

**Beitrag H: Simon Burkard, Frank Fuchs-Kittowski, Ruben Müller,
Bernd Pfützner**

Hochwassermanagement-Plattform für kleinere Städte und Kommunen mit Bürgerbeteiligung

Crowd Sourcing and Mobile Sensing for Flood Management in Small Catchment Areas

Simon Burkard¹, Frank Fuchs-Kittowski¹, Ruben Müller², Bernd Pfützner²

¹HTW Berlin, {[s.burkard](mailto:s.burkard@htw-berlin.de) / [frank.fuchs-kittowski](mailto:frank.fuchs-kittowski@htw-berlin.de)}@htw-berlin.de

²BAH Berlin, {[ruben.mueller](mailto:ruben.mueller@bah-berlin.de) / [bernd.pfuetzner](mailto:bernd.pfuetzner@bah-berlin.de)}@bah-berlin.de

Abstract

In urban areas the damage potential by flood events is particularly high, regularly causing damages and economic losses. Early warning systems that can forecast such events with sufficient lead time are therefore very important. However, especially for small catchment areas the establishment and operation of forecasting systems is very difficult. On the one hand early warning systems have to deal with high spatial uncertainties of precipitation forecasts, on the other hand small catchments often show very fast reactions of the basin to heavy precipitation events. Moreover, in small catchments automatic gauging stations are often missing. This makes early flood forecasting complicated and very challenging.

This paper presents a software platform for the flood management particularly for small river basins in German municipalities. It tries to solve the problems mentioned above via civic involvement by incorporating Volunteered Geographic Information (VGI). For this purpose, volunteers (citizens, municipal employees) are asked to acquire relevant hydrological and meteorological data via a smartphone application in order to compensate for the lack of official gauging stations. This includes e.g. water level measurements acquired via mobile image-based measurement methods. The information captured by volunteers is – in addition to open publicly available forecasting data provided by the German Meteorological Service Provider – automatically incorporated into the forecasting system in order to minimize forecasting uncertainties. A web-based dashboard available to crisis managers, e.g. disaster relief forces,

visually processes and displays all relevant information and forecasting data thus enabling convenient monitoring of the situation (situation awareness).

Zusammenfassung

Hochwasserfrühwarnung für kleine Einzugsgebiete ist eine herausfordernde Aufgabe. Zum einen sind die verursachenden kleinräumigen meteorologischen Ereignisse in ihrem raumzeitlichen Auftreten nur bedingt vorhersagbar, so dass die Hochwasserfrühwarnung mit hohen Unsicherheiten behaftet ist. Zum anderen reagieren die kleinen Einzugsgebiete sehr schnell auf solche Ereignisse, so dass die Vorwarnzeiten oftmals zu gering sind. Zudem fehlen in kleinen Einzugsgebieten oftmals Messinfrastrukturen (Pegel etc.), was die Hochwasserfrühwarnung zusätzlich verkompliziert.

In diesem Beitrag wird eine Software-Lösung für das Hochwassermanagement (HWM) speziell für Kommunen mit kleinen Einzugsgebieten (Gewässer 2. Ordnung) vorgestellt. Zum einen bietet sie auf Basis von meteorologischen Daten von Wetterdiensten (DWD) vollautomatisch, ausreichend lange Vorwarnzeiten durch eine ortsbezogene Bewertung von Niederschlagsvorhersagen und optional berechneten Hochwasservorhersagen. Zum anderen bezieht sie freiwillige Helfer, wie Bürger oder kommunale Angestellte, über eine Smartphone-Anwendung mit ein, um Daten für das HWM zu sammeln und bereitzustellen und somit vor Ort fehlende Messinfrastruktur auszugleichen. Neben Wasserständen, die mittels bildbasierten Messverfahren per Smartphone gemessen werden, zählen dazu Fotoaufnahmen, momentane Niederschlagsintensitäten und abgeschätzte Schneehöhen. Die auf diese Weise aufgenommenen und in Echtzeit bereitgestellten Informationen (VGI) fließen in die Hochwasservorhersage ein, helfen Unsicherheiten zu mindern und fördern die Situationsbeurteilung während eines Hochwassers. Eine Web-Oberfläche (Dashboard) für Ämter und Einsatzkräfte visualisiert die eingehenden Informationen und Vorhersagen und erlaubt somit eine umfassende Überwachung und Beurteilung der aktuellen Situation (situation awareness).

1 Einleitung

Hochwasser gehören zu den Naturgefahren, die die zivile Bevölkerung direkt bedrohen und regelmäßig große Schäden verursachen. In urbanen Gebieten ist das Schadenspotential durch Hochwasserereignisse besonders hoch. Um zielgerichtete Schutzmaßnahmen zu ermöglichen, kommt daher einem verlässlichen Hochwassermanagement (HWM) mit frühzeitigen Vorhersage- und Warnsystemen eine besondere Bedeutung zu [Kundzewicz 2013].

Für großräumige Bereiche geben in der Regel die Hochwassermeldezentralen der Länder offizielle Hochwasserwarnungen an Behörden und die Bevölkerung heraus. Für gefährdete kleine Einzugsgebiete in Kommunen und Städten kann jedoch meist keine eigene Abschätzung der hydrologischen oder meteorologischen Entwicklung stattfinden, obwohl dies oftmals gewünscht wird [Philipp et al. 2015]. Gründe hierfür sind u.a. der sehr große und kaum leistbare Aufwand von Niederschlags-Abfluss-Modellierungen für eine große Anzahl kleiner Einzugsgebiete und fehlende Pegelmessnetze an kleinen Gewässern. Mit kleiner werdenden Einzugsgebietsgrößen steigen zudem rasch die hydrologischen und meteorologischen Unsicherheiten [Collier 2007; Beven 2012].

Im Zuge von neuen Entwicklungen, wie den seit Juli 2017 frei verfügbaren Vorhersagedaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) sowie der immer größeren Verfügbarkeit von privaten mobilen Endgeräten zur Aufnahme und Bereitstellung von meteorologischen und hydrologischen Daten (z.B. zur Messung von Wasserständen) durch freiwillige Helfer [See et al. 2016], offenbaren sich neue vielfältige Möglichkeiten zur Realisierung von innovativen Softwarelösungen speziell für das HWM in Kommunen und Städten [Müller et al. 2017].

