



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN**



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Sozialfonds

ESF Nachwuchsforschergruppe

EXTRUSO

Projektlaufzeit 01.07.2016 – 30.06.2019

SAB-Projektnummer 100270097

ZWISCHENBERICHT

JUNI 2017



1. EINLEITUNG

Der Klimawandel führt zu Änderungen des Wasserkreislaufs, die zukünftig ein verstärktes Auftreten von Extremereignissen wie Trockenheit, Starkregen oder Hochwasser mit zum Teil erheblichen zivilen und ökonomischen Schadenswirkungen erwarten lassen. Aktuelle Arbeiten konzentrieren sich dabei primär auf die Untersuchung und letztlich die Steigerung der Resilienz großer Einzugsgebiete (EZG). Hydro-meteorologische Extremereignisse, die sich aus kurzen, sehr intensiven Starkregenereignissen ergeben, treten jedoch meist kleinräumig auf und sind dort schwierig zu beobachten. Insbesondere fehlt es an ausreichend dichten Beobachtungsnetzen und Modellierungsmethoden als Grundlage für die Schaffung von Warnsystemen in kleineren Einzugsgebieten.

Das EXTRUSO-Projekt setzt an dieser Stelle an und untersucht am Beispiel kleiner und mittlerer Einzugsgebiete innovative Techniken zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Beobachtung und Simulation kleinräumig auftretender Extremereignisse. Auf Grundlage von anwendungsspezifischen Fernerkundungstechniken, moderner low-cost Sensorik und Geoinformationstechnologien werden neue Formen operationeller Monitoring-Systeme zur effizienten Verdichtung der vorhandenen Beobachtungsnetze untersucht. Gleichzeitig helfen historische Analysen und die prädiktive Modellierung kleinräumiger Extremereignisse dabei, eine Informationsgrundlage für Frühwarnsysteme und zukünftige Anpassungsstrategien aufzubauen.

Die Kernziele des Projektes sind eine verbesserte Vorhersagegüte und die Schaffung innovativer Auswertemöglichkeiten für hydro-meteorologischen Extremereignisse in kleinen und mittleren Einzugsgebieten. Dies soll insbesondere durch die Schaffung von Synergieeffekten zwischen den am Projekt beteiligten Disziplinen Meteorologie, Hydrologie, Photogrammetrie und Geoinformatik erreicht werden. Im Ergebnis steht die Bündelung einer Vielzahl in sich geschlossener Komponenten in einem Informationssystem. Über dieses können Informationen über die Entstehung, Prognose und Auswirkung hydro-meteorologischer Extremereignisse abgerufen und in Form von interaktiven Karten, Zeitreihen oder Textbausteinen dargestellt werden.

Anhand ausgewählter Pilot-Einzugsgebiete werden die entwickelten Komponenten prototypisch umgesetzt und unter realen Bedingungen getestet. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Harmonisierung von Prozessen und Abläufen, um eine spätere Transferierbarkeit auf weitere Einzugsgebiete zu ermöglichen.

1.1. Beschreibung der Einzugsgebiete

Für die Akquise und Auswertung historischer hydro-meteorologischer Daten, sowie das Monitoring relevanter hydro-meteorologischer Parameter im Laufe des Projektes wurden insgesamt drei Pilot-Einzugsgebiete ausgewählt (Abbildung 1).

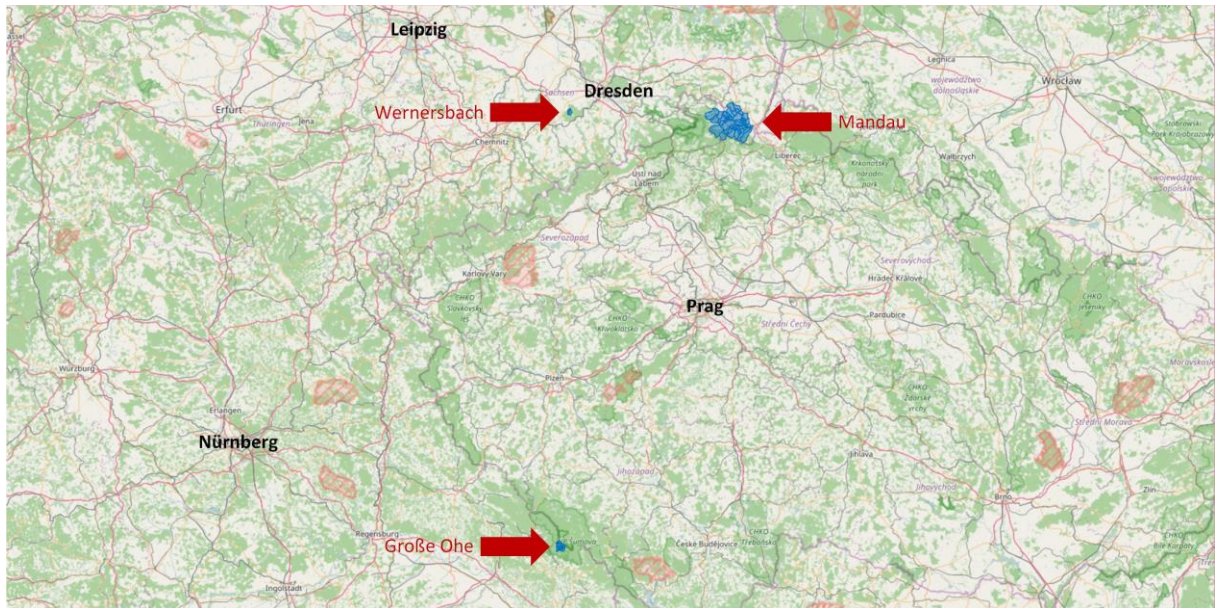


Abbildung 1: Pilot-Einzugsgebiete

1.1.1. EZG Wernersbach

Das Einzugsgebiet des Wernersbaches liegt ca. 25 km südwestlich von Dresden im Tharandter Wald. Es ist 4,6 km² groß und erstreckt sich über Höhenlagen von 323 m ü. NN bis zu 424 m ü. NN. Das rein forstwirtschaftlich genutzte Gebiet gliedert sich in 5 Teileinzugsgebiete und entwässert über die Triebisch in die Elbe. Als Experimentaleinzugsgebiet der TU Dresden wird es seit 1968 intensiv bemessen und verfügt neben Niederschlags und Abflussmessungen über Messungen zur Bodenfeuchte, Quellschüttung und den Grundwasserstand. Das Ziel der Messungen im Wernersbachgebiet ist die Erfassung des Wasserhaushaltes, insbesondere die zeitliche Verteilung der unterschiedlichen Abflusskomponenten.

1.1.2. EZG Mandau

Das Einzugsgebiet der Mandau hat eine Größe von 256 km² und reicht vom Quellgebiet auf tschechischer Seite in 523 m Höhe bis zur Mündung in die Lausitzer Neiße auf einer Höhe von 228 m. Der Wasserstand und die Durchflussmenge der Mandau werden durch drei Pegel-Messstationen des Landeshochwasserzentrums erfasst. Diese Daten bilden eine solide Grundlage für die Verdichtung und Validierung des Messnetzes durch alternative Messmethoden, beispielsweise über photogrammetrische Messsysteme, low-cost Sensorik oder Crowdsourcing.

1.1.3. EZG Große Ohe

Das Quellgebiet der Großen Ohe (19,1 km²) im Flussgebiet Ilz-Donau erstreckt sich im Kernbereich des Nationalparks Bayerischer Wald über einen Höhenbereich von 770 bis 1435 m ü. NN. Seit 1978 findet ein intensives hydrologisches Monitoring mit hydrochemischen, isotopehydrologischen und bodenhydraulischen Ansätzen statt. In Verbindung mit langjährigen meteorologischen Beobachtungen stellt dies eine gute Basis für die Erforschung der Hochwassergenese in kleinen Mittelgebirgsgebieten dar. Durch einen Jahresniederschlag von 1390 mm sowie einem steilen Geländegefälle ist das Gebiet anfällig für die Bildung von Sturzfluten.

2. ARBEITSSTAND

Das EXTRUSO-Projekt befindet sich derzeit in der Konzeptions- und Entwicklungsphase. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem parallelen Aufbau einzelner Systemkomponenten mit Schwerpunkt auf der methodischen Entwicklung. Die Interaktion zwischen diesen Komponenten wird derzeit nur schematisch betrachtet und in der nächsten Projektphase ausgebaut. Dieses Vorgehen soll die Eigenständigkeit der einzelnen Systemkomponenten, eine wichtige Voraussetzung für die spätere Umsetzung in einem dienstbasierten Informationssystem, gewährleisten.

2.1. Komponenten

Die zentralen Arbeitsschritte und damit verbundenen Teilkomponenten des EXTRUSO-Projektes sind in Abbildung 2 dargestellt. Die wesentlichen, in Entwicklung befindlichen Komponenten sind rot umrandet und werden im Folgenden näher beschrieben.

