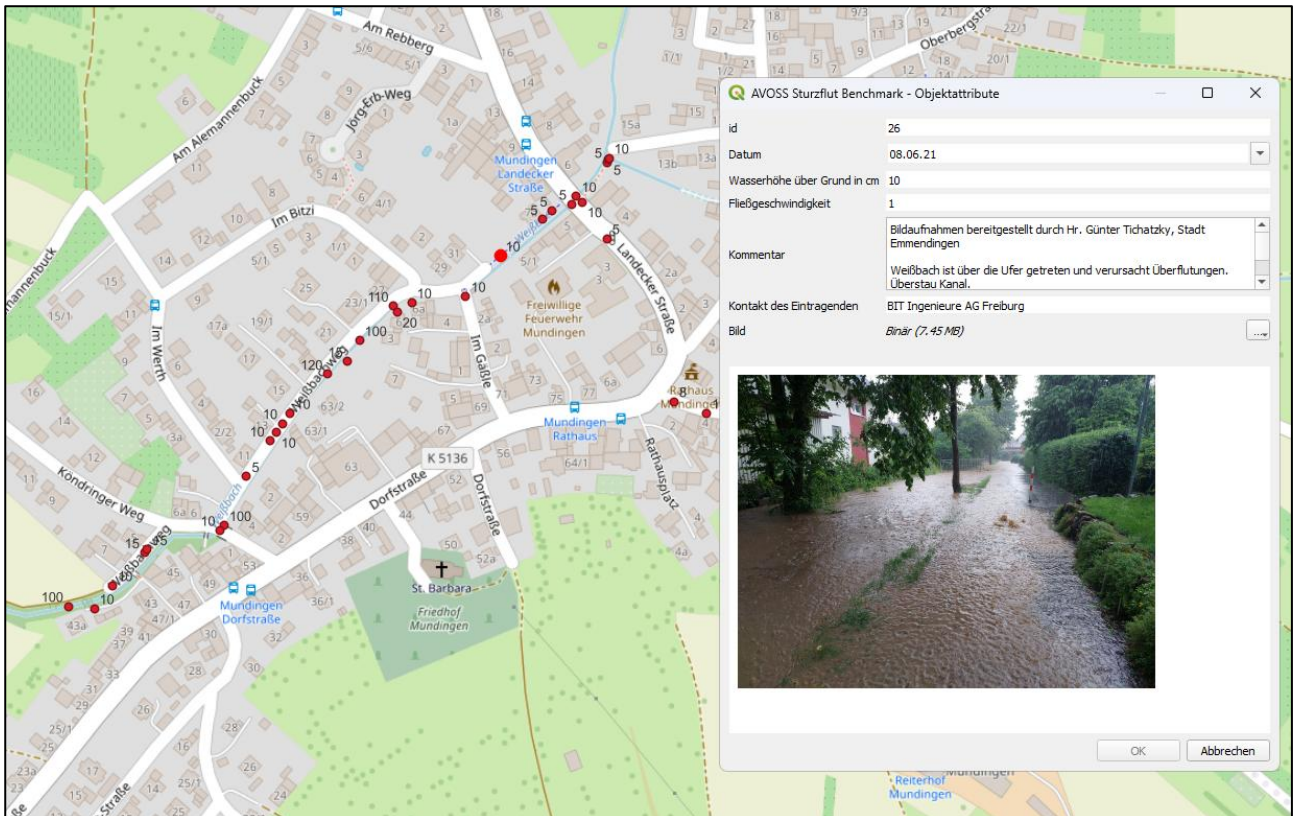


Abbildung 2.3: Einarbeitung der Fotos und Informationen in die Benchmarkdatenbank am Beispiel Emmendingen-Mundingen

Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Beobachtungen aus der Benchmark-Datenbank

Die in der Benchmarkdatenbank gesammelten Beobachtungen setzten sich aus den unterschiedlichsten Quellen und Datenformaten zusammen. So waren Bilder und Videos aus privaten und kommunalen Aufnahmen als auch Markierungen von Feuerwehreinsätzen dabei. In den Daten waren weder gemessene Überflutungstiefen noch während der Ereignisse festgesetzte Hochwassermarken oder Geschwemmsellinien enthalten. Die meisten dieser Daten waren kaum weiter erläutert und/oder nicht verortet. Der Lagebezug, die Dokumentation und auch die Höhe der Überflutungstiefen wurden nachträglich manuell hinzugefügt und hängen stark von der subjektiven Einschätzung des jeweiligen Bearbeiters bzw. der jeweiligen Bearbeiterin ab. Die Abweichungen von den berechneten Überflutungstiefen ließen sich somit nicht verlässlich quantifizieren und eine automatisierte Auswertung der Benchmarkdatensätze war nicht möglich. Ein Abgleich mit den Berechnungsergebnissen erfolgte nur als rein verbal beschreibende Abschätzung, wie hier beispielhaft entlang des Weißbachwegs in Mundingen gezeigt wird (vgl. Abbildung 2.3, Abbildung 2.4).