Dieser Beitrag stellt eine Software-Lösung für das Hochwassermanagement (HWM) mit Bürgerbeteiligung speziell für Kommunen mit kleinen Einzugsgebieten (Gewässer 2. Ordnung) vor, die die oben adressierten Probleme löst, u.a. durch Einbindung von freiwillig bereitgestellten Geodaten („Volunteered Geographic Information“, kurz: VGI) [Goodchild 2007]. Zunächst werden die Anforderungen vorgestellt, die speziell für das Hochwassermanagement in kleinen Einzugsgebieten über Workshops in mehreren Kommunen identifiziert wurden (Kapitel 2). Anschließend wird die entwickelte HWM-Plattform präsentiert, wobei die Lösungsansätze, der prinzipielle Ablauf für den Einsatz der HWM-Plattform sowie die Architektur der HWM-Plattform vorgestellt werden (Kapitel 3). Bei der Präsentation der einzelnen Plattform-Komponenten wird schließlich im Detail erläutert, wie die genannten Anforderungen durch die präsentierte Softwareplattform gelöst werden (Kapitel 4). Kapitel 5 gibt einen Einblick in die technische Umsetzung und Implementierung der Plattform. Eine abschließende Zusammenfassung bietet einen Ausblick auf die weitere Entwicklung und das weitere Vorgehen zur Evaluation und zum Pilotbetrieb der HWM-Plattform (Kapitel 6).

2 Anforderungen an das Hochwassermanagement in kleinen Einzugsgebieten

Zur Ermittlung von Anforderungen an ein Hochwasserfrühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete mit Bürgerbeteiligung (VGI) wurden mehrere Workshops mit den Pilotanwendern des VGI4HWM-Projekts (Stadt Chemnitz, Stadt Dessau-Roßlau, LHW Sachsen-Anhalt) durchgeführt. Als Ergebnis dieser Workshops mit verschiedenen Kommunen wurden folgende zentrale Probleme bzw. Anforderungen an eine Hochwassermanagement-Plattform identifiziert:

- **Ortsbezogene Warnungen mit ausreichend langen Vorwarnzeiten:** Warnmeldungen sollen ortsbasiert und mit konkreten Warnstufenklassifikationen erstellt sowie möglichst frühzeitig und automatisiert an Verantwortliche geschickt werden
- **Ergänzung der fehlenden Pegelinfrastruktur:** Eine eigens betriebene Pegelinfrastruktur ist insbesondere für kleinere Gemeinden kostspielig. Gemessene Durchflussdaten sind für fundierte Hochwasservorhersage jedoch notwendig.
- **Bewertung und Minimierung von Vorhersageunsicherheiten:** Modellunschärfen und unsichere Niederschlagsvorhersagen führen zu unsicheren bzw. falschen Hochwasservorhersagen.
- **Situationsüberwachung bei angespannter Personallage:** Insbesondere bei angespannter Personallage ist während eines Hochwasserereignisses die Beurteilung und Überwachung der Situation im Einzugsgebiet aufwändig und schwierig.
- **Aufwändige Dokumentation und Aufarbeitung:** Es fehlt eine geeignete (IT-) Infrastruktur, um abgelaufene Hochwasserereignisse und Hochwasserschäden zu dokumentieren.
- **Sensibilisierung der Bevölkerung vor Hochwassergefahren:** Das Bewusstsein der Bevölkerung über mögliche Gefahren von Hochwasser ist nicht immer ausreichend vorhanden.

3 Die Hochwassermanagement-Plattform

3.1 Lösungsansätze der HWM-Plattform

Um diese Probleme zu lösen bzw. die damit verbundenen Ziele zu erreichen wurde eine neuartige Hochwassermanagement-Plattform konzipiert, die speziell kleinere Städte und Kommunen im HWM unterstützen soll. Diese zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass Bürger bei der Aufnahme und Bereitstellung von Messdaten (VGI-Daten) mittels ihrer privaten Smartphones miteinbezogen werden können. Die Plattform bietet damit u.a. die folgenden Möglichkeiten (Abbildung 1):

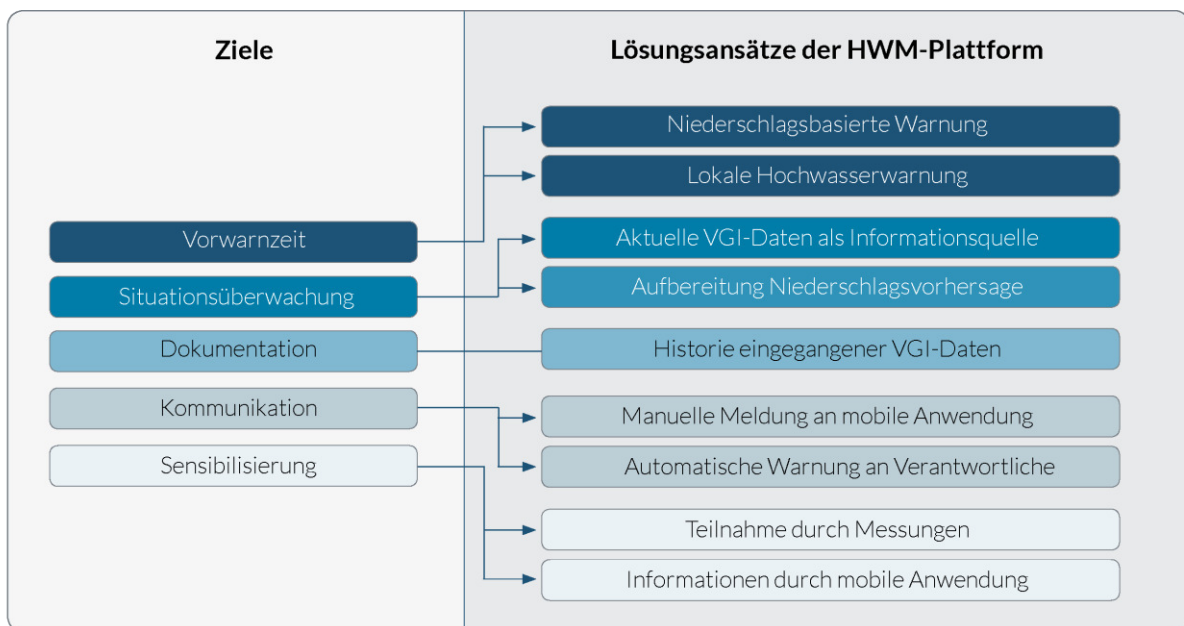


Abbildung 1: Ziele und Lösungsansätze der HWM-Plattform

- **Ortsbezogene Warnungen mit ausreichend langen Vorwarnzeiten:** Kombinierte Warnmeldungen aus zonenbasierter Bewertung von Niederschlagsvorhersagen und lokal berechneter Hochwasservorhersage (Vorhersagehorizont bis zu 27h) [Müller et al. 2017].
- **Ergänzung der fehlenden Pegelinfrastruktur durch VGI-Wasserstandmessungen:** Wasserstände werden mittels mobiler Anwendung durch freiwillige Helfer bereitgestellt (VGI). Eine kostenintensive Installation stationärer automatischer Pegelmessstationen entfällt somit. [Burkard et al. 2017].

