

Beitrag J: Stefan Wiemann

Web-basierte Analyse und Prozessierung hydro-meteorologischer Daten im Kontext von Extremereignissen

Web-Based Analysis and Processing of Hydro-meteorological Data in the Context of Extreme Events

Stefan Wiemann

Technische Universität Dresden, stefan.wiemann@tu-dresden.de

Abstract

Hydro-meteorological extreme events have a huge impact on human life worldwide. Accordingly, a wide range of methods and tools are already available for their analysis, assessment and prediction. In addition, particularly over the last few years, various open data initiatives led to an enormous increase of readily available hydro-meteorological measurement data on the web. The idea of the EXTRUSO project is to enhance capabilities for the combination of available hydro-meteorological data sources and processing functionality for flash flood analysis and forecasting in a web-based environment.

Zusammenfassung

Hydro-meteorologische Extremereignisse stellen weltweit eine unmittelbare Gefahr für die Bevölkerung dar. Aus diesem Grund existiert bereits eine Vielzahl von Methoden für die Analyse, Bewertung und Vorhersage solcher Ereignisse. Parallel dazu werden hydro-meteorologische Daten in zunehmenden Maße online bereitgestellt. Das Ziel des EXTRUSO Projektes ist es diese Daten und Methoden in einem Web-basierten Informationssystem zu verknüpfen, um die Analyse und Vorhersage von Hochwasserereignissen zu verbessern.

1 Motivation

Hydro-meteorologische Extremereignisse wie Starkregen und Sturzfluten gehen oftmals mit erheblichen zivilen und ökonomischen Schadenswirkungen einher. Zahlreiche wissenschaftliche Studien gehen von einem vermehrten Auftreten solcher

Extremereignisse innerhalb der nächsten Jahrzehnte aus [EASAC 2013]. Bestehende Beobachtungsnetze und Modellierungsmethoden haben sich jedoch in der Vergangenheit als unzureichend erwiesen, um diese Prozesse insbesondere in kleinen Einzugsgebieten hinreichend genau vorhersagen zu können [Bronstert *et al.* 2017; Hübl 2017].

Das EXTRUSO Projekt²³ setzt an dieser Stelle an und untersucht innovative Techniken zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Beobachtung und Vorhersage kleinräumig auftretender Extremereignisse. Dabei werden Synergieeffekte zwischen den am Projekt beteiligten Disziplinen Meteorologie, Hydrologie, Photogrammetrie und Geoinformatik genutzt, um eine Vielzahl unterschiedlicher Aspekte bei der Hochwassergenese abbilden zu können. Die einzelnen Komponenten sollen in einem Informationssystem zusammengeführt und für verschiedene Szenarien im Kontext hydro-meteorologischer Extremereignisse genutzt werden können. Im Vergleich zu vielen bestehenden Systemen, ist das Ziel des EXTRUSO Projektes daher nicht die Schaffung eines monolithischen Informationssystems, sondern die Bündelung und Verkettung einzelner, unabhängiger Komponenten zur Informationsgewinnung. Als Anwendungsgebiet wurden kleine und mittlere Einzugsgebiete im Freistaat Sachsen ausgewählt.

Dieser Beitrag widmet sich vor allem der Anbindung und Prozessierung von Daten aus verschiedenen Quellen im Informationssystem. Dafür werden im Folgenden eine Reihe verfügbarer Datenquellen (Kapitel 2) sowie Möglichkeiten zu deren Verarbeitung im Informationssystem (Kapitel 3) beschrieben. Abschließend werden eine Zusammenfassung der bisherigen Arbeiten und ein Ausblick auf die geplanten weiteren Entwicklungen gegeben (Kapitel 4).

2 Offene hydro-meteorologische Daten

Die zeitnahe Verfügbarkeit von Umweltdaten ist ein wesentlicher Faktor für den Betrieb und den Erfolg darauf aufbauender Informationssysteme. Die Umsetzung der INSPIRE Direktive spielt dabei eine wichtige Rolle, da sie die Offenlegung und den standardisierten Austausch behördlichen Umweltdaten erfordert. Einen weiteren

²³ EXTRUSO Homepage: <https://extruso.bu.tu-dresden.de> (abgerufen am 06.04.2018)

wichtigen Schritt stellt die Open Data Initiative des Deutschen Wetterdienstes (DWD) dar²⁴, welche seit der Novelle des Gesetzes über den Deutschen Wetterdienst am 25. Juli 2017 den Zugriff auf eine Vielzahl meteorologischer Daten ermöglicht.