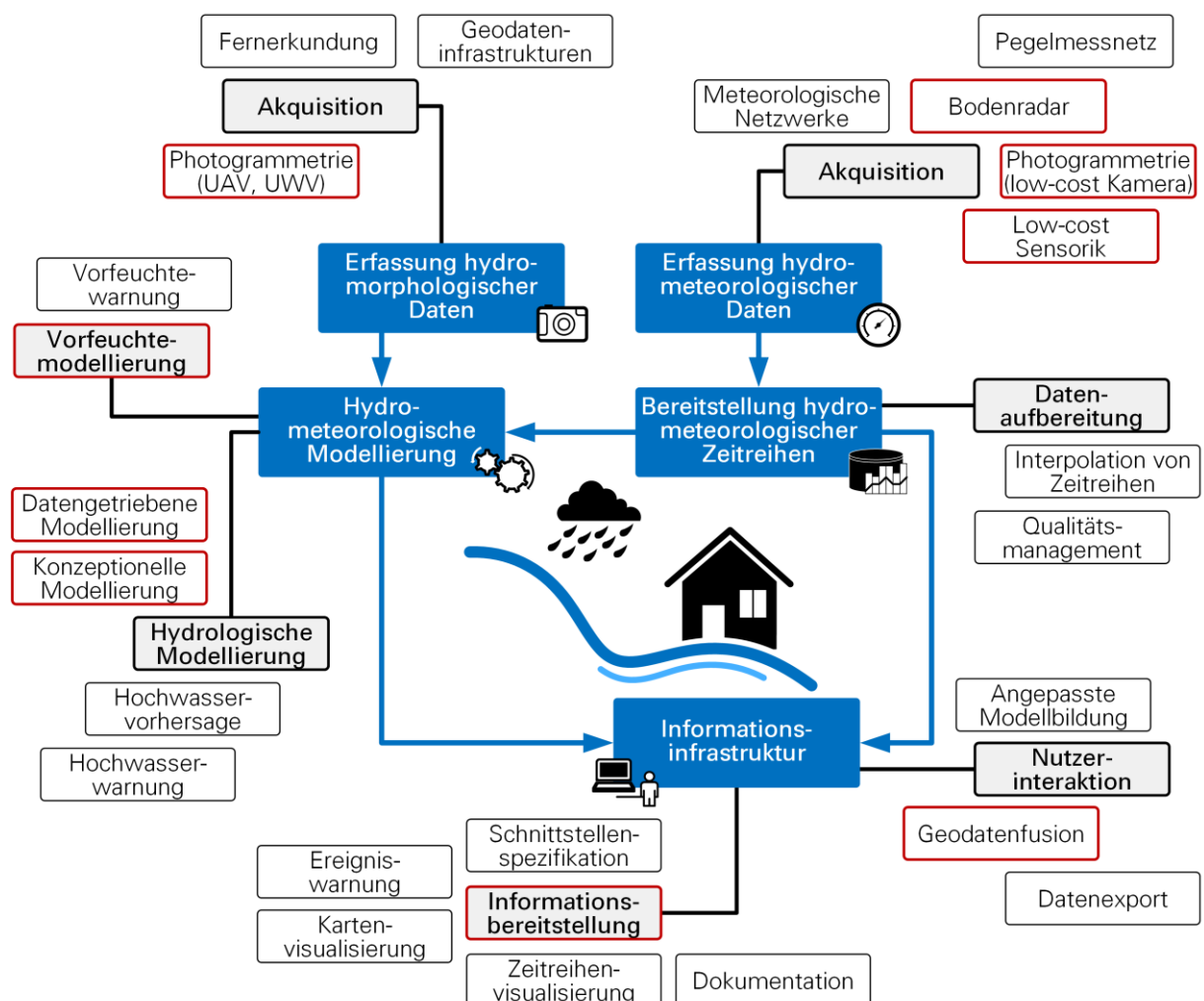


Abbildung 2: Zentrale Arbeitsschritte im EXTRUSO-Projekt

2.1.1. Niederschlagsmessung durch Analyse von Bodenradar-Daten

Die räumliche hochaufgelöste Verteilung und Menge von Niederschlägen sind für die Modellierung von Hochwasserereignissen und kurzfristige Wettervorhersagen von entscheidender Bedeutung. Eines der Ziele ist daher die Erstellung eines mehrstufigen statistischen Modells

für die Kombination von Regenradarmessungen mit weiteren Niederschlagsbeobachtungen, etwa aus Regenmessstationen oder Messungen der Bodenfeuchte. Die Herausforderung liegt dabei auf der Kombination von Daten mit verschiedenen Fehlereinflüssen und raum-zeitlichen Auflösungen. Um ein besseres Verständnis für die Verteilung von Starkregenereignissen zu erlangen, müssen dafür Niederschlagsinformationen aus dem Radolan RW-Produkt (stündliche Auflösung) mit Hilfe der Reflektivitätsdaten aus dem Radolan RX-Produkt (5-min Auflösung), Abbildung 3, disaggregiert werden. Dafür wurde ein Python-Skript entwickelt, welches unter Verwendung der Wradlib-Radar-Bibliothek¹ die Ableitung von Niederschlägen aus Radardaten ermöglicht.

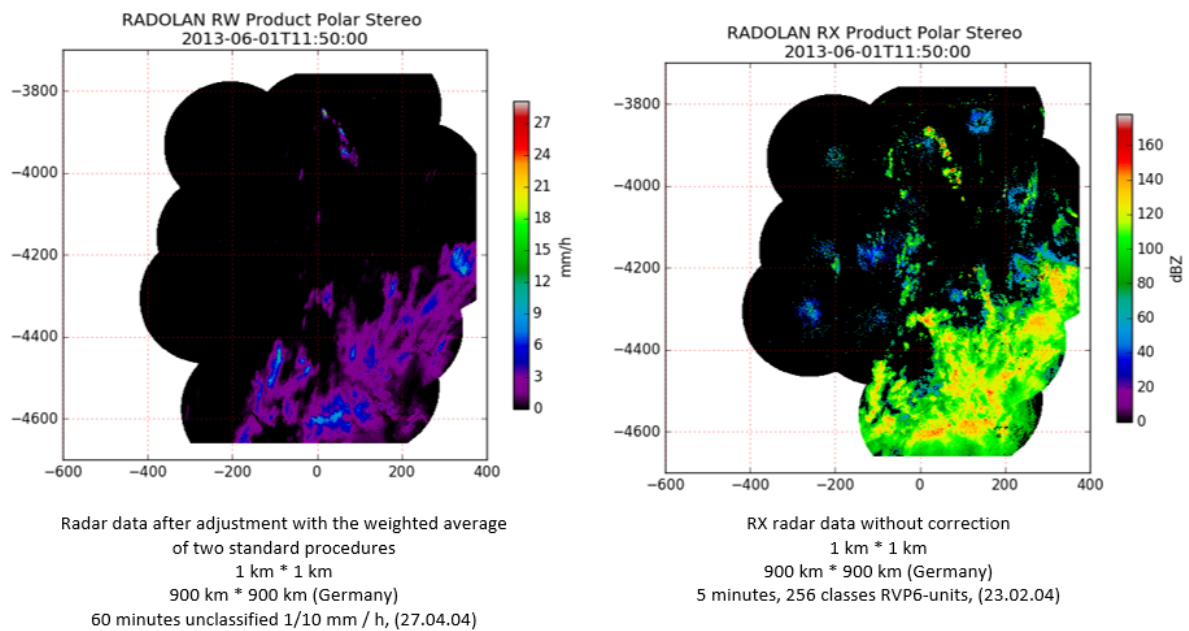


Abbildung 3: Vergleich von Radolan RW Produkt (links) und Radolan RX Produkt (rechts)

Der vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellten Niederschlagsraten für das Bundesgebiet basieren auf einer Komposition von 17 polarimetrischen X-Band-Radarstationen. Für die Disaggregation des Radolan RW-Produktes wurde der anteilige Prozentsatz der dazugehörigen Reflektivitäten aus dem Radolan RX-Produkt berechnet und entsprechend mit der Niederschlagsmenge aus dem RW-Produkt multipliziert, um ein äquivalentes RW-Produkt mit einer Auflösung von 5 min zu erhalten (Abbildung 4).

Da das Radolan RX-Produkt nicht durchgängig vorhanden ist, sondern Lücken aufweist, muss an diesen Stellen zunächst eine Interpolation vorgenommen werden. Einzelne Fehlstellen werden dabei linear interpoliert. Sobald mehrere Zeitschnitte nacheinander fehlen, wird das Radolan RW-Produkt für diese Stunde nicht disaggregiert, um zu hohe Fehlerraten zu vermeiden (Abbildung 5).

¹ <http://wradlib.org/wradlib-docs/latest>

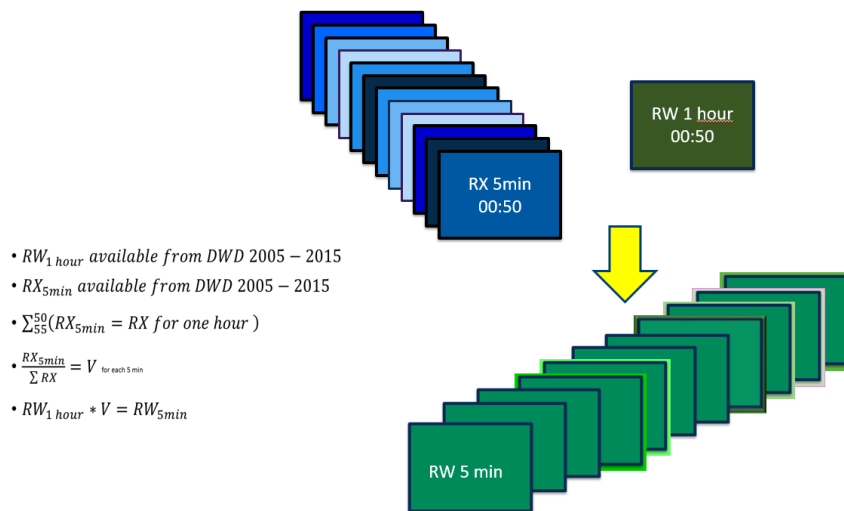


Abbildung 4: Disaggregation des Radolan RW-Produktes mit Hilfe des Radolan RX-Produktes

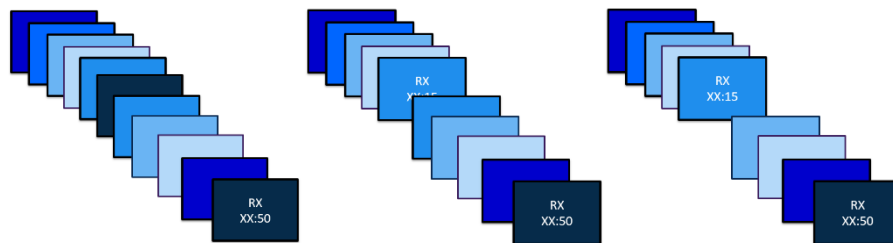


Abbildung 5: Struktur des Radolan RX-Produktes mit keinem fehlenden Wert (links), einer Fehlstelle (Mitte) und zwei Fehlstellen (rechts)

Die Ergebnisse wurden für 23 Starkregenereignisse im Zeitraum von 2005 bis 2015 gerechnet und können auf das jeweilige Einzugsgebiet zugeschnitten werden. In einem nächsten Schritt sollen Zeitreihen der disaggregierten Daten für alle drei Pilot-Einzugsgebiete generiert werden, die genutzt werden können, um die Genauigkeit der hydro-meteorologischen Modellierung zu erhöhen.

2.1.2. Photogrammetrische Akquisition hydro-meteorologischer Daten

Im Einzugsgebiet des Wernersbachs wurde ein kamera-basiertes low-cost System zur Erfassung des Wasserstands und potentiell der Fließgeschwindigkeit installiert. Das Monitoring-system besteht aus drei Raspberry-Pi-Kameras, welche vor ihrer Installation kalibriert wurden, damit eine geometrisch genaue Messung möglich ist. Die Kameras befinden sich an einem Baum in unmittelbarer flussnahe zum Wernersbach-Tributär Triebenbach (Abbildung 6). Das System hat eine autarke Energieversorgung und löst einmal in der Stunde, synchronisiert via WLAN, aus. Somit können neben hydrometeorologischen Daten auch Flussquerschnitte stündlich aktualisiert und in der weiteren hydrologischen Modellierung verwendet werden.