- **VGI-Messdaten zur Bewertung und Minimierung von Vorhersageunsicherheiten:** VGI-Daten helfen bei der Niederschlagsklassifizierung sowie bei der Validierung der HW-Vorhersagen und der Modellnachführung.
- **Situationsüberwachung bei angespannter Personallage:** Über das Web-Dashboard und die mobile App werden VGI-Daten und Vorhersagen in Echtzeit kartenbasiert dargestellt und helfen bei der Beurteilung der Situation im Einzugsgebiet.
- **Aufwändige Dokumentation und Aufarbeitung mittels VGI-Fotoaufnahmen:** Dokumentation ist möglich mittels Fotoaufnahmen durch mobile Anwendung.
- **Sensibilisierung der Bevölkerung vor Hochwassergefahren:** Das aktive Sammeln von VGI-Daten und die Nutzung der mobilen Anwendung sensibilisiert Nutzer für Hochwasserschutz und informiert über Hochwassergefahren.

3.2 Architektur und Komponenten der HWM-Plattform

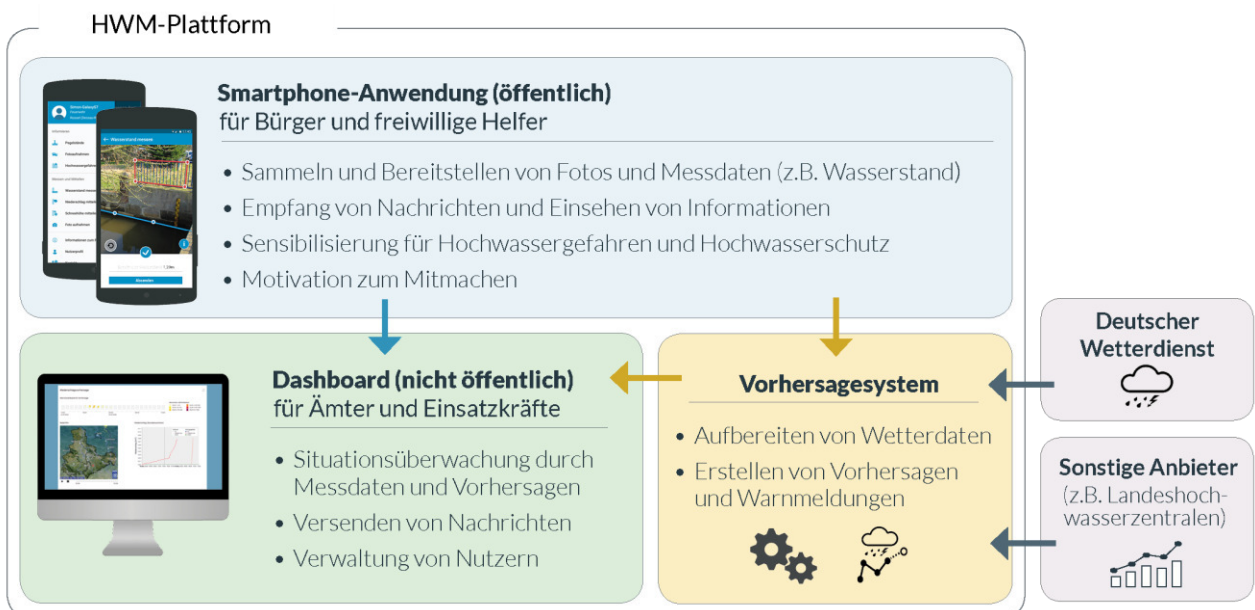


Abbildung 2: Übersicht über die Komponenten der HWM-Plattform

Die Architektur der HWM-Plattform besteht grob aus drei Komponenten (Abbildung 2). Über die **mobile Anwendung** nehmen freiwillige Teilnehmer (Bürger) Messdaten auf (Abschnitt 4.1) und stellen diese der Plattform zur Verfügung. Autorisierte Anwender (z.B. Einsatzkräfte der Feuerwehr) können schließlich über einen Webbrowser das

passwortgeschützte **Dashboard** (Abschnitt 4.3) aufrufen, um alle Vorhersagen und wichtigen Informationen schnell und einfach einzusehen und die Plattform zu administrieren. Mittels per E-Mail oder SMS zugestellten Warnmeldungen können die Dashboard-Anwender zusätzlich aktiv aufgefordert, das Dashboard für weitere Informationen zu besuchen. Um den personellen Aufwand zur Betreuung der HWM-Plattform minimal zu halten, läuft die **Vorhersagekomponente** (Abschnitt 4.2) vollautomatisch im Hintergrund und generiert automatisch Warnmeldungen für die Anwender auf Basis von operationellen Hochwasservorhersagen und der Analyse von Niederschlagsvorhersagen. Für die Erstellung der Vorhersagen und Warnmeldungen werden dabei neben den nutzergenerierten VGI-Daten unter anderem auch frei verfügbare offizielle Daten von externen Anbietern, z.B. des Deutschen Wetterdienstes oder von Landeshochwasserzentralen, einbezogen.

3.3 Prinzipieller Ablauf des Einsatzes der HWM-Plattform

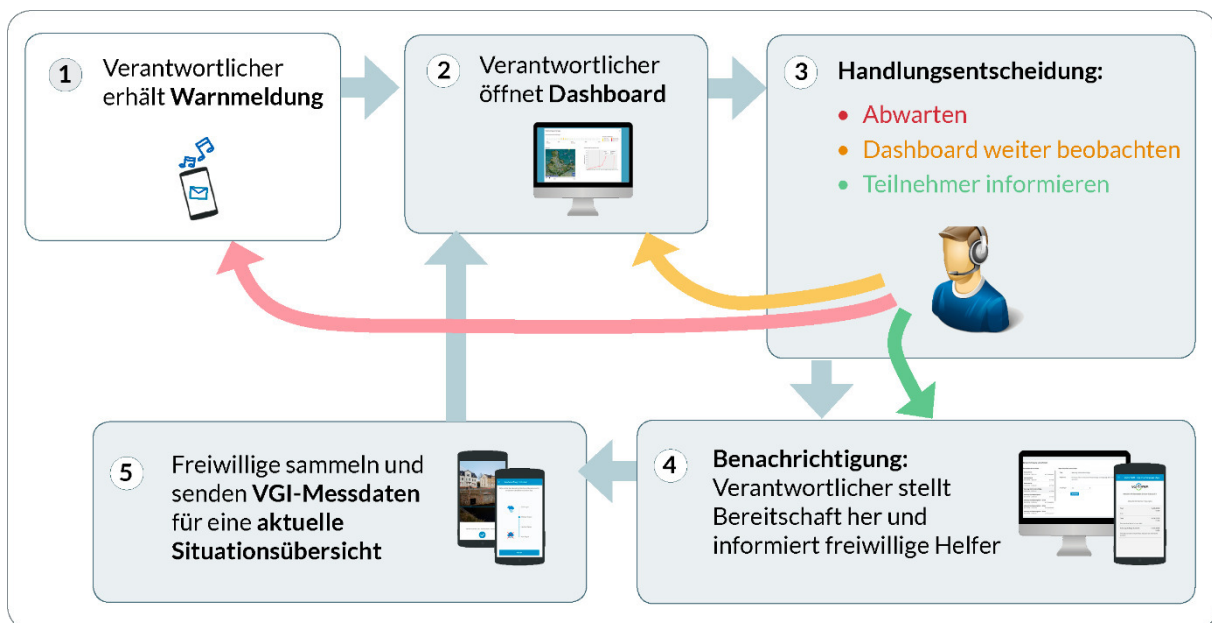


Abbildung 3: Der typische Bedienungsablauf der HWM-Plattform

Der Einsatz der Softwarelösung folgt idealerweise einem systematischen Vorgehen (siehe Abbildung 3):

Warnmeldungen werden durch die Vorhersagekomponente automatisch generiert und an autorisierte Anwender des HWM-Dashboards (z.B. Einsatzkräfte der Feuerwehr) per E-Mail oder SMS verschickt, um diese aktiv dazu auffordern, das Dashboard zur weiteren Beobachtung zu besuchen. Diese können das Dashboard als Web-

Oberfläche zur Situationsüberwachung im Hochwasserfall sowie zur Überwachung aller eingehenden VGI-Daten nutzen.