Im EXTRUSO Projekt werden Niederschlagsinformationen neben den stationären Messungen primär aus Bodenradardaten des DWD abgeleitet. Neben der Einbindung über die OGC Web Mapping Service (WMS) Schnittstelle, können Radardaten im RADOLAN (Radar-Online-Aneichung) Kompositformat heruntergeladen und verarbeitet werden. Die Bereitstellung als separate Dateien pro RADOLAN Produkt und Zeitintervall erschwert jedoch den performanten Zugriff, insbesondere hinsichtlich der Abfrage von Zeitreihen. Daher werden diese zunächst in das NetCDF Format konvertiert und dann darüber zugänglich gemacht. Wie in Abbildung dargestellt wurde zu diesem Zweck ein ETL (Extract, Transform, Load) Prozess implementiert, der in regelmäßigen Abständen Radardaten von der DWD OpenData Plattform herunterlädt und anschließend in eine NetCDF Datei schreibt. Die Abfrage raumzeitlicher Daten kann anschließend durch beliebige Anwendungen und Prozessierungsdienste mit NetCDF-Unterstützung erfolgen. Der beschriebene Transformationsprozess umfasst sowohl die einmalige Verarbeitung historischer, als auch die laufende Synchronisierung aktueller Radardaten. Unterstützt werden derzeit die RADOLAN Produkte RW (1h Niederschlagssumme), RX (5min Reflektivität), SF (24h Niederschlagssumme) und FX (2h Vorhersage Reflektivität).

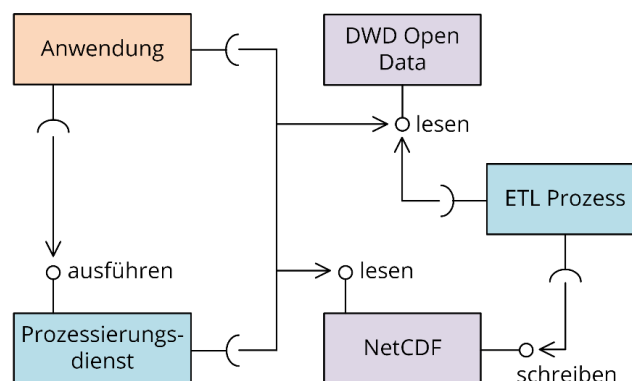


Abbildung 1: Vorverarbeitung der DWD Radardaten: Daten werden von DWD OpenData Plattform geladen und in eine NetCDF Datei geschrieben; der Zugriff auf die NetCDF Datei kann sowohl über die Anwendung als auch einen Prozessierungsdienst erfolgen.

²⁴ DWD Open Data Initiative: <https://www.dwd.de/DE/leistungen/opendata/opendata.html> (abgerufen am 06.04.2018)

Stationsbasierte hydro-meteorologischen Messdaten, die über amtliche Sensormessnetze erfasst werden, müssen von den jeweils zuständigen Behörden frei zugänglich gemacht werden. Um den Zugriff auf diese stark verteilten Daten zu erleichtern, wird das OpenSensorWeb²⁵ Projekt als Datenaggregator genutzt, welches eine Vielzahl von Messnetzen integriert und eine einheitliche Schnittstelle (Elasticsearch) für den Zugriff auf die Daten anbietet.

Neben den genannten amtlichen Eingangsdaten wird im Rahmen des EXTRUSO Projektes untersucht, inwieweit bestehende hydrologische Modelle durch eine detaillierte Oberflächenbeschreibung unterstützt werden können. Ausgewählte Teileinzugsgebiete werden dafür sowohl aus der Luft als auch von einem unbemannten Wasserfahrzeug aus photogrammetrisch erfasst. Diese Daten sollen anschließend zu einem hochaufgelösten Oberflächenmodell fusioniert und über Visualisierungs- und Datendienste zur weiteren Verwendung bereitgestellt werden. Das dafür als Multisensorplattform verwendete Wasserfahrzeug ist in Abbildung dargestellt.