Von Norden nach Süden zeigt sich entlang des hier betrachteten Abschnitts des Weißbachwegs eine gute Übereinstimmung der Berechnungsergebnisse mit den beobachteten Überflutungen am 08.06.2021 (siehe Abbildung 2.4). Die Nass-Trockengrenze (Anschlaglinie) der Berechnungsergebnisse lässt sich in den Fotos gut bestätigen, zum Beispiel direkt unterhalb der Brücke „Im Bitzi“ (Bild 1). An manchen Stellen werden die maximalen Überflutungstiefen durch die 2D-Berechnungen leicht unterschätzt (siehe Anschlaglinie am Ende Fahrradwegs (Bild 2)). Dies kann u.a. auch daran liegen, dass die Bauwerke im Modell eine höhere Leistungsfähigkeit aufweisen als im Ereignisfall (Bild 3). Ein Verklauungsansatz wurde bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.



Abbildung 2.4: Abgleich der Fotodokumentation aus der Benchmarkdatenbank mit den Berechnungsergebnissen am Weißbach

2.1.4 Zuarbeiten in Arbeitspaket C2

Zur Quantifizierung der Unsicherheiten der neuronalen Netze und für die Veröffentlichung zum AVOSS-Querschnittsthema „Unsicherheiten“ wurden auf Basis einer durch den Projektpartner ISU bereitgestellten Matrix weitere HydroAS-Berechnungen für die beiden Testgebiete Emmendingen und Karlsbad erzeugt und bereitgestellt.

2.1.5 Arbeiten in Arbeitspaket D2

In AP D2.2 erfolgte die Bereitstellung von Modelldaten und eine grundlegende Unterstützung bei der Ermittlung und Zusammenstellung der Grundlagendaten für den Aufbau der Schadenmodelle (GFZ) für die beiden Testgebiete Emmendingen und Bonndorf. Aufgrund der Implementierung der Risikokarten in die Modellkette des SFI-Demonstrators waren keine weiteren Arbeiten in AP D erforderlich. Es erfolgte weder eine Gefährdungsermittlung mit HydroAS (Verwendung der Ergebnisse aus AccRo), noch eine separate Kartendarstellung entsprechend Leitfaden des Landes Baden-Württemberg.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Gegenüberstellung von geplantem und tatsächlichem Gesamtaufwand (einschließlich Bundes- und Eigenanteil) über die Jahre zeigt eine weitgehende Übereinstimmung. Im Verlauf des Projekts zeigte sich dabei zum einen eine leichte inhaltliche Verschiebung der angemeldeten finanziellen Ressourcen, zum anderen wurde einem Antrag auf Mittelumwidmung stattgegeben. Dies hatte verschiedene Gründe:

- Erhöhter Bearbeitungsaufwand bei der Vorbereitung der SRRM-Modelle für die Berechnung der Trainings- und Validierungsdaten für die neuronalen Netze
- Erhöhter Rechenbedarf über einen verlängerten Zeitraum, der zusätzliche Hardware und die Miete von acht HydroAS-Lizenzen notwendig machte; diese wurde nachträglich nochmals verlängert
- Zusätzliche Unterstützung bei der Entwicklung des SFI und weiteren Modellvergleichen mit Berechnungen in HydroAS und scenarify (AP B, u.a. zur Weiterentwicklung von LARSIM zur OAK-Erzeugung (Hydron) sowie zur Entwicklung von AccRo (HyFR)
- Dem entgegengesetzt Wegfall der Einbindung von Hystem-EXTRAN 2D als weiteres hydrodynamisches Modell (AP C) sowie Wegfall der Erzeugung der Risikokarten (AP D)
- Hoher Aufwand für Organisation, Abrechnung, Nachweise