Basierend auf der per Dashboard überwachten aktuellen Situation und Gefahrenlage werden von den Verantwortlichen Handlungsentscheidungen getroffen. In einer akuten Gefahrenlage wird von Verantwortlichen eine Bereitschaft hergestellt. Gegebenenfalls können außerdem VGI-Freiwillige per Push-Benachrichtigung auf deren Smartphone benachrichtigt werden, um aktuellen Daten (z.B. Wasserstände oder Fotoaufnahmen) einzusenden. Die freiwilligen Helfer sammeln und messen mit ihren eigenen Smartphones und der bereitgestellten Smartphone-Anwendung schließlich die erforderlichen Daten und senden diese an die HWM-Plattform. Neu eingetroffene Daten werden unmittelbar am Dashboard visualisiert und ermöglichen den verantwortlichen Einsatzkräften eine Neueinschätzung der aktuellen Gefahrenlage.

4 Haupt-Komponenten der HWM-Plattform

Die Funktionsweisen und Eigenschaften der drei Hauptkomponenten der HWM-Plattform (Mobile Anwendung, Vorhersagesystem und Dashboard) sollen im Folgenden genauer präsentiert werden. Dabei soll im Detail erläutert werden, wie die genannten Anforderungen und Ziele durch die entwickelte Plattform gelöst werden können.

4.1 VGI-Daten und mobile Smartphone-Anwendung





Bürgern sammeln Information mittels Smartphone-App				
		Wie?	Wo?	Warum?
	Foto	Foto aufnehmen	Überall	Zur Dokumentation der Schäden und als Information für Einsatzkräfte
	Wasserstand	Pegellatte ablesen oder bildbasierte Messverfahren	An vorgegebenen Messstellen	Vorhersageunsicherheit mindern und als Information für Einsatzkräfte
	Niederschlag	Abschätzen	Überall	Bessere Bewertung von Niederschlagsvorhersagen
	Schneehöhe	Abschätzen	Überall	Vorhersageunsicherheit mindern

Abbildung 4: Messdaten und Informationen, die von Bürgern mittels mobiler App erhoben werden

Freiwillige haben über die mobile Anwendung die Möglichkeit, Messwerte oder Informationen zu sammeln und für bestimmte Zwecke bereitzustellen (VGI-Daten). Dazu zählen Fotoaufnahmen, Wasserstände, Klassifikation des Niederschlags sowie Schneehöhen (Abbildung 4). Der Aufnahmeort aller Informationen ist in der Regel im Einzugsgebiet frei wählbar, lediglich die Messung des Wasserstandes erfolgt an zuvor festgelegten Messstandorten. Alle gesammelten Informationen sind mit Aufnahmezeitpunkt und Standort im Dashboard sofort einsehbar.

Die Schneehöhe und die Niederschlagsintensität werden mittels grober Schätzung von den freiwilligen Helfern bestimmt. Neben der Option, Wasserpegel manuell an installierten Pegellatten abzulesen, stehen für die Messung des Wasserstandes zusätzlich auch halbautomatische bildbasierte Messmethoden zur Verfügung. Hierfür werden im Vorfeld an den vorgegebenen Messstellen Referenzpunkte (z.B. Markierungen am Brückengeländer) definiert und vermessen (Abbildung 5a).

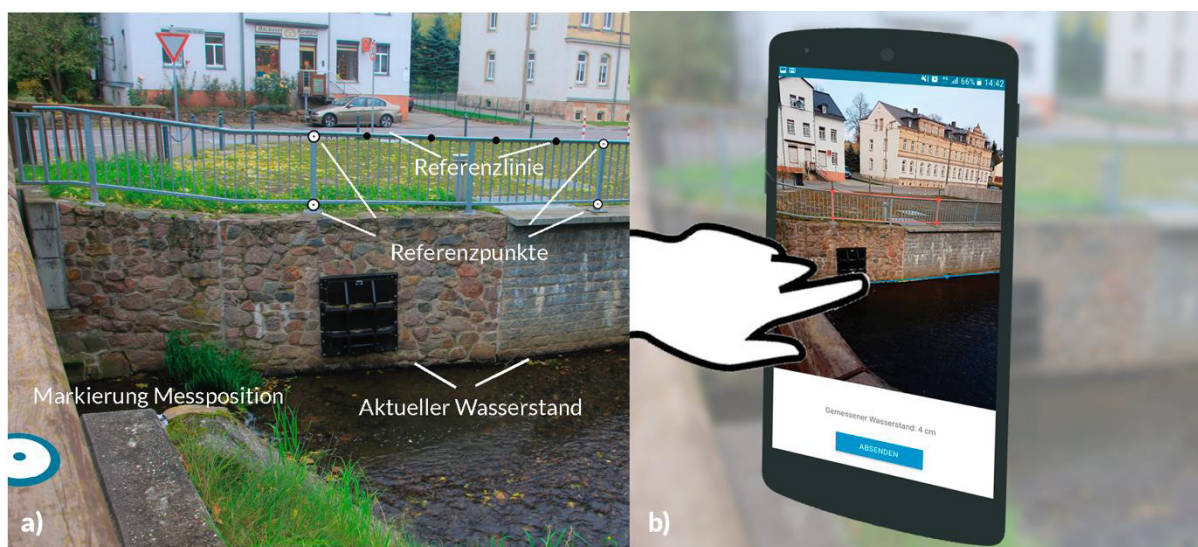


Abbildung 5: Eine geeignete Messstelle zur Messung des Wasserstandes muss im Vorfeld vermessen vorbereitet werden (a). Mittels bildbasierter Messmethoden kann der Wasserstand schließlich per Smartphone-Anwendung zentimetergenau gemessen werden (b).