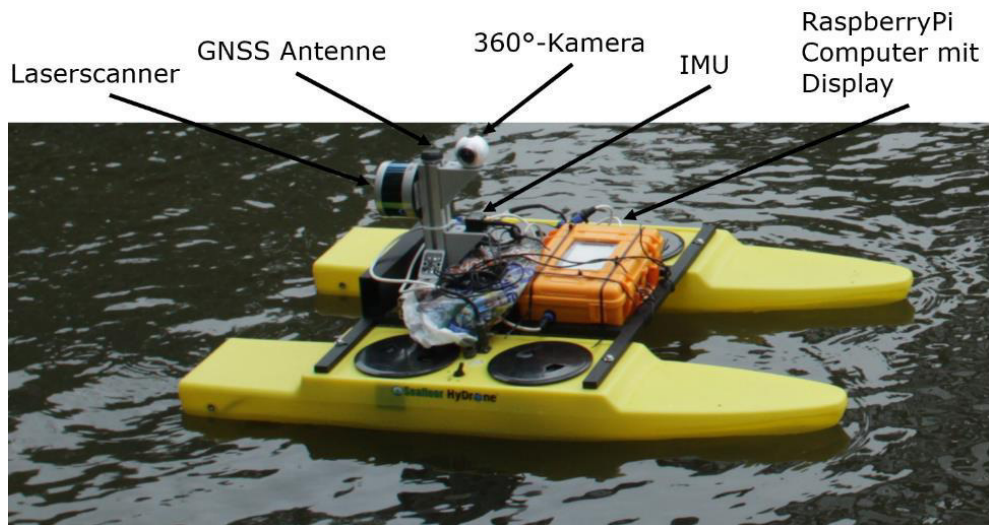


Abbildung 2: Unbemanntes Wasserfahrzeug zur Erfassung eines hochaufgelösten Oberflächenmodells vom Wasser aus.

Ein weiterer wichtiger Aspekt im Projekt ist die Unterstützung von Initiativen zur bürgergetriebenen Erfassung von Umweltdaten. Um existierende Niederschlags- und Pegelmessnetze zu verdichten, werden derzeit low-cost Sensorsysteme entwickelt und getestet, die im weiteren Projektverlauf gemeinsam mit interessierten Bürgern

²⁵ OpenSensorWeb Projekt: <https://opensensorweb.de> (abgerufen am 06.04.2018)

ausgebracht und betrieben werden sollen. Dies umfasst die Nutzung einfacher Kippwaagen für die Niederschlagsmessung [Krüger 2018] sowie ein kamerabasiertes System für die Messung von Pegelständen [Eltner *et al.* 2018]. Auch diese Daten sollen über die OpenSensorWeb Plattform in das Informationssystem integriert werden.

3 Web-basierte Datenanalyse und –prozessierung

Für die Web-basierte Analyse und Prozessierung verfügbarer Daten zur Informationsgewinnung wird die OpenCPU Plattform²⁶ eingesetzt, welche die serverseitige Ausführung von R Skripten ermöglicht. Dies bringt zwar eine Bindung an die Programmiersprache R mit sich, jedoch ist diese im Bereich der statistischen Datenauswertung und hydro-meteorologischen Modellierung bereits weit verbreitet. Das darauf aufbauende Informationssystem unterstützt eine Reihe von Prozessen zur Daten- und Modellintegration, sowie Möglichkeiten zur Erstellung und Ausführung spezifischer Anwendungsszenarien [Wiemann *et al.* 2018].

3.1 Visuelle Exploration vorhandener Daten

Die visuelle und statistische Analyse von hydro-meteorologischen Messreihen ist ein hilfreiches Werkzeug für die Suche nach Mustern und Zusammenhängen in bestehenden Datensätzen, und stellt sowohl für Experten als auch für Laien ein wichtiges Instrument zur Hochwasseranalyse dar. Sowohl die Eingangsdaten als auch die Ergebnisdaten von Anwendungen können daher in Form von interaktiven Karten und Zeitreihen dargestellt werden.