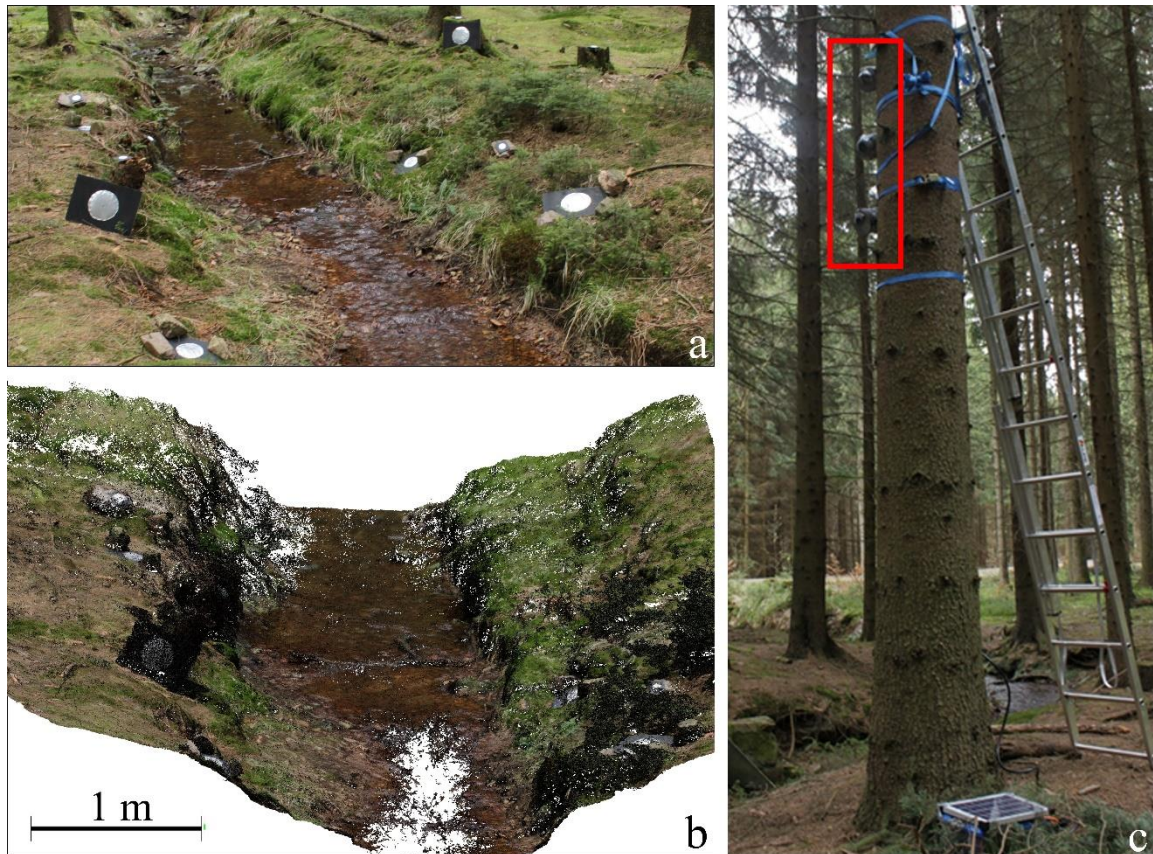


Abbildung 6: Low-cost Kamerasystem im Einzugsgebiet Wernersbach:
 a) beobachteter Kameraausschnitt; b) rekonstruiertes Geländemodell mittels terrestrischem SfM;
 c) drei Raspberry-Pi Kameras zur Triebenbachbeobachtung

Ein weiteres Kamerasystem befindet sich an der Wesenitz. Es besteht aus einer Kamera, die in einem beliebig kurzen Intervall auslösen kann, da sie an das Stromnetz angeschlossen ist. Der beobachtete Flussabschnitt wurde mit terrestrischem Laserscanning, UAV-Photogrammetrie und terrestrischen bildbasierten 3D-Rekonstruktionsmethoden erfasst, damit eine Reprojektion der im Bild gemessenen Informationen in den Objektraum als Voraussetzung für die Transformation der Bildmessung in eine Pegelbeobachtung möglich ist. Die Übertragung aller Messungen in ein Koordinatensystem geschieht hier über Passpunkte, die mit einem Tachymeter eingemessen wurden.

2.1.3. Akquisition hydro-meteorologischer Daten durch low-cost Sensorik

Im Rahmen des EXTRUSO-Projektes werden verschiedene low-cost-Sensoren mit dem Ziel der Bestimmung von Niederschlägen eingesetzt und analysiert. Dazu gehörten neben Pegelsensoren und Kippwaagen auch Mikrofone, Feuchtigkeitssensoren und Ultraschallsensoren, die den Niederschlag indirekt bestimmen können. Erste Tests im Vorlauf des Projektes wurden mit Hilfe eines Regentestfeldes der Professur für Hydrologie realisiert. Die Auswertung zeigte, dass es signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen getesteten Systemen gibt. Am erfolgversprechendsten scheint dabei die Verwendung von Kippwaagen. Daher wurden von diesem Sensortyp verschiedene Produkte aus dem low-cost Bereich beschafft. Derzeit wird deren Nutzungspotential für das Projekt eingehend untersucht.

Für die Erfassung von räumlich hochaufgelösten Niederschlagsdaten werden autark funktionierende Messstationen entwickelt. Diese setzen sich aus einer Sensorkomponente, einer Komponente zur Aufzeichnung und Übertragung der Messwerte, sowie einer Komponente

zur Stromversorgung zusammen. Das Kernstück der Stationen bilden Raspberry Pi Einplatinen-Computer. Diese bieten die Möglichkeit verschiedene Sensortypen anzusteuern und deren Messwerte aufzuzeichnen und zu verarbeiten. Weiterhin ist durch die relativ hohe Rechenleistung eine Kombination mit anderen Sensoren, z.B. einer photogrammetrischen Pegelmessstation, auf einer Steuerungseinheit möglich.



Abbildung 7: Low-cost Kippwaage zur Messung von Niederschlagsmengen: Messkegel (links), Kippwaage (rechts oben); Regensensoren zur Kalibrierung im Messfeld (rechts unten).

Ein Prototyp einer Regenmessstation wurde zur Langzeitkalibrierung auf dem meteorologischen Testfeld der TU Dresden in Tharandt installiert (Abbildung 7). Bei diesem erfolgt sowohl die Datenübertragung als auch die Stromversorgung kabelgebunden. In einer weiteren Ausbaustufe ist die Stromversorgung durch eine Kombination aus Pufferbatterie und Solarpanel geplant. Dazu werden aktuell Versuche zur Reduktion des Stromverbrauchs durchgeführt. Anschließend sollen die Stationen mit GSM-Funkmodulen zur Datenübertragung über das Mobilfunknetz ausgerüstet werden. Im weiteren Verlauf ist zudem die Kombination mit Bodenfeuchtesensoren geplant.

2.1.4. Photogrammetrische Akquisition hydro-morphologischer Daten

Für die Generierung von Geländemodellen kleiner Einzugsgebiete werden multisensorale Messplattformen zur Datenerfassung aus der Luft (unmanned aerial vehicle, UAV) und vom Wasser (unmanned water vehicle, UUV) eingesetzt.

Die Messung mittels UAV erfolgt mit einer nach unten ausgerichteten Kamera. Aus den aufgenommenen Bildsequenzen wird mit dem Verfahren Structure-from-Motion (SfM) ein Geländemodell zur Beschreibung der Flussmorphologie berechnet (Mader et al. 2015). Ergebnisse an der Freiburger Mulde und an der Wesenitz zeigen, dass der Flusslauf und angrenzende Auenbereich mit dem Verfahren digitalisiert werden können (Abbildung 8). Bisher wurde nur ein Teilgebiet vermessen, allerdings kann mit längeren Befliegungs- und Auswertezeiten das

Verfahren auch auf komplette Teil-Einzugsgebiete erweitert werden. Probleme bei der Aufnahme aus der Luft ergeben sich, wenn das Einzugsgebiet stark bewaldet und daher schlecht zu befliegen und einzusehen ist. Eine mögliche Lösung im weiteren Verlauf des Projekts kann dabei die Ausstattung des UAVs mit einem Laserscanner darstellen. Durch eine Befliegung oberhalb der Bäume kann simultan ein digitales Gelände- und Kronenmodell generiert werden.



Abbildung 8: Geländeaufnahme mit einem UAV: Befliegung an der Freiberger Mulde (links); mit SfM generierte 3D-Punktwolke (rechts).

Das UWW wird mit einer 360°-Kamera, einem Laserscanner für die Abtastung der Ufer und mit einem Laser-Kamera-System für die Messung der Wassertiefe sowie der Beschaffenheit des Gewässerbodens ausgestattet. Die Bilder der Kamera konnten bei ersten Testläufen mit einem manuell gezogenen Floß auf der Weißeritz und der Freiberger Mulde bereits zur Generierung einer kolorierten 3D-Punktwolke der Ufer über SfM verwendet werden (Abbildung 9). Aus der Abtastung mit dem Laserscanner soll ebenfalls eine 3D Punktwolke des Ufers berechnet werden. Der Laserscanner nimmt Linienprofile auf, welche durch eine Bewegung des Boots entlang des Flusses zu einer kompletten Digitalisierung der Ufer addiert werden. Dazu muss die Position und Ausrichtung des Boots zu jedem Zeitpunkt hochgenau bekannt sein. Da die Positionsbestimmung mit dem Floß noch nicht gelöst wurde, konnten bisher keine Daten mit dem Laserscanner generiert werden.

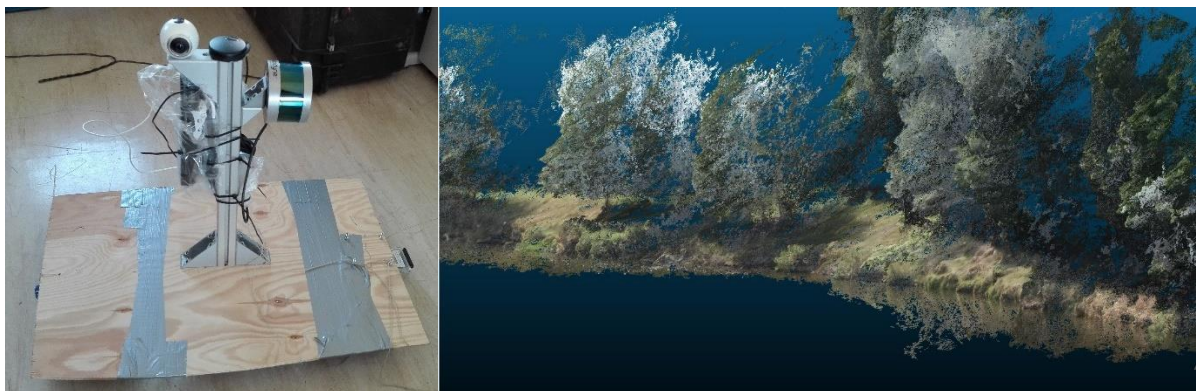


Abbildung 9: Uferaufnahme mit einem UWW: Prototyp mit Laserscanner und 360°-Kamera (links); mit SfM generierte 3D-Punktwolke des Ufers (rechts)

Nach der erfolgreichen Durchführung der Testmessungen mit dem Floß wurde das System auf eine fernsteuerbare Boot-Plattform übertragen. Eine erste Testfahrt auf dem Heidemühlenteich bei Dippoldiswalde wurde erfolgreich absolviert. Dabei wurde wie zuvor aus Aufnahmen mit der 360°-Kamera ein 3D-Modell berechnet (Abbildung 10).