Die Messung erfolgt dann durch Mithilfe des Nutzers mittels entsprechender Nutzerinteraktionen. Der Nutzer zeichnet dabei auf dem Smartphone in einem Kamerabild, welches von einer beliebigen Position aus aufgenommen wurde, die bekannten Referenzpunkte sowie den aktuellen Wasserstand ein (Abbildung 5b). Der Wasserstand kann anschließend zentimetergenau berechnet werden. Eine weitere bildbasierte Messmethode bezieht die im Smartphone integrierten Orientierungssensoren mit ein. Von festgelegter Messposition aus visiert der Nutzer

dabei eine Referenzlinie (z.B. ein Brückengeländer) an, neigt das Smartphone und visiert abschließend die Linie des aktuellen Wasserstands an. Durch die Kenntnis der Referenzlinie und der festgelegten Messposition sowie den durch die Smartphone-Sensorik automatisch bestimmten Neigungswinkel, kann auch mit dieser Methode innerhalb von wenigen Sekunden der aktuelle Wasserstand bestimmt werden.

Unter kontrollierten Bedingungen kann bei beiden Methoden der Wasserstand mit einem relativen Fehler von etwa 3% gemessen werden [Burkard et al. 2017], im realen Einsatz ist jedoch von einer geringeren Genauigkeit auszugehen. Um aus dem gemessenen Wasserstand ebenfalls den Durchfluss am Messstandort zu bestimmen, sind zusätzlich die Messquerschnitte vor Ort im Vorfeld zu vermessen. Diese sollten daher ein definiertes Profil aufweisen, wie Rechteck und Trapezprofile.

Um auf eine große Mithilfe aus der Bevölkerung zurückgreifen zu können, sind Maßnahmen zur Akquise und Motivierung von Freiwilligen notwendig [Fuchs-Kittowski 2018]. Eine Übersicht über Stand der Wissenschaft in diesem Bereich gibt z.B. [Richter 2017]. Wichtig ist, die Freiwilligen auch für regelmäßige Messungen zu gewinnen. Städte und Kommunen müssen sich aber nicht alleine auf ortsansässige Bürger als freiwillige Helfer verlassen, sondern können auch Mitwirkende aus dem Umfeld der Angestellten im Außeneinsatz oder von Wasserwehren einsetzen.

Das Hochwasser-Bewusstsein der Freiwilligen wird durch das aktive Mitwirken bei der Bereitstellung der Messdaten gestärkt. Weiterhin bietet die mobile Smartphone-Anwendung zusätzliche Informationen zur Sensibilisierung der Nutzer vor Hochwassergefahren (Abbildung 6). Dazu zählen interaktive Hochwassergefahrenkarten, das Einsehen von Hochwasser-Fotoaufnahmen durch andere App-Nutzer sowie die Möglichkeit, entsprechende Meldungen durch die Einsatzleitung über das Dashboard direkt auf dem Smartphone per Push-Benachrichtigung zu empfangen.

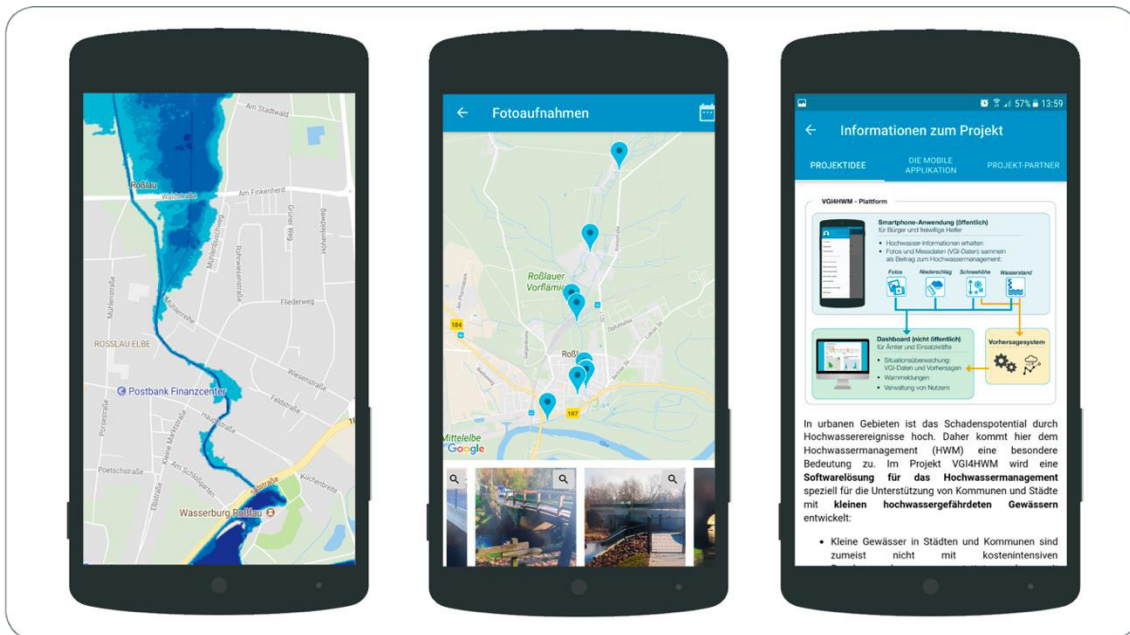


Abbildung 6: Zusätzliche hochwasserrelevanten Informationen in der Smartphone-App (z.B. Hochwassergefahrenkarten) tragen zur Sensibilisierung der Bevölkerung vor Hochwassergefahren bei

4.2 Vorhersagesystem

4.2.1 Offizielle meteorologische und hydrologische Daten

Neben der optionalen Einbeziehung von nutzergenerierten VGI-Daten verwendet die Vorhersagekomponente der HWM-Plattform zur Erstellung von Hochwasserwarnungen und -vorhersage offizielle frei verfügbare Daten des Deutschen Wetterdienstes. Die frei verfügbaren meteorologischen Vorhersageprodukte des DWD umfassen Daten des Regionalmodells COSMO-DE, des Globalmodells ICON und der radarbasierten Niederschlagsvorhersage RADVOR (Produkt FX). Zusätzlich finden Beobachtungswerte aus dem Stationsmessnetz des DWD Verwendung. Eine Vorhersage liegt für das FX Produkt alle 5 Minuten vor, der Vorhersagehorizont ist jedoch im Vergleich zu COSMO-DE und ICON deutlich geringer (Tabelle 1).