Eine hilfreiche und häufig verwendete Möglichkeit zur visuellen Analyse bereitgestellter räumlicher Daten ist die Berechnung zentraler Statistiken. Diese bietet sich für Einzugsgebiete insbesondere im Zusammenhang mit Niederschlagsmessungen an, um die Bodenfeuchte sowie den potentiellen Abfluss, und somit auch die Gefahr von Sturzfluten, in dem jeweiligen Gebiet einschätzen zu können. Ein Beispielergebnis für eine solche Analyse ist in Abbildung dargestellt. Für einzelne Einzugsgebiete lassen sich somit auch Zeitreihen berechnen, die wiederum in hydro-meteorologischen Modellen als Eingangsdaten verwendet werden können.

²⁶ OpenCPU Plattform: <https://www.opencpu.org> (abgerufen am 06.04.2018)

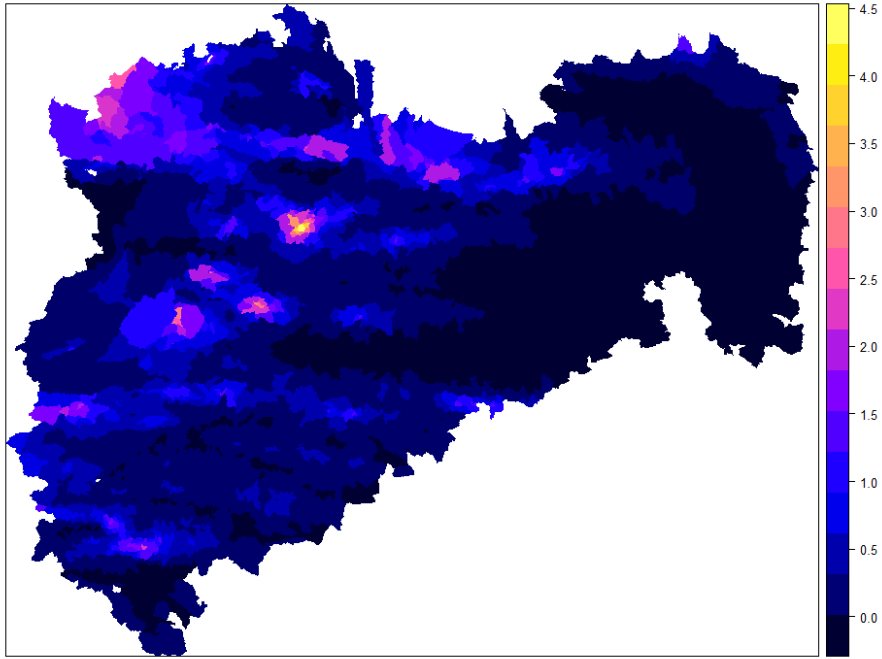


Abbildung 3: Beispiel für ein Niederschlagsmittel in sächsischen Einzugsgebieten; berechnet aus RADOLAN SF Produkt

Eine weitere Beispielanwendung zur Abfrage und visuellen Analyse von Durchfluss- und Niederschlagsdaten, ebenfalls basierend auf der Berechnung zonaler Statistiken, ist in Abbildung dargestellt und besteht im Wesentlichen aus drei Schritten:

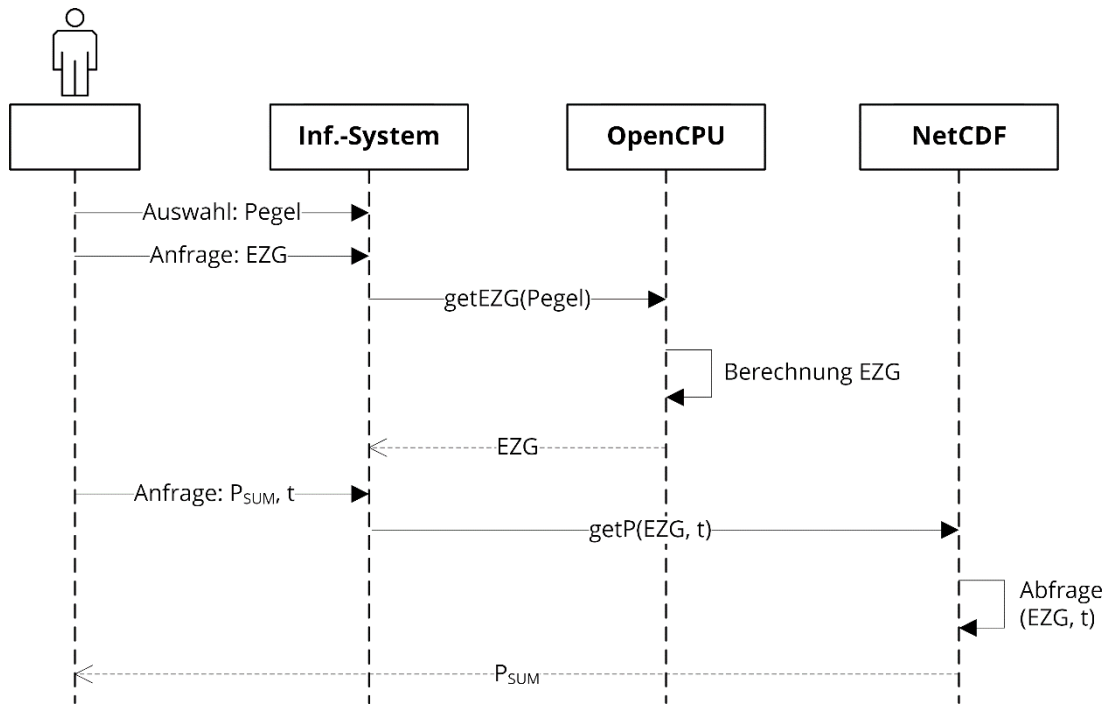


Abbildung 4: UML Sequenz für die Abfrage einer Niederschlagszeitreihe in einem zuvor definierten Einzugsgebiet

1. Auswahl einer Pegelmessstelle für die der Durchfluss und der Flächenniederschlag im Oberlauf parallel dargestellt werden sollen.
2. Ermittlung des Einzugsgebietes (EZG) in dem ausgewählten Punkte; die Berechnung erfolgt serverseitig über die OpenCPU Plattform und basiert auf einem Netzwerkgraphen der amtlich bereitgestellten Teileinzugsgebiete.
3. Ermittlung der Zeitreihe zur Niederschlagssumme (P_{SUM}) in dem zuvor ermittelten Einzugsgebiet für ein definiertes Zeitfenster (t); die Abfrage erfolgt serverseitig über die OpenCPU Plattform und das darunterliegende NetCDF-Format, über das RADOLAN RW Daten in dem ausgewählten Einzugsgebiet für den gewählten Zeitraum extrahiert werden.

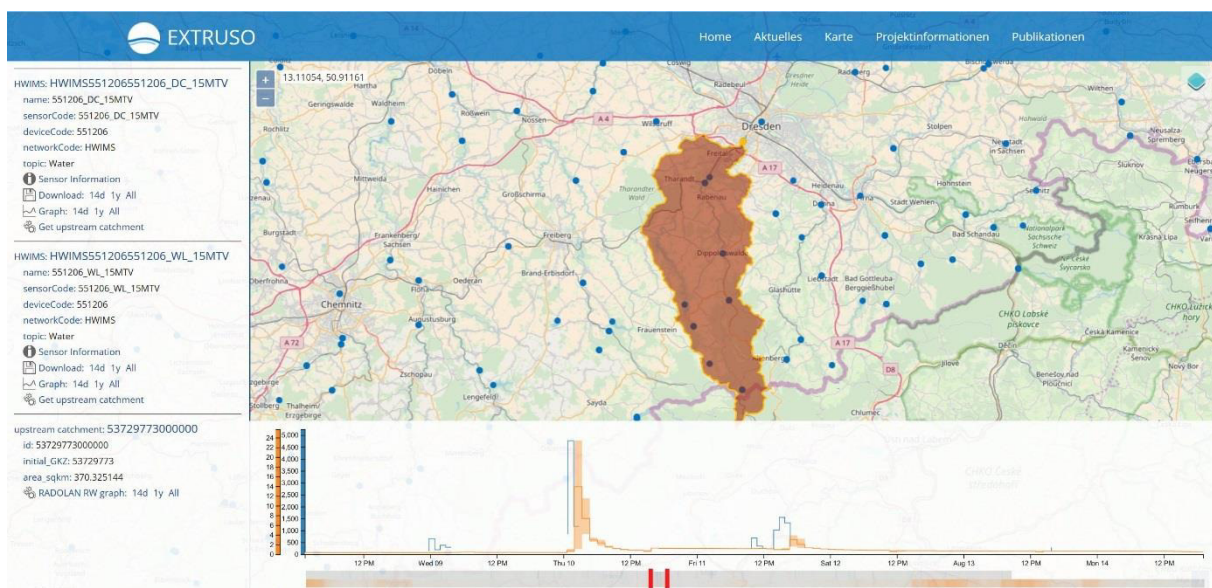


Abbildung 5: Ergebnis der Berechnung einer Niederschlags-Zeitreihe aus RADOLAN Bodenradardaten (blau) für ein zuvor berechnetes Pegel-Einzugsgebiet; Vergleich mit Durchflussmessung am ausgewählten Pegelstandort Weißeritz in Dresden (orange).