Abbildung 10: Uferaufnahme mit dem UWW: Ferngesteuertes Messboot am Heidemühlenteich (links); mit SfM generierte 3D-Punktwolke des Ufers (rechts)

Im aktuellen Arbeitsschritt wird das UWW mit weiterer Sensorik ausgestattet. Dazu zählen neben der Aufnahmesensorik über Wasser (360°-Kamera; Laserscanner) und unter Wasser (Unterwasserkamera und Linienlaser; Echolot) auch ein Positionierungssystem. Die IMU (Inertiale Messeinheit) mit integriertem GPS-Sensor misst Position und Neigung des UWW. Weitere Tests sollen die Erfassung des Ufers mittels Laserscanner sowie die Nutzung des Echolots für die Messung der Gewässertiefe umfassen. Zudem sollen die mittels UAV und UWW generierten Oberflächenmodelle zu einem, hochaufgelösten Oberflächenmodell fusioniert werden. Dabei kann die große Abdeckung des Einzugsgebiets aus der Luft mit hochaufgelösten Daten des Ufers und des Flussbetts vom Boot ergänzt werden.

2.1.5. Vorfeuchtemodellierung

Einen wichtigen Beitrag zur historischen, wie auch aktuellen Beurteilung des Gebietszustands und des Hochwasserrisikos in den betrachteten Einzugsgebieten soll die Modellierung der Bodenfeuchte liefern. Die Bodenfeuchte wird bei diesem Ansatz als Indikator für das noch vorhandene Speichervolumen von neu infiltrierendem Wasser genutzt. Ist die Bodenfeuchte hoch, also das bodenspezifische Porenvolumen stark gefüllt, wäre bei einem Regenereignis nicht genügend Rückhaltevolumen vorhanden um das neu infiltrierende Wasser aufzunehmen. Die Folge ist die Bildung von direktem Oberflächenabfluss, der die Grundlage für Flash Floods bildet. Die Modellierung der Bodenfeuchte erfolgt durch zwei Modelle, um einerseits die mittlere Bodenfeuchte im Gebiet und andererseits eine räumlich differenzierte Verteilung dieser Bodenfeuchte untersuchen zu können. Die Modelle werden mittels PEST Software (Model-independent Parameter Estimation & Uncertainty Analysis) kalibriert. Die Zielgrößen für die Validierung sind zum einen die Evapotranspiration, welche aus Eddykovarianz-Methode über typischen Landnutzungen im Osterzgebirge bestimmt wurden, sowie Bodenfeuchtemessungen von den angrenzenden Messstationen.

Für den Ansatz einer Vorfeuchte-basierten Hochwasserwarnung, einer sogenannten Flash Flood Guidance, werden Modelle parametrisiert, die die Bodenfeuchte sehr schnell modellieren können. Flash Flood Guidance ist ein diagnostisches Werkzeug zur schnellen Flash Flood Diagnose und zur Kurzzeitvorhersagen deren Auftretens. Dabei erfolgt eine Berücksichtigung von bis zu minutengenauen Niederschlagsinformationen. Die Vorteile dieses Ansatzes sind der Einsatz für sehr große Gebiete mit Flash Flood Potential und der sehr geringe Einsatz von Rechner-Ressourcen.

Das derzeit verwendete Modell BROOK90 (Federer 2002) ist ein eindimensionales, physikalisches Netzwerkmodell für kleine, gleichförmige Einzugsgebiete. Es wird häufig im Kontext hydrologischer Simulationen in bewaldeten Gebieten eingesetzt, kann aber auch auf andere Landbedeckungsarten und jahreszeitliche Änderungen angepasst werden. Das Modell kann über eine Vielzahl von Parametern, u.a. zur Charakterisierung von Vegetation, Boden und Fließverhalten, gesteuert werden. Die Standard-Parametrisierung muss entsprechend auf die Charakteristiken des zu betrachtenden Einzugsgebietes angepasst und kalibriert werden. Das Verhältnis zwischen der hydraulischen Leitfähigkeit, dem Bodenwassergehalt und dem Wasserpotential zur Beschreibung der Wasserbewegung basieren auf einem modifizierten Modellansatz von (Clapp and Hornberger 1978). Ein Nachteil ist die fehlende horizontale Diskretisierung der einzelnen Parameter, wodurch die Modellierung von Einzugsgebieten mit starkem Gefälle erschwert wird.

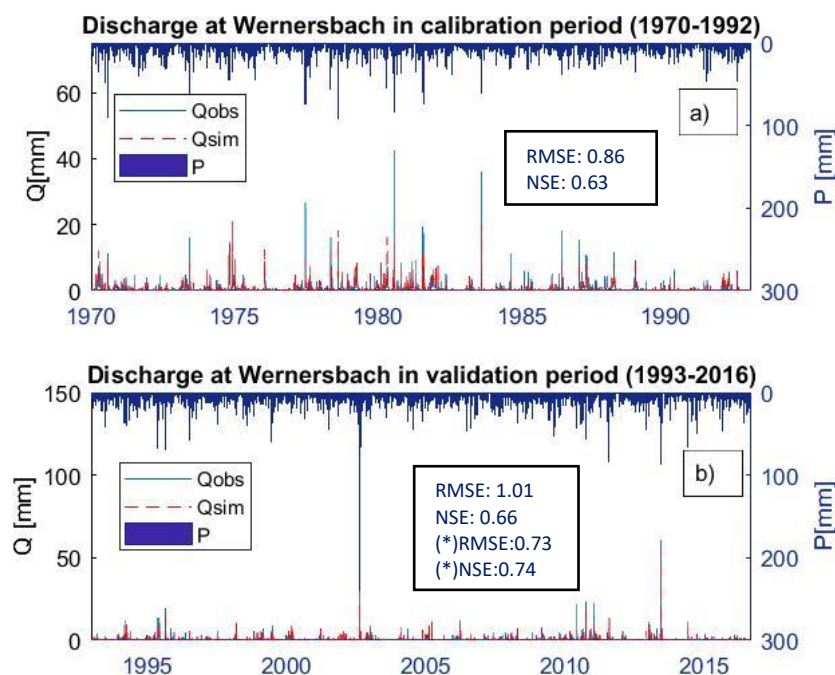


Abbildung 11: Beobachteter und simulierter Durchfluss am Wernersbach in a) der Kalibrierungsperiode und b) der Validierungsperiode

Die Modellierung der Vorfeuchte wurde zunächst im Einzugsgebiet Wernersbach umgesetzt. Da die Korrelation zwischen Bodenfeuchte und Starkregen stark von der Landbedeckung und Bodencharakteristiken abhängt, liegt der Schwerpunkt der Modellierung auf der entsprechenden Veränderung dieser Eigenschaften, z.B. durch historische Hochwasserereignisse oder Schädlingsbefall. Erste Modellergebnisse für die Abflusssimulation am Wernersbach sind in Abbildung 11 dargestellt. Die Übereinstimmung des NSE (Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient) in beiden Messperioden spricht für die Anwendbarkeit des Modells in diesem Untersuchungsgebiet. Allerdings wurden Abflussspitzen unterschätzt, wodurch ein relativ hoher quadratischer mittlerer Fehler (RMSE) zustande kommt.

Die Modellierung anhand ausgewählter Jahre (Abbildung 12) zeigt, dass der simulierte Bodenwassergehalt eine direkte Verbindung zum Niederschlag aufweist. Die Annahme, dass der höchste Abfluss nach Starkregenereignissen stattfindet konnte allerdings nicht bestätigt wer-

den. Stattdessen treten die höchsten Abflüsse auf, wenn der Boden bereits eine hohe Vorfeuchte besitzt, unabhängig von der Stärke des Niederschlages. Die Ergebnisse aus dem BROOK90 Modell können entsprechend genutzt werden, um eine kritische Vorfeuchte für ein Einzugsgebiet zu bestimmen. In der weiteren Entwicklung ist der Transfer des Modells auf weitere Einzugsgebiete sowie die Betrachtung kürzerer Messperioden geplant.

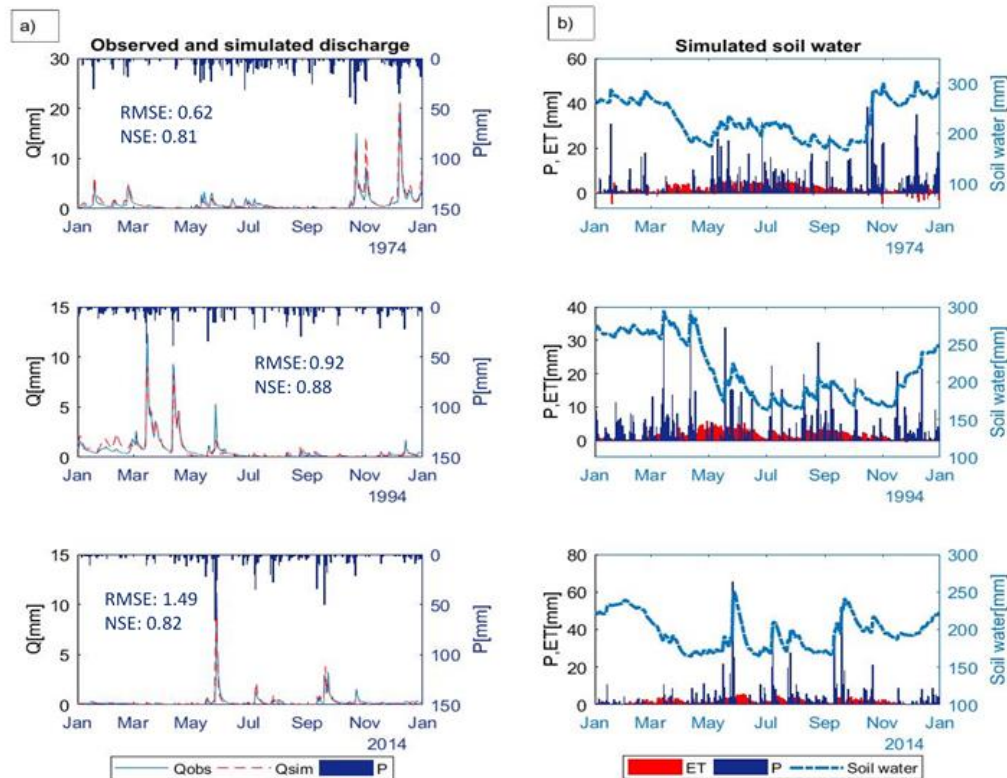


Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Niederschlag (P), Abfluss (Q), Bodenwassergehalt (Soil water) und Evapotranspiration (ET)

2.1.6. Konzeptionelle hydrologische Modellierung

Auf Basis einer Bibliothek verschiedener Prozessmodule werden verschiedene konzeptionelle hydrologische Modelle erstellt und eingesetzt (flexible Modellierung). Im Gegensatz zum dem bisher häufig verwendeten Ansatz „ein Modell für alles“, bietet die flexible Modellierung die Möglichkeit die Modellstruktur sowohl an eine unterschiedlich stark ausgeprägte Datengrundlage, als auch an verschiedene Einzugsgebiets-Charakteristika anzupassen.