Produkt	Verfügbarkeit	Verwendeter Vorhersagehorizont	Auflösung Zeit / Raum
COSMO-DE	alle 3 h	27 h	2,8 km / 1 h
ICON (EU-Nest)	alle 3 h	30 h	13 km / 1h
RADVOR (FX)	alle 5 min	2 h	1 km / 5min

Tabelle 1: Verwendete meteorologische Vorhersageprodukte des DWD

4.2.2 Operationelle Hochwasservorhersage

Das Vorhersagesystem basiert auf einer modellbasierten Vorhersage mittels Niederschlags-Abfluss-Modellierungen (N-A-Modellierungen) über das Modellierungssystem ArcEGMO [Becker et al. 2002]. Für jede Vorhersage aus den DWD-Produkten ICON, COSMO-DE, FX erfolgt eine N-A-Simulation in einem jeweils eigenständigen Modell. Abbildung 7 stellt hierfür den generellen Ablauf innerhalb des Vorhersagesystems dar. In periodischen Abständen wird dabei außerdem eine Modellnachführung durchgeführt. Dies erfordert Daten aus dem Stationsmessnetz und Pegel- oder VGI-Wasserstandsdaten über einen längeren Zeitraum hinweg. Mehrmals täglich wird die Aktualisierung der DWD-Vorhersageprodukte geprüft. Mit der Verfügbarkeit neuer Vorhersagedaten des DWD erfolgt deren Aufbereitung, die N-A-Modellierung für die Hochwasservorhersage sowie die Auswertung der Niederschlagsvorhersagen für die rein niederschlagsbasierten Warnungen (Abschnitt 4.2.3). Wurden hierbei Warnklassen ausgerufen, erfolgt das Absetzen einer Warnmeldung, beispielsweise per E-Mail oder SMS an die Dashboard-Anwender (Abschnitt 4.2.4).

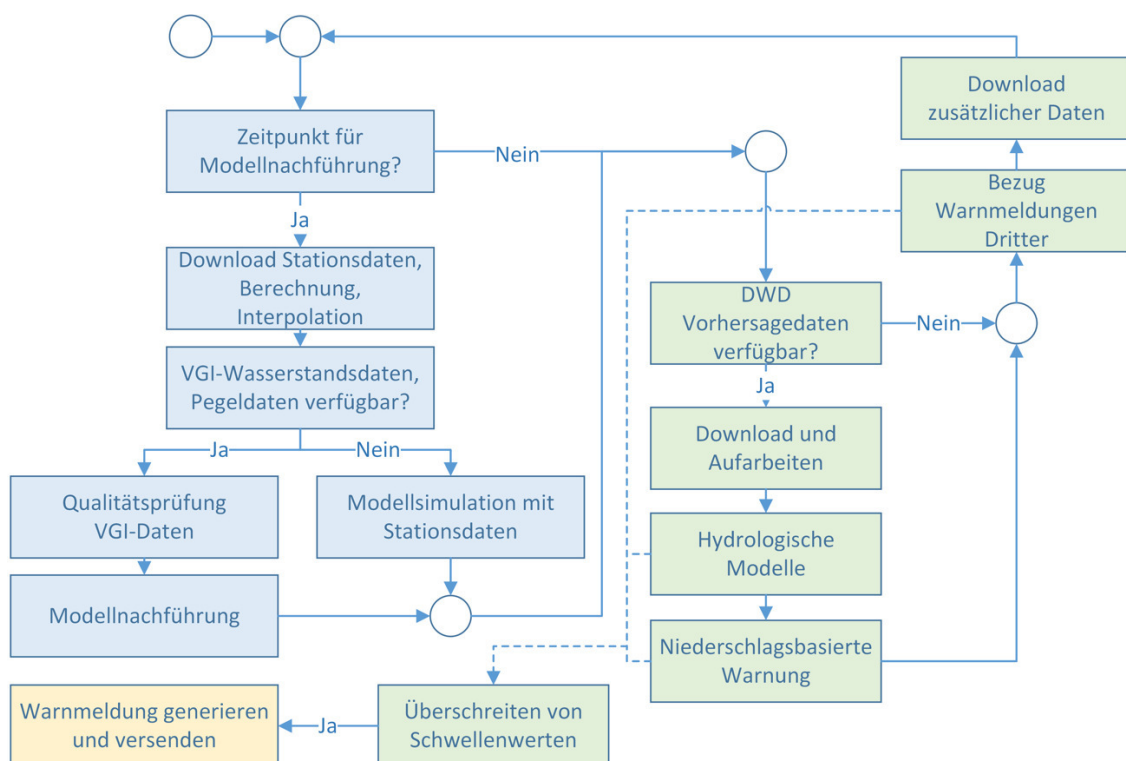


Abbildung 7: Programmablauf der Vorhersagekomponente

4.2.3 Niederschlagsbasierte Warnung

Neben dem Einsatz hydrologischer Modelle warnt die HWM-Plattform vor potentiell hochwasserauslösenden Ereignissen durch separate Auswertung der Niederschlagsvorhersagen [Müller et al. 2017]. Eine ausgerufene Warnklasse gibt einen Hinweis auf die Schwere des vorhergesagten Niederschlagsereignisses. Grundlagen zu dieser Bewertung entstammen dem KOSTRA-Starkregenatlas. Mit fünf ausrufbaren Warnklassen sind Niederschlagswerte für Kombinationen aus Jährlichkeiten und Dauerstufen verknüpft, wobei noch einmal zwischen Sommer und Winterhalbjahr unterschieden wird.

Der Gebietsniederschlag je Vorhersagezeitschritt wird als 0,9-Quantil aus den Niederschlagswerten aller Gitterzellen der Vorhersageprodukte im Einzugsgebiet berechnet. Darüber hinaus sind weitere Gitterzellen im Umkreis des Einzugsgebiets in zwei Perimetern und jeweils vier Quadranten zugeordnet. Über die Gitterzellen der jeweiligen Quadranten wird analog ein Niederschlag bestimmt und einer Warnklasse zugeordnet.

Ziel ist es, die Dashboard-Anwender (z.B. Einsatzkräften der Feuerwehr) ebenfalls für kleinräumige Starkniederschlagszellen zu sensibilisieren, die laut Vorhersage nicht im Einzugsgebiet, aber im Umfeld des Einzugsgebiets niedergehen. Durch die Unsicherheiten in der räumlichen Verortung der Niederschlagszellen ist es nämlich nicht ausgeschlossen, dass diese nicht doch das EZG treffen. Mit der farblichen Darstellung der eintretenden Warnklassen in den jeweiligen Quadranten zu den entsprechenden Warnzonen gewinnt der Anwender eine abstrahierte Übersicht über potentielle Gefahrenlagen.

4.2.4 Automatisches Versenden von Warnmeldungen

Eine Warnmeldung wird durch die HWM-Plattform verfasst und versendet, sobald eine Warnklasse im hydrologischen (Abschnitt 4.2.2) oder meteorologischen (Abschnitt 4.2.3) Vorhersageteil ausgerufen wurde. Die Warnmeldung enthält eine Zusammenfassung des Geschehens und wird als SMS oder E-Mail an ausgewählte Personen, beispielsweise an Einsatzkräfte, versandt. Diese haben schließlich die Möglichkeit, über das Dashboard selbst individuelle Nachrichten an weitere Nutzer oder Nutzergruppen der mobilen Anwendung zu senden. Durch das automatische

Generieren und Versenden von Warnmeldungen wird die Aufmerksamkeit der Dashboard-Nutzer aufrechterhalten, das Geschehen weiterhin zu verfolgen.