Das Ergebnis der Abfrage ist in Abbildung dargestellt. Wie zu erwarten war, ist in ein deutlicher Zusammenhang und zeitlicher Offset zwischen Niederschlagssumme in einem Gebiet sowie dem dazugehörigen Wasserabfluss am Pegel sichtbar. Diese Beziehung kann weiter analysiert und für Vorhersagezwecke genutzt werden, was im Wesentlichen über eine komplexere hydro-meteorologische Modellierung geschieht.

3.2 Hydro-meteorologische Modellierung

Für die Analyse und insbesondere die Vorhersage hydro-meteorologischer Extremereignisse werden im EXTRUSO-Projekt verschiedene Modellansätze genutzt und evaluiert. Das gemeinsame Ziel dabei ist die Bestimmung des hydro-

meteorologischen Zustandes in einem gewählten Einzugsgebiet sowie die potentielle Änderung dieses Zustandes durch prognostizierte Niederschläge. Dadurch sollen kritische Zustände und Gefährdungen frühzeitig identifiziert werden. Folgende drei Modellansätze werden derzeit umgesetzt:

- Ermittlung der Bodenfeuchte über das BROOK90 Modell [Federer *et al.* 2003], welches häufig im Kontext bodenhydrologischer Simulationen in bewaldeten Gebieten eingesetzt wird, aber auch auf andere Landbedeckungsarten und jahreszeitliche Änderungen angepasst werden kann. 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 und somit eine erhöhte Sturzflutgefahr. Die Parametrisierung und Ausführung des Modells im Informationssystem wird über eine direkte Implementierung in R realisiert.
- Auf Basis des RAVEN Hydrological Framework [Craig und Raven Development Team 2017] wird eine konzeptionelle hydrologische Modellierung getestet. Diese ermöglicht über eine Reihe verschiedener Prozessmodule eine flexible Anpassung der jeweiligen Modellstruktur an die Charakteristika verschiedener Einzugsgebiete. Die Integration im Informationssystem erfolgt über eine ausführbare Datei, die über die OpenCPU Plattform parametrisiert aufgerufen wird.
- Die Vorhersage von Durchflusswerten einzelner Pegelstandorte wird über eine datengetriebene hydrologische Modellierung realisiert. Diese basiert auf der Neuronal Network Toolbox von MATLAB und verwendet verfügbare Durchflussdaten sowie Niederschlagsinformationen in einem Einzugsgebiet zur Vorhersage des jeweiligen Pegelwertes. Die Integration in das Informationssystem erfolgt über den Aufruf ausführbarer Skripte, die die einzugsgebiets-spezifisch trainierten Netze enthalten, auf vorgehaltene Daten zugreifen und entsprechende Prognosen rechnen können.

Neben der Ausführung vordefinierter Funktionen bietet die OpenCPU Plattform auch die Möglichkeit, bereitgestellte Daten direkt in R zu verarbeiten. Zu diesem Zweck wird

die RStudio Server²⁷ Anwendung verwendet, die auf demselben Server installiert ist und fortgeschrittenen R-Nutzern die Möglichkeit bietet, eigene Zeitreihenanalysen und Berechnungen durchzuführen.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Ein wichtiger Aspekt bei der Erstellung des beschriebenen Informationssystems ist die Zusammenführung unabhängiger Komponenten über definierte Schnittstellen. Dies soll die Nachnutzung der entwickelten Methoden unabhängig vom Projekt sicherstellen. Der Quellcode der Entwicklungen ist größtenteils frei verfügbar²⁸.