Für die Pilot- Einzugsgebiete Wernersbach und Große Ohe wurden bisher sieben verschiedene Modellstrukturen, basierend auf einem einfachen Verständnis der Hochwassergenese, sowie einfachen Modellstrukturen aus der Literatur (Kavetski and Fenicia 2011) konstruiert. Dabei wurde mit dem RAVEN Hydrological Framework und seiner Prozessdatenbank gearbeitet. Als Benchmark wurden zusätzlich zwei bekannte hydrologische Modelle (HBV-EC, GR4J) in ihrer Struktur nachgebaut. Das Wernersbach-Gebiet diente bisher als einfaches Testbeispiel. Für die Große Ohe wurden detailliertere Untersuchungen durchgeführt. Hierfür wurden die Modelle für das Einzugsgebiet in drei verschiedenen Diskretisierungen aufgebaut, um somit die Notwendigkeit einer hoch aufgelösten Betrachtungsweise zu untersuchen. Für die Parameteroptimierung wurde nach einigen Tests der CMA-ES Algorithmus gegenüber dem

DREAM-Algorithmus bevorzugt. Dieser wurde in MATLAB mit dem RAVEN Modell-Setup gekoppelt. Das entstandene Framework wurde verwendet, um für die Große Ohe sieben Modellstrukturen in drei Diskretisierungen zu kalibrieren. Zusätzlich wurde der Datenzeitraum in fünf verschiedene Perioden eingeteilt, da die Große Ohe auf Grund eines Borkenkäferbefalls enormen Landnutzungsveränderungen unterlag. Diese Landnutzungsveränderungen hatten großen Einfluss auf die Abflussbildung im Einzugsgebiet (Schwarze and Burkhard 2009). Es wurde untersucht, ob eine bestimmte Modellstruktur in den unterschiedlichen Phasen der Landnutzungsänderung bevorzugt wird. Erste Ergebnisse deuten drauf hin, dass Phasen mit einer schnellen Abflussgenerierung eine andere Modellstruktur bevorzugen, als solche mit noch von der Landnutzungsänderung unbeeinflussten Abflussprozessen. Dieses Ergebnis muss jedoch noch durch Verbesserungen im Modellaufbau überprüft werden. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass eine höhere räumliche Auflösung des Einzugsgebietes deutlich bessere Ergebnisse erzielen kann als ein räumlich nicht diskretisiertes (lumped) Modell. Diese Untersuchungen wurden auch für ein genestetes Einzugsgebiet der Großen Ohe, dem Markungsgraben, durchgeführt und bestätigen die ersten Eindrücke. Auch hier sind jedoch genauere Analysen notwendig.

Im weiteren Verlauf des Projekts sollen die Modellstrukturen nicht mehr händisch festgelegt, sondern auf Basis von Informationen zur Datenverfügbarkeit und der Einzugsgebiets-Charakteristika optimiert werden. So soll für jedes Einzugsgebiet und für jede Datengrundlage die geeignetste Modellstruktur ermittelt werden. Verschiedene Szenarien bezüglich der Datengrundlage sollen helfen, eine detailliertere Unsicherheitsbewertung für die geplanten operativen Durchflussvorhersagen zu bestimmen. Weitere geplante Untersuchungen sollen sich damit auseinandersetzen, welcher minimale Umfang an Messdaten operativ erhoben werden muss, um eine zuverlässige operationelle Hochwasservorhersagen zu erzielen.

2.1.7. Datengetriebene hydrologische Modellierung

In den letzten Jahren wurden zahlreiche datengetriebene Methoden des Maschinellen Lernens in die hydrologische Modellierung eingeführt. Der Vorteil gegenüber den klassisch verwendeten, konzeptionellen Ansätzen in der Modellierung sind die scheinbar hohe Leistungsfähigkeit, der vergleichbar geringe Implementierungsaufwand und die geringe Rechenzeit der Modelle. Vor allem letzteres ist im Fall von Extremereignissen sehr wichtig, da im operationellen Fall oft nur wenig Zeit für eine Warnung verfügbar ist. Weiterhin ist die Einbindung verschiedener Informationen, z.B. Niederschlagsvorhersagen oder anderer messbarer Größen, einfacher realisierbar als bei konzeptionellen oder physikalisch basierten Modellansätzen. Moderne datengetriebene Methoden zeigen dabei ein hohes Potential auf, verschiedene Informationsarten, wie z.B. Bildsequenzen, zu verarbeiten. Somit ist es möglich das Spektrum der Datenanalyse zur Hochwasservorhersage aus unterschiedlichen Quellen zu erweitern und ein leistungsfähiges Frühwarnsystem zu erstellen.

Verschiedene Untersuchungen zeigen allerdings auch essentielle Probleme, die bei der Nutzung datengetriebener Ansätze auftreten können. Eines davon ist der sogenannte Phasenfehler. Die wenigen vorhandenen Studien zur Reduzierung dieses Effektes (Varoonchotikul 2003) scheinen bei der Übertragung auf sächsische Einzugsgebiete nicht ausreichend zu sein und sind operationellen nicht direkt anwendbar. Da den Ursachen des Phasenfehlers in Veröffentlichungen bisher kaum Beachtung geschenkt wurde (de Vos and Rientjes 2005), werden im Rahmen des EXTRUSO-Projektes systematische Untersuchungen und Experimente durchgeführt, um die genauen Ursachen zu identifizieren. Im Laufe dieser Untersuchungen werden circa 50 sächsische kleinräumige Einzugsgebiete modelliert und unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet, um eine direkte Verbindung zum Auftreten des Phasenfehlers und

dessen Stärke zu eruieren. Hierbei zeigt sich, dass circa 84 % der betrachteten Hochwasserereignisse (> 900) der 50 Einzugsgebiete deutlich von einem Phasenfehler beeinflusst sind. Die Hochwasservorhersagen dieser Ereignisse können demnach als unbrauchbar eingestuft werden. Die restlichen Ereignissimulationen und auch Teile der phasenfehlerbehafteten Vorhersagen sind zusätzlich von starken Oszillationen betroffen. Auch dies kann zu einer Unbrauchbarkeit der Vorhersagen führen. Nur ein kleiner Teil der Vorhersagen kann als größtenteils fehlerfrei und akkurat betrachtet werden. Es konnte außerdem ermittelt werden, dass der Effekt des Phasenfehlers ein kleinskaligerer Effekt ist, als bisher von einschlägigen Veröffentlichungen angenommen wurde. Eine Korrelation zwischen Auftreten sowie Stärke des Phasenfehlers und den Zeitreiheneigenschaften der Autokorrelation sowie Kreuzkorrelation (bezogen auf die gesamte Zeitreihe der Modellierung) konnte nicht festgestellt werden. Der Effekt des Phasenfehlers scheint daher auf einer deutlich kleineren Skala verursacht zu werden, welche selbst innerhalb eines Ereignisses zu einer Heterogenität in der Stärke des Phasenfehlers führt. Ebenso kann anhand einiger Versuche angenommen werden, dass das Auftreten des Phasenfehlers auch unabhängig von der Modellkonfiguration ist, welche beim Modelltraining erlernt wird. Damit können auch unzureichend trainierte Modelle als Ursache für den Phasenfehler ausgeschlossen werden.

Neben den durchgeführten Untersuchungen wurde auch eine Literaturrecherche durchgeführt, welche das Ziel hat, bereits veröffentlichte Methoden zur Phasenfehlerreduktion zu sammeln und zu analysieren. Das Problem in der Literaturrecherche liegt darin, dass der Phasenfehler oft nicht als solcher benannt beziehungsweise Schlagwörter nicht damit verknüpft werden. Bislang wurden zwei potentielle Methoden zur Reduktion von Phasenfehlern und Oszillationen gefunden (Wu and Chau 2011; Santos and Silva 2014). Diese werden derzeit genauer auf ihre Anwendbarkeit und Performanz hin untersucht. Daraus könnten Komponenten entwickelt werden, die für die Hochwasserfrühwarnung eingesetzt werden können, während parallel dazu die genaueren Ursachen der genannten Fehler weiterhin erforscht werden.

Geplant ist weiterhin die Umsetzung von Zeitreihenanalysen im hydrologischen Kontext unter der Verwendung neuester Verfahren aus dem Bereich des Maschinellen Lernens. Das Ziel ist dabei die Kategorisierung von Datensätzen in Bezug auf datenbasierte Simulationsprobleme. Diese Klassifikation kann folglich als weitere Teilkomponente vor eine Simulation geschaltet werden, um die bereits benannten Probleme frühzeitig zu erkennen und entsprechend gesondert zu behandeln.

2.1.8. Informationsbereitstellung

Eine der wesentlichen Aufgaben der Informationsinfrastruktur in EXTRUSO ist die Bereitstellung von Informationen im Kontext hydro-meteorologischer Extremereignisse. Dafür müssen die multi-disziplinären Einzelkomponenten in einem Gesamtsystem integriert und über Schnittstellen verfügbar gemacht werden. Grundlegende Eigenschaften einer dienstbasierten Architektur, wie Interoperabilität, Wiederverwendbarkeit und Transparenz, spielen dabei eine entscheidende Rolle. Das Hauptaugenmerk der Informationsbereitstellung liegt auf der Bereitstellung von Informationen zu historischen, aktuellen und prognostizierten hydro-meteorologischen Extremereignissen in Form von Datensätzen, Modellergebnissen, Graphiken oder Texten, die allesamt der Außenkommunikation dienen. Zur Förderung des wissenschaftlichen Diskurses und der Reproduzierbarkeit von wissenschaftlichen Arbeiten wird zudem angestrebt Quelltexte, Skripte und Modellkonfigurationen zu veröffentlichen, sofern dem keine lizenzrechtlichen oder organisatorischen Gründe entgegenstehen.

Derzeit umfasst die Homepage des EXTRUSO-projektes² allgemeine Informationen zum Projekt und den Projektzielen, eine regelmäßig aktualisierte News-Seite, sowie eine interaktive Karte. Die Webpräsenz stellt den Grundstein für das geplante Informationssystem dar und soll sukzessive mit weiteren Komponenten erweitert werden. Diese umfassen u.a. ein gemeinsames Daten- und Metadatenmanagement, die Dokumentation und Aufrufmöglichkeit entwickelter Komponenten sowie die in (Wiemann et al. 2017) entwickelten Prozessmodule zur Analyse und Kombination verteilter Datenquellen.

Zudem sollen im weiteren Verlauf des Projektes Strategien zur Einbindung nutzergenerierten Daten (z.B. Umweltbeobachtungen) konzipiert und in dem Informationssystem eingebunden werden. Das Ziel ist dabei die Entwicklung einer kollaborativen Plattform für Bürger und Entscheidungsträger, die zur Bewusstseinsbildung und einem besseren Verständnis über Genese, Verlauf und Auswirkung hydro-meteorologischer Extremereignissen beiträgt.