Organisatorische Tätigkeiten wie die Erstellung von Nachweisen beanspruchten einen nicht unerheblichen Anteil der Arbeitszeit. Ebenso stellte die Anfertigung von Berichten für den PTK sowie die projekteigene Dokumentation wichtiger Entwicklungs- und Arbeitsschritte einen wesentlichen Umfang dar.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Ausmaße der Schäden – und auch der Todesfälle – infolge von Überflutungen durch Starkregen hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Effektiver Schutz kann nur erzielt werden, wenn der Krisenstab, die Einsatzkräfte und auch die Bevölkerung rechtzeitig korrekt vor möglichen Überflutungen gewarnt wird. Die dafür notwendige Modellkette muss aufgrund der extrem kurzen Vorwarnzeit quasi in Echtzeit verlässlich funktionieren und mit geringem Aufwand auf die unterschiedlichsten Einzugsgebiete anzupassen sein. Hierfür mussten die unterschiedlichsten Fachbereiche von der Meteorologie über die Hydrologie und Hydraulik bis zur Fernerkundung und Schadensmodellierung zusammenwirken. Die Erarbeitung solcher Fragestellun-

gen ist im Ingenieuralltag nicht durchführbar. Daher ist eine Förderung direkt mit dem Ziel der Entwicklung einer verlässlichen Kurzfristwarnung vor Sturzfluten aus Starkregen verbunden. Der Zeitraum der Förderung sowie die Zuwendung sind insgesamt als angemessen zu bezeichnen. Details zum Förderbedarf sind außerdem dem ursprünglichen Antrag zu entnehmen.

2.4 Nutzung und Verwertung erzielter Ergebnisse

Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse können von uns als Planungsbüro zur Weiterentwicklung eigener Arbeitsschritte oder zur Validierung bereits vorhandener Datenbestände verwendet werden. Entscheidend für den Arbeitsalltag ist hier v.a. die Weiterentwicklung von Automatisierungsprozessen. Auf die Ergebnisse des Gesamtprojekts hat die Allgemeinheit über die Projekthomepage der Uni Freiburg einen Zugriff. Dadurch stehen sie nicht nur den Verbundpartnern, sondern auch Kommunen, Behörden und Planungsbüros zur Verfügung. Weitere Informationen zur Verwertung finden sich auch in Teil III des Berichts.

2.5 Fortschritte bei anderen Stellen

Für die in diesem Zusammenhang erläuterten Arbeiten sind keine Fortschritte an anderer Stelle bekannt.

2.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Sämtliche von BIT Ingenieure ausgeführten Tätigkeiten sowie erzielten Resultate wurden intern umfassend und sorgfältig dokumentiert. Die durchgeführten Arbeiten des Gesamtprojekts sowie deren Ergebnisse wurden in verschiedenen Medien veröffentlicht und der Fachöffentlichkeit zugänglich gemacht, wobei die Veröffentlichung von den Projektpartnern federführend übernommen wurde:

- (1) Leistert, H., Hänsler, A., Schmit, M., Steinbrich, A., and Weiler, M.: Accumulation-based Runoff and Pluvial Flood Estimation Tool (AccRo v.1.0), *Geosci. Model Dev.*, 19, 2023–2037, <https://doi.org/10.5194/gmd-19-2023-2026>, 2026.
- (2) Weiler, M., Krumm, J., Haag, I., Leistert, H., Schmit, M., Steinbrich, A., and Hänsler, A.: The Pluvial Flood Index (PFI): a new instrument for evaluating flash flood hazards and facilitating real-time warning, *EGUsphere* [preprint], <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-1519>, 2025.
- (3) Reinecke, A., Neuweiler, I., Steinbrich, A., Leistert, H., Hänsler, A., Weiler, M., Brendt, T., and Huth, B.: Flash Flood Prediction with Neural Networks using Ensemble Methods to address Input and Model Uncertainties, *EGU General Assembly 2024*, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-10524, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-10524>, 2024.
- (4) Hänsler, A. and Weiler, M.: Enhancing the usability of weather radar data for the statistical analysis of extreme precipitation events, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 26, 5069–5084, <https://doi.org/10.5194/hess-26-5069-2022>, 2022.

Darüber hinaus sollen relevante Fachbeiträge sowohl auf Konferenzen als auch in Fachzeitschriften veröffentlicht werden.

Aufgestellt: Dipl.-Hyd. Bettina Huth
Freiburg, 23.03.2026
BIT Ingenieure AG
Talstraße 1
79102 Freiburg