Die größte Herausforderung und Leistung in dem Projekt ist zweifelsohne die Zusammenführung der individuellen Systemkomponenten aus den unterschiedlichen Disziplinen. Diese basieren häufig auf eigenständigen domänenspezifischen Entwicklungen, wie z.B. Spezialsoftware oder eigenen Datenformaten, die nicht ohne Weiteres in andere Disziplinen oder dienstbasierte Informationssysteme übertragen werden können. An dieser Stelle hat sich die frühzeitige Einigung auf Austauschformate und Schnittstellen als sehr hilfreich erwiesen.

Das Informationssystem mit seinen Teilkomponenten ist modular gestaltet und kann daher erweitert und auch in anderen Anwendungskontexten angewendet werden. Alle implementierten Methoden, mit Ausnahme der hydro-meteorologischen Modellierung, sind möglichst generisch implementiert. So erlaubt beispielsweise die NetCDF Komponente das Einlesen und die Verarbeitung beliebiger raum-zeit-Kontinua. Ähnliches gilt für die Berechnung zentraler Statistiken, die Einbindung von Sensordaten über die OpenSensorWeb Plattform als auch die Berechnung von Konnektivitätsgraphen.

Im weiteren Verlaufe des Projektes sollen die entwickelten hydro-meteorologischen Modelle zur Bodenfeuchtemodellierung und Abflussvorhersage miteinander verknüpft werden, um die Möglichkeit von Multi-Modell-Ensembles zu erhalten, mit denen insbesondere die Unsicherheiten in der Prognose von Extremereignissen besser abgebildet werden kann. Als Eingangsdaten für diese Modelle sollen neben den

²⁷ RStudio Server: <https://www.rstudio.com/products/rstudio/#Server> (abgerufen am 06.04.2018)

²⁸ R-Package: https://github.com/GeoinformationSystems/xtruso_R (abgerufen am 06.04.2018),
Webseite: https://github.com/GeoinformationSystems/xtruso_web (abgerufen am 06.04.2018)

offiziell bereitgestellten Sensor- und Radardaten auch das photogrammetrisch generierte Oberflächenmodell sowie die über low-cost Sensorik ermittelten Messzeitreihen verarbeitet werden.

5 Literaturverzeichnis

- Bronstert, A., Agarwal, A., Boessenkool, B., Fischer, M., et al. (2017): Die Sturzflut von Braunsbach am 29. Mai 2016 – Entstehung, Ablauf und Schäden eines „Jahrhundertereignisses“. Teil 1: Meteorologische und hydrologische Analyse. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*. 61 (3), 150–162. DOI: 10.5675/HyWa_2017,3_1.
- Craig JR, the Raven Development Team (2017): Raven user's and developer's manual (Version 2.7).
- EASAC (2013): Trends in extreme weather events in Europe: implications for national and European Union adaption strategies. In: European Academies Science Advisory Council. Policy report 22, November 2013. (November).
- Eltner, A., Sardemann, H., Kröhnert, M. & Maas, H.-G. (2018): Entwicklung eines low-cost Kamerapegels zur Erfassung hydrologischer Extremereignisse. In: PFGK18: Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformatik - Kartographie 2018.
- Federer C. A., Vörösmarty C., Fekete B. (2003): Sensitivity of Annual Evaporation to Soil and Root Properties in Two Models of Contrasting Complexity. *J Hydrometeorol* 4, 1276–1290. DOI: 10.1175/1525-7541(2003)004<1276:SOAETS>2.0.CO;2.
- Hübl, J. (2017): Hochwasser Simbach 2016: Dokumentation und Analyse. In: R Jüpner & U Müller (eds.). 9. Forum Hochwasserrisikomanagement, Band 9. 2017 pp. 139–150.
- Krüger, R. (2018): Entwicklung eines Low-Cost Sensor Systems zur Erfassung hydrometeorologischer Extremereignisse. In: PFGK18: Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformatik - Kartographie 2018.
- Wiemann, S., Al Janabi, F., Eltner, A., Krüger, R., et al. (2018): Entwicklung eines Informationssystems zur Analyse und Prädiktion hydro-meteorologischer Extremereignisse in mittleren und kleinen Einzugsgebieten. In: Niels Schütze, Uwe Müller, Robert Schwarze, Thomas Wöhling, et al. (eds.). M3 - Messen, Modellieren, Managen in Hydrologie und Wasserressourcenbewirtschaftung. 2018 Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften. pp. 357–367.