2.1.9. Geodatenfusion

Prozesse zur Geodatenfusion sind ein essentieller Teil der geplanten Informationsinfrastruktur, da sie wesentlich zum Erkenntnisgewinn aus einer Vielzahl verteilter, heterogen strukturierter Datensätze beitragen können. Wesentliche Grundlagen und einzelne Teilprozesse, auf denen das geplante Informationssystem aufbaut, sind in (Wiemann and Bernard 2016) und (Wiemann 2017) beschrieben. Der Quelltext der in Entwicklung befindlichen Anwendung ist unter Open Source Lizenz frei verfügbar³. Die modulare Struktur der Implementierung erlaubt den Einsatz der entwickelten Methoden für eine Vielzahl von Anwendungsfällen. Im Laufe der weiteren Entwicklung sollen EXTRUSO-spezifische Anforderungen berücksichtigt werden, um die bestehende Implementierung so zu erweitern, dass sie als unabhängige Komponente im Informationssystem eingesetzt werden kann.

2.2. Prozesse und Prozessabläufe

Die grundlegenden, für die Umsetzung des geplanten Informationssystems notwendigen Prozesse, sind in Abbildung 13 dargestellt. Diese lassen sich zwei, im Folgenden näher beschriebenen, Kategorien zuweisen: dem Aufbau der Informationsgrundlage sowie der darauf aufbauenden Analyse und Prognose von hydro-meteorologischen Extremereignissen.

² <https://extruso.bu.tu-dresden.de>

³ <https://github.com/GeoinformationSystems/SpatialDataFusion>

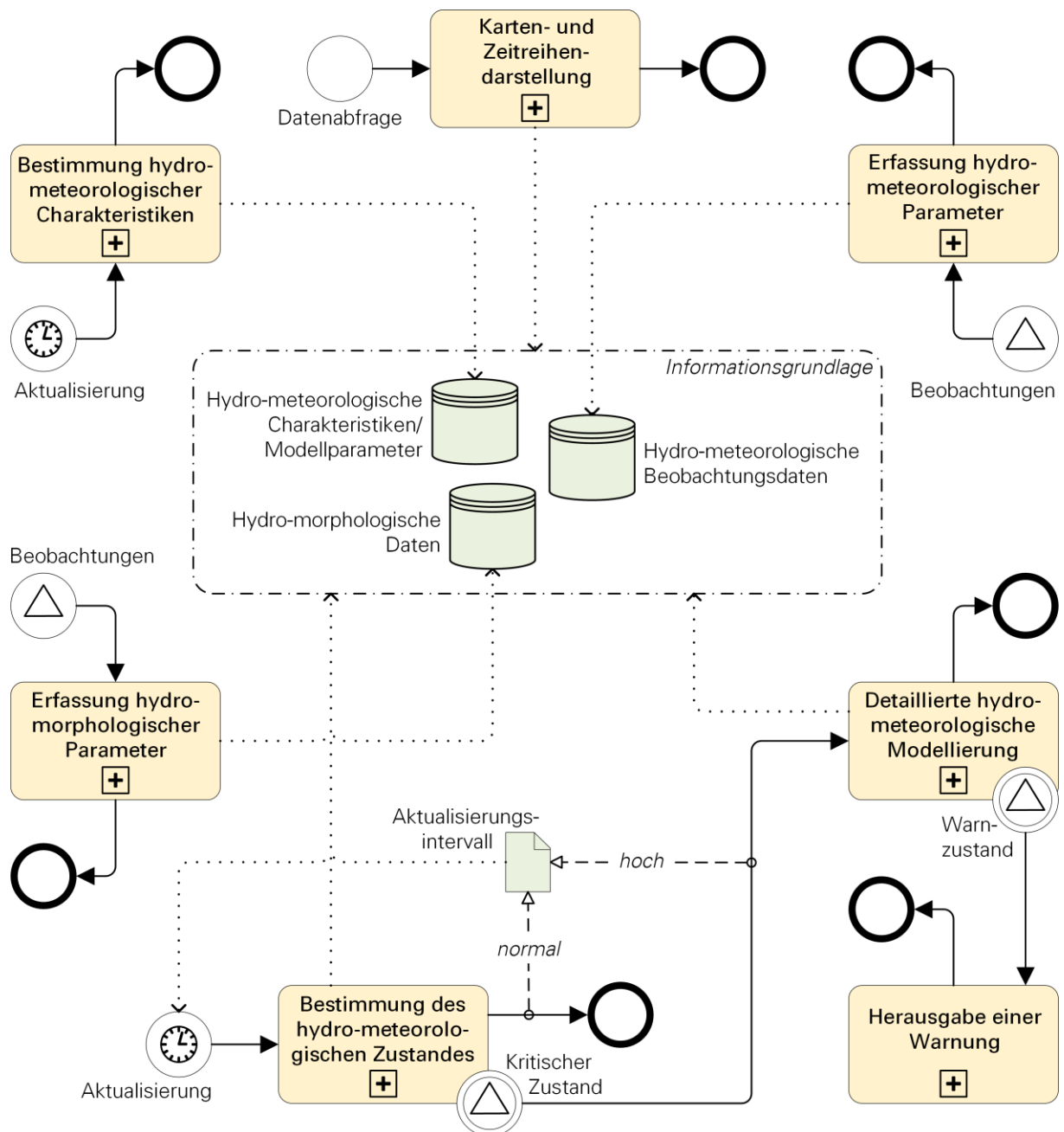


Abbildung 13: Grundlegende Prozessabläufe im EXTRUSO-Projekt
(Notation: BPMN – Business Process Model and Notation)

2.2.1. Schaffung der Informationsgrundlage

Die Grundlage für die in EXTRUSO konzipierte Informationsinfrastruktur ist eine Sammlung verschiedener heterogen strukturierter Informationen. Dies beinhaltet unter anderem hydro-meteorologische und -morphologische Datensätze, Beschreibungen der Einzugsgebiete und verwendete Modellparameter. Die drei wesentlichen Prozesse, die zur Erzeugung dieser Informationsgrundlage beitragen sind entsprechend die *Erfassung hydro-meteorologischer Daten*, die *Erfassung hydro-morphologischer Daten* sowie die *Bestimmung hydro-meteorologischer Charakteristiken*.

Die Erfassung von Daten umfasst sowohl die Akquise vorhandener, aktueller oder historischer, Daten aus existierenden Geodateninfrastrukturen, hydro-meteorologischen Netzwerken und jeweils zuständigen Behörden, als auch die Erfassung neuer Daten. Letzteres geschieht im Wesentlichen durch die im Absatz 2.1 beschriebenen Methoden zur Datenerzeugung, insbesondere der Disaggregation von Radardaten, der photogrammetrischen Erfassung von Topographie und Wasserstand sowie der Niederschlagsmessung über low-cost Messsysteme. Auch die Entwicklung von Strategien zum Crowdsourcing spielt dabei eine wichtige Rolle.

Die Bestimmung hydro-meteorologischer Charakteristiken umfasst einerseits die Beschreibung der Einzugsgebiete und andererseits die Parametrisierung hydro-meteorologischer Modelle. Ersteres beinhaltet im Wesentlichen die Klassifikation von Einzugsgebieten anhand auf einer Reihe von Eigenschaften, wie z.B. Landbedeckung und Landnutzung, vorherrschende Bodenarten, Topographie oder Relief. Letzteres basiert dahingegen auf der Analyse historischer hydro-meteorologischer Daten und dient dem Training der verwendeten hydro-meteorologischen Modelle.

Die Prozesse zum Aufbau der Informationsgrundlage für EXTRUSO sind allesamt kontinuierlich ablaufende Prozesse, die in regelmäßigen Abständen Informationen ergänzen, aktualisieren oder ersetzen können. Als Startpunkt für den jeweiligen Prozess können vorhandene neue Beobachtungen, z.B. aus einem Sensornetzwerk oder einer Messkampagne, oder eine regelmäßig durchgeführte Aktualisierung von Bestandsdaten dienen.

2.2.2. Analyse und Prognose hydro-meteorologischer Extremereignisse

Ein wesentlicher Bestandteil des konzipierten Informationssystems ist die Abgabe von Informationen an Bürger, Entscheidungsträger oder andere Wissenschaftler. Dies erfolgt im Wesentlichen über Beiträge auf der EXTRUSO Homepage, inklusive interaktiver Karten und Zeitreihendarstellungen. Als Grundlage wird dabei die gesammelte Informationsgrundlage verwendet, auf die potentielle Nutzer über vordefinierte oder eigene Datenabfragen zugreifen können. Die Abfrage von Informationen kann, abhängig von der Herkunft und Struktur, über standardisierte Schnittstellen, z.B. durch das OGC (Open Geospatial Consortium) spezifizierte Daten- und Prozessierungsdienste, über in die Homepage eingebettete Inhalte oder über indirekten Datenbankzugriff erfolgen. Letzterer basiert, je nach Datenbank, auf standardisierten Abfragesprachen wie SQL (Structured Query Language) für relationale Datenbanken oder SPARQL (SPARQL Protocol and RDF Query Language) für Graphendatenbanken.

Das zentrale Element des geplanten Informationssystems ist die Echtzeit-Warnung vor hydro-meteorologischen Extremereignissen mit Fokus auf kleinen und mittleren Einzugsgebieten. Diese greift auf aktuelle Daten und Modellierungsergebnisse zu und zielt auf die Identifikation von kritischen Zuständen und potentielle Gefährdungen durch, in naher Zukunft auftretende, hydro-meteorologische Extremereignisse. Wie in Abbildung 13 dargestellt, wird in einem regelmäßigen Intervall der gegenwärtige hydro-meteorologische Zustand der betrachteten Einzugsgebiete bestimmt. Diese basiert im Wesentlichen auf der Modellierung der Vorfeuchte sowie kurz- und mittelfristiger Wettervorhersagen. Im Falle eines unkritischen Status wird das reguläre Aktualisierungsintervall beibehalten. Falls ein kritischer Status erreicht wird, wird das Aktualisierungsintervall erhöht und eine detaillierte hydro-meteorologische Modellierung durchgeführt. Diese fokussiert auf die zuvor als kritisch eingestuften Einzugsgebiete und entwickelt eine Reihe von What-If-Szenarien zur Klassifikation potentieller Gefahrensituationen und -gebiete. Ab einem zuvor festgelegten Schwellwert kann anschließend eine Warnung für die betroffenen Gebiete herausgegeben werden. Falls dieser Schwellwert nicht erreicht wird, wird der Status in dem zuvor erhöhten Aktualisierungsintervall erneut geprüft.

2.3. Prototypentwicklung

Der Schwerpunkt der derzeitigen Entwicklungen liegt auf der Erstellung eines ersten Prototyps, der es ermöglicht die zentralen, in Entwicklung befindlichen Komponenten des Projektes unter realen Bedingungen im Feld zu testen. Die betrifft vor allem die Erprobung der low-cost Sensorik sowie die photogrammetrischen Messungen via UAV und UUV. Da die Stromversorgung für der Ermittlung erster Testdaten von entscheidender Bedeutung ist, wurde der Pegel Elbersdorf an der Wesenitz ausgewählt, da hier eine kontinuierliche Stromversorgung sichergestellt ist. Im weiteren Verlauf des Projektes werden Solarpanele genutzt, um einen autarken Betrieb der Messstationen zu ermöglichen.