4.3 Dashboard

Das webbasierte Dashboard ermöglicht den autorisierten Dashboard-Nutzern eine Überwachung der Situation im Einzugsgebiet und vereint zudem verschiedenen Verwaltungsaufgaben. In verschiedenen Ansichten werden dabei die zuvor beschriebenen hydrologischen und meteorologischen Vorhersagen und Warnungen sowie nutzergenerierten Informationen und Messdaten aufbereitet und kartenbasiert visualisiert (Abbildung 8).

Sowohl Ansichten der Hochwasservorhersagen und Pegel- bzw. VGI-Wasserstandmessungen an den definierten Messstandorten sind möglich (Abbildung 8a) als auch Übersichten zum meteorologischen Geschehen (Abbildung 8b). Neben den Warnklassen der niederschlagsbasierten Warnungen sowie optionalen lokalen Warnmeldungen von externen Anbietern (z.B. Landeshochwasserzentralen) werden dort die aktuellen Niederschlagsradarbilder des DWD und die täglichen Niederschlagssummen im Einzugsgebiet dargestellt.

In weiteren Ansichten werden die von Nutzern eingesendeten Messdaten (Niederschlagsintensitäten, Schneehöhen) und Fotoaufnahmen gelistet und kartenbasiert mittels Markern angezeigt (Abbildung 8c). Zur verbesserten nachträglichen Dokumentation können dort auch historische Messdaten und Fotos aus zurückliegenden Ereignissen eingesehen, zeitlich gefiltert und heruntergeladen werden. Eine zusätzliche Administrations-Oberfläche im Dashboard ermöglicht außerdem auch das Versenden von individuellen Nachrichten per Push-Benachrichtigung an die Nutzer der mobilen Smartphone-Anwendung (Abbildung 8d).

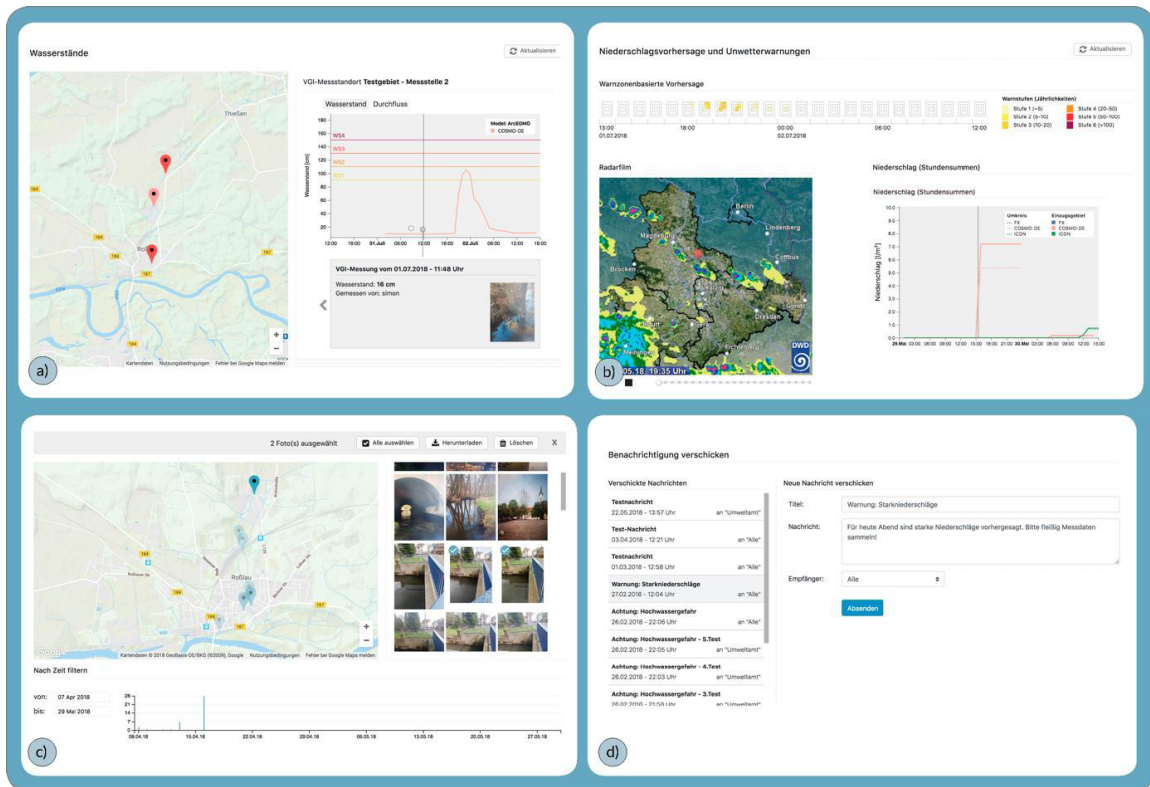


Abbildung 8: Dashboard-Ansichten zur Überwachung der Hochwassersituation. Einsatzkräfte können Dashboard Hochwasservorhersagen und Wasserstandmessungen (a), Meteorologische Warnungen und Vorhersagen (b) sowie alle nutzergenerierten Messdaten und Fotoaufnahmen (c) einsehen. Auch das Versenden von Benachrichtigungen an die mobile Anwendung ist möglich (d).

5 Technische Implementierung der HWM-Plattform

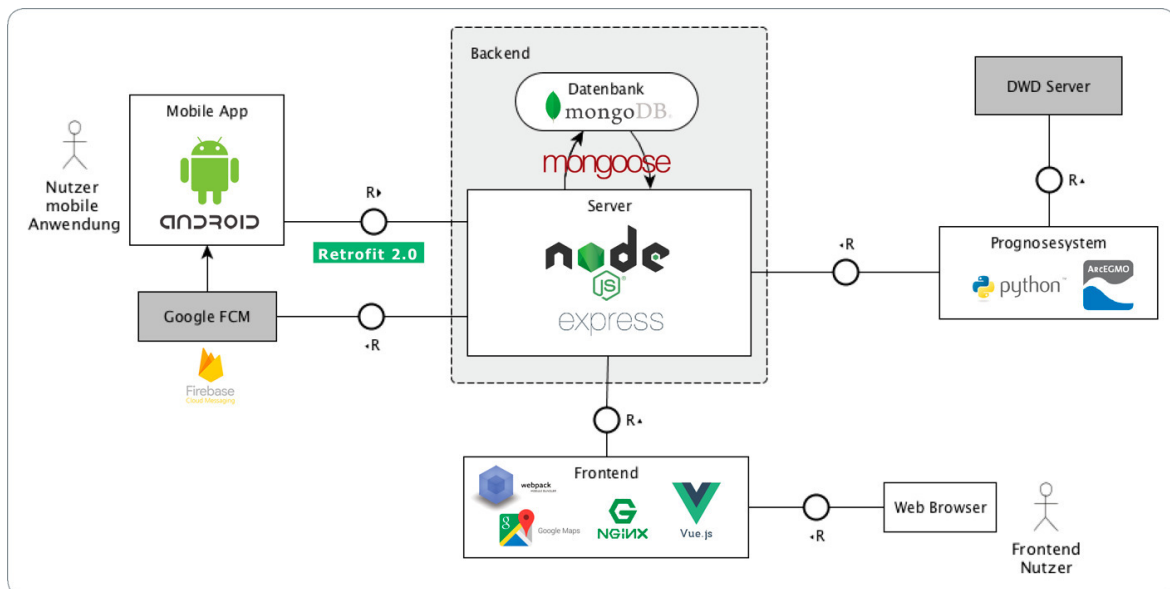


Abbildung 9: Eingesetzte Technologien zur Implementierung der HWM-Plattform

Neben der mobilen Smartphone-App, dem web-basierten Dashboard (Frontend) sowie dem automatischen Vorhersagesystem ist ein zentraler Backend-Server ein wichtiger