Die Umsetzung der Modelle und der Informationsinfrastruktur im Zusammenhang mit dem Prototypen erfolgen parallel in den jeweiligen Arbeitspaketen. Die einzelnen Prozessschritte werden dabei manuell gekoppelt, um die grundsätzliche Machbarkeit des Systems zu demonstrieren. Im weiteren Verlauf des Projektes soll dieser Prozess weitestgehend automatisiert werden.

2.4. Literaturverzeichnis

- Clapp RB, Hornberger GM (1978) Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resour Res* 14:601–604. doi: 10.1029/WR014i004p00601
- de Vos NJ, Rientjes THM (2005) Constraints of artificial neural networks for rainfall-runoff modelling: trade-offs in hydrological state representation and model evaluation. *Hydrol Earth Syst Sci* 9:111–126. doi: 10.5194/hess-9-111-2005
- Federer CA (2002) BROOK 90: A simulation model for evaporation, soil water, and streamflow. <http://www.ecoshift.net/brook/brook90.htm>.
- Kavetski D, Fenicia F (2011) Elements of a flexible approach for conceptual hydrological modeling: 2. Application and experimental insights. *Water Resour Res*. doi: 10.1029/2011WR010748
- Mader D, Blaskow R, Westfeld P, Maas H-G (2015) UAV-based Acquisition of 3D Point Clouds - A Comparison of a Low-Cost Laser Scanner and SfM Tools. *ISPRS - Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci XL-3/W3:335–341*. doi: 10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-335-2015
- Santos CAG, Silva GBL (2014) Daily streamflow forecasting using a wavelet transform and artificial neural network hybrid models. *Hydrol Sci J* 59:312–324. doi: 10.1080/02626667.2013.800944
- Schwarze R, Burkhard B (2009) Analyse der Hochwassergenese und des Wasserhaushaltes eines bewaldeten Einzugsgebietes unter dem Einfluss eines massiven Borkenkäferbefalls. *Hydrol und Wasserbewirtschaftung* 53:236–248.
- Varoonchotikul P (2003) Flood forecasting using artificial neural Networks. *Universiteit Amsterdam und Technische Universiteit Delft*
- Wiemann S (2017) Formalization and web-based implementation of spatial data fusion. *Comput Geosci* 99:107–115. doi: 10.1016/j.cageo.2016.10.014
- Wiemann S, Bernard L (2016) Spatial data fusion in Spatial Data Infrastructures using Linked Data. *Int J Geogr Inf Sci* 30:613–636. doi: 10.1080/13658816.2015.1084420

- Wiemann S, Karrasch P, Bernard L (2017) Ad-hoc combination and analysis of heterogeneous and distributed spatial data for environmental monitoring – design and prototype of a web-based solution. *Int J Digit Earth* 0:1–16. doi: 10.1080/17538947.2017.1326984
- Wu CL, Chau KW (2011) Rainfall-runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis. *J Hydrol* 399:394–409. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.01.017

3. ERREICHUNG DER PROJEKTZIELE

3.1. Förderpolitische Ziele

Das förderpolitische Ziel des EXTRUSO-Projektes ist die Entwicklung umfangreicher Kompetenzen im Bereich innovative Umwelttechnologien und -services. Die Nachwuchswissenschaftler sind bestrebt, ihre fachlichen, sozialen und organisatorischen Kompetenzen stetig auszubauen. Dies erfolgt durch einen intensiven Austausch zwischen den Teilnehmern, die regelmäßige Organisation und Durchführung von Projekttreffen, die Teilnahme an Qualifizierungsmaßnahmen, sowie den Besuch von nationalen und internationalen Konferenzen.

3.2. Inhaltliche Ziele

Die im Projektantrag dargelegten inhaltlichen Ziele des EXTRUSO-Projektes sind 1) ein Wissensgewinn zu Entstehungsmechanismen kleinräumiger hydro-meteorologischer Extremereignisse, 2) die Verbesserung der Vorhersagegüte für kleinräumige hydro-meteorologische Extremereignisse und 3) Strategien zur Entwicklung kollaborativer Informations- und Frühwarnsysteme. Diese sind in den entsprechenden Arbeitspaketen 1, 2 und 3 abgebildet. Der aktuelle Stand der Umsetzung der einzelnen Arbeitspakete ist in Abschnitt 3.4 beschrieben.

Im Vergleich zum Projektantrag gibt es zwei Abweichungen, die sich nach aktueller Planung jedoch nicht auf die Erreichbarkeit der Projektziele auswirken. Zum einen werden die im Projektantrag (Anhang C) genannten Einzugsgebiete Rotherdbach (Osterzgebirge) und Wilde Weißeritz (Osterzgebirge) nicht weiter betrachtet und stattdessen durch die EZG Wernersbach (Tharandter Wald) und Mandau (Osterzgebirge) ersetzt. Dafür sprachen im Wesentlichen die bessere Verfügbarkeit historischer und laufender Messdaten, die Erreichbarkeit durch die Projektteilnehmer, das Teilnehmerpotential für Crowdsourcing-Kampagnen sowie eine gute photogrammetrische Erfassbarkeit. Die Anwendung von Projektergebnissen auf die beiden ursprünglich genannten EZG in der Validierungs- und Transferphase des Projektes ist jedoch nicht ausgeschlossen.

Die zweite Abweichung ergibt sich aus einer Verzögerung bei der Stellenbesetzungen der Promotionsstelle in der Geoinformatik. Dies betrifft die Arbeitspakete 3.1 (Entwicklung der kollaborativen Informationsinfrastruktur), und 1.1 (low-cost Sensorik für die Erfassung hydro-meteorologischer Parameter). Weite Teile der notwendigen Arbeiten in AP 3.1 konnten durch die übrigen Projektmitarbeiter in der Geoinformatik kompensiert werden. Für notwendige Arbeiten in AP 1.1 wurden qualifizierte wissenschaftliche Hilfskräfte eingesetzt, so dass die geplanten Messsysteme trotz der Verzögerung bereits in der ersten Messperiode 2017 aufgebaut, ausgebracht und getestet werden können. Dies entspricht weitestgehend der ursprünglichen Planung für den Einsatz der entsprechenden low-cost Sensoren.

3.3. Zeitplan (Stand Juni 2017)

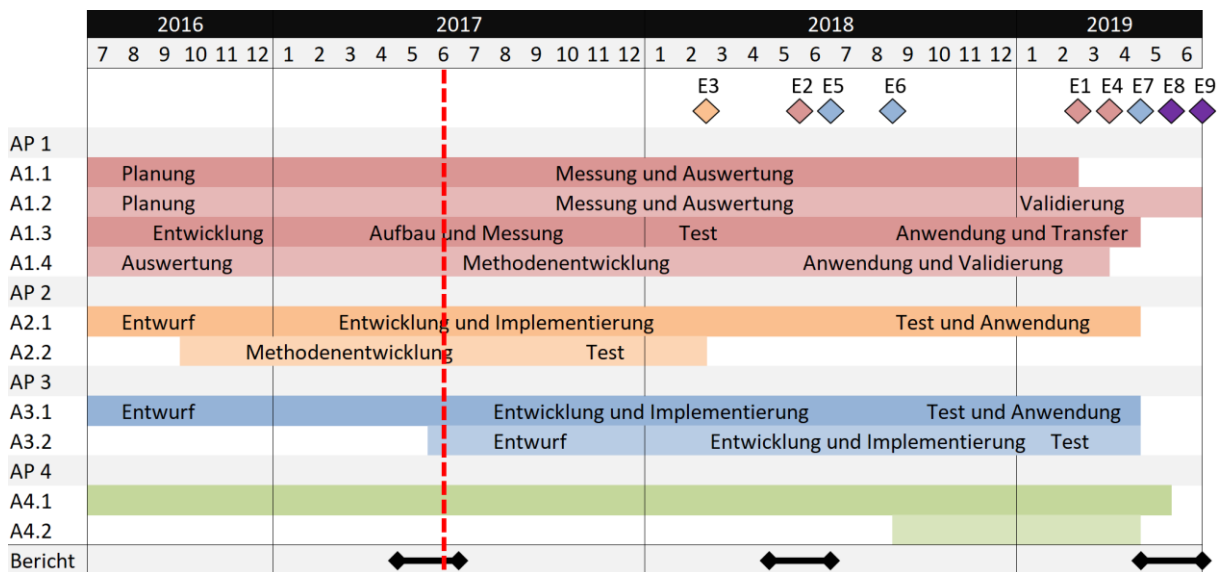


Abbildung 14: Zeitplan und Meilensteine für das EXTRUSO Projekt

3.4. Arbeitspakete

Die Arbeitspakete befassen sich im Wesentlichen mit dem Monitoring und der Analyse von kleinräumigen hydro-meteorologischen Extremereignissen (AP 1), der Entwicklung neuer Methoden zur Vorhersage hydro-meteorologischer Extremereignisse (AP 2) sowie der Entwicklung von Strategien und Methoden für kollaborative Informations- und Frühwarnsysteme (AP 3). Parallel dazu erfolgen die Projektkoordinierung und Qualifizierungsmaßnahmen (AP 4).

Der aktuelle Arbeitsstand des EXTRUSO-Projektes in Kapitel 2 ausführlich dargelegt. Dieses Kapitel dient dahingegen der Beschreibung des Entwicklungsstandes in den einzelnen Arbeitspaketen. Für die jeweiligen Arbeitspakete relevanten Arbeiten werden entsprechend referenziert.

AP 1 Monitoring und Analyse von kleinräumigen hydro-meteorologischer Extremereignissen

AP 1.1 Hochaufgelöste Erfassung hydro-meteorologischer Daten

Die Erfassung hydro-meteorologischer Daten umfasst im Wesentlichen die Analyse von Niederschlagsdaten aus Radardaten in Abschnitt 2.1.1, die Messung von hydro-meteorologischen Parametern durch low-cost Sensorik in Abschnitt 2.1.3 sowie die Modellierung der Boden-Vorfeuchte in Abschnitt 2.1.5. Wie in Zeitplan dargestellt, befindet sich das Arbeitspaket zwischen der Planungs- und Implementierungsphase. Neben der fortschreitenden Modellbildung für die Analyse von Radar- und Bodenfeuchtedaten, sind erste Messungen von Niederschlagsdaten durch low-cost Sensorik für die Messperiode 2017 geplant, bzw. in Teilen bereits durchgeführt.

AP 1.2 Multitemporale 3D-Datenerfassung

Die Plattformkonfigurationen und erste Tests für die Datenerfassung mittels UAV und UWB sind in Abschnitt 2.1.4 beschrieben. Auch dieses Arbeitspaket befindet sich nach Zeitplan zwischen der Planungs- und Implementierungsphase. Erste umfangreiche Messkampagnen sind für die Messperiode 2017 geplant.

AP 1.3 Entwicklung und Erprobung kamerabasierte Pegel als Ergänzung zu Wasserstands-, Abfluss- und Feuchtemessungen

Die Entwicklung kamerabasierter Pegel ist in Abschnitt 2.1.2 beschrieben. Dem Zeitplan entsprechend sind erste Systeme zur kontinuierlichen Pegelmessung bereits aufgebaut und werden derzeit ausgewertet.

AP 1.4 Auswertung historischer hydro-meteorologischer Extremereignisse

Für die Analyse historischer Hochwasserereignisse dient u.a. der Kalibrierung entwickelter Modelle. Dies spielt z.B. bei der Bodenfeuchtemodellierung in Abschnitt 2.1.5 eine wichtige Rolle. Zudem liegt der Schwerpunkt der Radardatenauswertung in Abschnitt 2.1.1 auf der Auswertung historischer Hochwasserereignisse. Diese wurden anhand von Schwellwerten aus den Messdaten des offiziellen Pegelmessnetzes extrahiert. Für das Einzugsgebiet der Mandau konnten beispielsweise 20 Hochwasserereignisse für einen Zeitraum der letzten 10 Jahre extrahiert werden. Weitere Methoden zur Extraktion relevanter Zeiträume sind derzeit in Planung.

AP 2 Entwicklung neuer Methoden zur Vorhersage hydro-meteorologische Extremereignisse***AP 2.1 Entwicklungsplattform für Vorhersagemodelle kleinräumiger Extremereignisse***

Die Vorhersage und Modellierung kleinräumiger Extremereignisse basiert im Wesentlichen auf der in Abschnitt 2.1.6 beschriebenen konzeptionellen hydrologischen Modellierung. Die Entwicklung der geplanten Bibliothek zur modularen Erstellung von Vorhersagemodellen befindet sich gemäß Zeitplan in Entwicklungs- und Implementierungsphase.

AP 2.2 Entwicklung neuer Methoden zur Informationsgewinnung aus mehreren, verteilten Datenquellen

Methoden zur Geodatenfusion sind in Abschnitt 2.1.9 und den darin referenzierten Publikationen beschrieben. Die gegenwärtige Implementierung beinhaltet ein umfangreiches Toolset welches im geplanten Informationssystem zum Einsatz kommen soll. Dem Zeitplan entsprechend soll dieses im nächsten Schritt an den ersten Messergebnissen sowie weiteren Datenquellen getestet werden.

AP 3 Entwicklung von Strategien und Methoden für kollaborative Informations- und Frühwarnsystemen***AP 3.1 Entwicklung einer kollaborativen Informationsinfrastruktur***

Die zu entwickelnde Informationsinfrastruktur setzt auf den in AP 2.2 bereitgestellten Datensätzen und Methoden auf und dient als zentrale Kommunikationsplattform für das EXTRUSO-Projekt. Der gegenwärtige Stand ist in Abschnitt 2.1.8 beschrieben. Dem Zeitplan entsprechend befindet sich die Informationsinfrastruktur am Anfang der Entwicklungs- und Implementierungsphase.

AP 3.2 Integration eines Vorhersagesystems für kleinräumige hydro-meteorologische Extremereignisse

Das in diesem Arbeitspaket geplante Vorhersagesystem basiert im Wesentlichen auf der datengetriebenen hydrologischen Modellierung, die in Abschnitt 2.1.7 näher beschrieben ist. Dem Zeitplan entsprechend befindet sich dieses Arbeitspaket in der Entwurfsphase.

AP 4 Validierung, Koordinierung und Qualifizierung

Jeder der Nachwuchswissenschaftler angehalten, regelmäßig geeignete Qualifizierungsmaßnahmen durchzuführen. Bisher im Rahmen des Projektes durchgeführte Qualifikationsmaßnahmen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Durchgeführte Qualifikationsmaßnahmen im Rahmen des EXTRUSO-Projektes

Name	Qualifikationsmaßnahme	Bereich
Diana Spieler	Vorlesung „Einführung Hydrologische Modelle – hydraulische Grundlagen“	Lehre
Diana Spieler	Übung „Hydrologische Modelle“	Lehre
Diana Spieler	Summer School „Prediction in ungauged Basins“	Qualifizierung
Diana Spieler	Vorlesung im Institusseminar	Lehre
Diana Spieler	Übung „Watershed Management“ – Folgescheitelalgorithmus	Lehre
Thomas Singer	Vorlesung und Übung im Modul „Spezielle Aspekte der Hydrologie“	Lehre
Thomas Singer	Übung in „Ingenieurhydrologie“	Lehre
Thomas Singer	Vorlesung im Institusseminar	Lehre
Anette Eltner	Workshop „Körpersprache und unbewusste Botschaften“	Soziale Kompetenz
Hannes Sardemann	Vorlesung „Optische 3D- Messverfahren“	Lehre
Hannes Sardemann	Workshop „Networking on Conferences“	Soziale Kompetenz
Hannes Sardemann	Lehre „Lichtfeldkamera“	Lehre
Hannes Sardemann	Workshop „Wissenschaftliches Schreiben für Promovierende“	Soziale Kompetenz
Stefan Wiemann	Seminar „Geodateninfrastrukturen“	Lehre
Stefan Wiemann	Weiterbildung „Projektmanagement - Grundlagen“	Projektmanagement
Stefan Wiemann	Weiterbildung „Projektmanagement - Aufbaukurs“	Projektmanagement

4. ERGEBNISSE UND DOKUMENTATION

Das EXTRUSO- Projekt befindet sich derzeit in der Planungs- und Konzeptionsphase. Die Dokumentation der in Kapitel 3.4 beschriebenen Arbeitspakete erfolgt parallel zu den durchgeführten Arbeiten durch die jeweiligen Projektteilnehmer. Für interne Absprachen und Diskussionen werden regelmäßig (2-wöchentlich) Projekttreffen durchgeführt. Zudem existiert für den Austausch von Informationen und Daten ein geschütztes Gruppenlaufwerk. Für die Außendarstellung des Projektes wurde eine Homepage aufgesetzt, die unter der Domain <https://extruso.bu.tu-dresden.de> erreichbar ist.

Zur Förderung des wissenschaftlichen Diskurses nehmen alle Projektteilnehmer regelmäßig an nationalen und internationalen Konferenzen teil. Dabei konnten bereits wertvolle Informationen und Kontakte gewonnen werden. Beispiele sind die Teilnahme am Gewässermorphologischen Kolloquium 2016 in Koblenz, der Oldenburger 3D-Tage 2017 und der EGU 2017 in Wien. Zudem erfolgte ein sehr informatives Treffen mit Prof. Marco Borga, einem der führenden europäischen Wissenschaftler im Bereich der Flash-Flood-Forschung, im Rahmen des Flash-Flood-Workshops im Juni 2017 in Tharandt.

Für die Veröffentlichung der Projektergebnisse im wissenschaftlichen Rahmen ist eine Reihe von Publikationen erfolgt oder geplant. Im Rahmen des EXTRUSO-Projektes publizierte wissenschaftliche Arbeiten sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Wissenschaftliche Publikationen im Rahmen des EXTRUSO-Projektes

Autor	Titel	Jahr	Publikation
Sardemann	Erste Untersuchungen mit dem Solid-State Laserscanner LeddarTech Vu8	2017	Paper und Vortrag auf Oldenburger 3D-Tagen
Singer et al.	Analysis on the phenomena of phase shift errors of data-driven flood forecasting models	2017	Poster auf EGU
Wiemann et al.	On the monitoring and prediction of flash floods in small and medium-sized catchments – the EXTRUSO project	2017	Poster auf EGU
Luong et al.	Comparative estimation and assessment of initial soil moisture conditions for Flash Flood warning in Saxony	2017	Poster auf EGU
Eltner et al.	Time-lapse photogrammetry in geomorphic studies	2017	Poster auf EGU
Eltner et al.	Camera based low-cost system to monitor hydrological parameters in small catchments	2017	Poster auf EGU
Eltner et al.	4D reconstruction of soil surface changes with time-lapse cameras	2017	PICO auf EGU
Spieler et al.	Effects of model structure and catchment discretization on discharge simulation in a small forest catchment	2017	Poster auf EGU

Wiemann et al.	Ad-hoc combination and analysis of heterogeneous and distributed spatial data for environmental monitoring – design and prototype of a web-based solution	2017	International Journal of Digital Earth
Singer und Schütze	Hochwasservorhersage mit der Neural Network Toolbox	2017	Poster auf Matlab EXPO

5. BEACHTUNG VON GRUNDSÄTZEN/QUERSCHNITTSAUFGABEN

5.1. Beitrag zu den Grundsätzen Umwelt und Ressourcenschutz, Gleichstellung, Chancengleichheit, Nichtdiskriminierung

Das Ziel des EXTRUSO-Projektes ist die Vermittlung umweltrelevanter Qualifikationen an Nachwuchswissenschaftler zur Stärkung und Sicherung eines entsprechenden Fachkräfteangebotes im Freistaat Sachsen. Im Laufe des Projektes ist eine Kollaborationsplattform geplant, die es Bürger/innen ermöglicht, sich über das Projekt allgemein und die Projektergebnisse zu informieren, um somit umweltrelevantes Wissen zu erlangen.

Für die Einstellung von Nachwuchswissenschaftlern im EXTRUSO-Projekt wurde ein strenges Auswahlverfahren anhand wissenschaftlich-fachlicher Kriterien sowie vorhandener Softskills durchgeführt. Zwei der acht Nachwuchsforscher/innen-Stellen konnten mit Frauen besetzt werden (Tabelle 3).

Tabelle 3: Nachwuchsforscher/-innen im EXTRUSO-Projekt

Name	Arbeitspakete	Qualifikation	Fachgebiet
Diana Spieler	2.1 1.1	Dipl.-Hydrol.	Hydrologie
Thomas Singer	3.2 1.4	M.Sc.	Hydrologie
Thi Thang Luong	1.4 2.1	M.Sc.	Meteorologie
Firas Al Janabi	1.1 2.2 3.2	Promotion	Meteorologie
Anette Eltner	1.3 1.2	Promotion	Photogrammetrie
Hannes Sardemann	1.2	M.Sc.	Photogrammetrie
Stefan Wiemann	2.2 4	Promotion	Geoinformatik
Robert Krüger	3.1 1.1	M.Sc.	Geoinformatik

5.2. Umsetzung sozialer Innovation

Eine ausgewogene Work-Life-Balance und die Vereinbarkeit von Beruf und Familie werden allen Projektteilnehmern ermöglicht. Dies umfasst insbesondere flexible Arbeitszeiten sowie die Möglichkeit der Inanspruchnahme von Angeboten der TU Dresden im Bereich der Kinderbetreuung.

5.3. Umsetzung transnationaler Zusammenarbeit

Die Kooperation und Kommunikation mit denen im Projektantrag genannten nationalen und internationalen Einrichtungen ist angestrebt und in Teilen bereits etabliert.