Bestandteil der technischen Implementierung der HWM-Plattform. Bei der Realisierung der Gesamtplattform wird dabei auf eine Reihe unterschiedlicher etablierter Technologien zurückgegriffen. Die grobe Systemarchitektur sowie die jeweils eingesetzten Technologien sind in Abbildung 9 skizziert.

Das Vorhersagesystem basiert auf der Modellierungssoftware ArcEGMO 12 für Linux, wobei sämtliche notwendigen Verarbeitungsskripte zur Steuerung des Vorhersagesystems und internen Datenverarbeitung sowie zur Anbindung des Systems an den Backend-Server sowie an den Datenservice des Deutschen Wetterdienstes zum Download von Vorhersagedaten mittels Python implementiert wurden.

Der Backend-Server der Plattform basiert auf einem in einer JavaScript-Laufzeitumgebung ausgeführten node.js-Webserver in Kombination mit dem Webframework Express.js sowie einer MongoDB NoSQL-Datenbank zur persistenten Speicherung relevanter Datenobjekte (z.B. VGI-Daten, Vorhersagezeitreihen, Warnmeldungen etc.).

Ein Web-Frontend, welches über einen gewöhnlichen Web-Browser aufgerufen werden kann, zeigt das Dashboard zur Situationsüberwachung und zur Nutzerverwaltung (Abbildung 8). Zur Entwicklung des Frontend wird das Webframework Vue.js eingesetzt.

Die mobile Anwendung wurde für das Betriebssystem Android (Android-Version 4.3 und neuer) entwickelt. Die Steuerung der Push-Benachrichtigungen auf die mobilen Endgeräte wird dabei mit Hilfe des Google-Dienstes Firebase Cloud Messaging (FCM) realisiert.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Eine IT-Unterstützung für das Hochwassermanagement speziell in kleinen Einzugsgebieten weist besondere Rahmenbedingungen und Anforderungen auf. Mit der Verwendung und Aufbereitung von seit kurzem frei verfügbaren Vorhersagedaten und der Einbeziehung von freiwilligen Helfern bei der Erhebung von hydrologischen Messdaten bietet die vorgestellte Plattform eine effektive Softwarelösung zur Unterstützung des Hochwassermanagements speziell in kleinen Städten und Kommunen.

Die Plattform nutzt dabei Informationen und Messdaten, die aus der Bevölkerung von freiwilligen Helfern oder kommunalen Angestellten mittels einer mobilen Smartphone-Anwendung gesammelt wurden. Zur Überwachung aller eingehenden Daten und zur Situationsüberwachung im Hochwasserfall können autorisierte Anwender der Plattform (z.B. Einsatzkräfte der Feuerwehr) ein Dashboard als Web-Oberfläche besuchen. Nutzergenerierte Fotoaufnahmen aus dem Einzugsgebiet helfen bei der Situationseinschätzung und ermöglichen eine schnelle Reaktion. Der Vergleich der von Freiwilligen vorgenommenen Niederschlagsklassifikation mit derzeit gültigen Vorhersagen ermöglicht deren Validierung zum gegenwärtigen Zeitpunkt. Wasserstandmessungen, die mittels bildbasierter Messung per Smartphone an vorbereiteten Messstellen aufgenommen werden, kompensieren fehlende Pegelmesssysteme.

Zusätzlich stehen eine modellbasierte Hochwasservorhersage und ein separates niederschlagsbasiertes Vorwarnsystem zur Verfügung. Das Vorhersagesystem generiert dabei Warnmeldungen automatisch und kann diese an die Anwender des Dashboards per E-Mail oder SMS verschicken, um diese aktiv aufzufordern, das Dashboard zur weiteren Beobachtung zu besuchen. Den Kommunen und Gemeinden stehen auf diese Weise ortsspezifische Informationen bereit, welche die offiziellen Warnmeldungen untersetzen.

Die vorgestellte Plattform wurde in Zusammenarbeit mit zwei Pilotanwendern (Stadt Chemnitz und Stadt Dessau-Roßlau) entworfen und entwickelt. In gemeinsamen Workshops wurden dabei zunächst die genannten Rahmenbedingungen identifiziert und genauen Anforderungen abgeleitet. In einer ersten Evaluationsphase konnte bereits sichergestellt werden, dass die Funktionen der entwickelten Komponenten auch den tatsächlichen Bedarf der Einsatzkräfte vor Ort entsprechen.

In einer zweiten Evaluationsphase ab Sommer 2018 soll die HWM-Plattform schließlich auch in den beiden Versuchsgebieten (Pleißebach in Chemnitz und Rossel in Dessau-Roßlau) in einem Probetrieb unter Einbeziehung der gesamten ortsansässigen Bevölkerung getestet werden. Durch umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit und Freiwilligen-Management (Schulungen etc.) sollen hierfür dann möglichst viele Bürger als freiwillige Helfer gewonnen werden. Die abschließende Evaluation wird anschließend zeigen, inwieweit auch der Ansatz

erfolgreich ist, per Smartphone gewonnene nutzergenerierte Daten der ortsansässigen Bevölkerung als zusätzliche Informationen für das Hochwassermanagement gewinnen zu können.

7 Literaturverzeichnis

- Becker, A.; Klöcking, B.; Lahmer, W.; Pfützner, B. (2002): The Hydrological Modelling System ARC/EGMO. In: Mathematical Models of Large Watershed Hydrology (Eds.: Singh, V.P. and Frevert, D.K.). Water Resources Publications, Littleton/Colorado.
- Beven, K.J. (2012): Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. – John Wiley and Sons, Chichester; 2. Auflage.
- Burkard, S.; Fuchs-Kittowski, F.; O'Faolain de Bhroithe, A. (2017): Mobile crowd sensing of water level to improve flood forecasting in small drainage areas. In: Environmental Software Systems - 12th IFIP WG 5.11 International Symposium (ISESS 2017, Springer International Publishing, Berlin u.a., S. 129-145.
- Collier, C. G. (2007) Flash flood forecasting: What are the limits of predictability? In: Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 133, Nr. 622, S. 3–23.
- Fuchs-Kittowski, F. (2018): Mobiles Crowdsourcing zur Einbindung freiwilliger Helfer in den Katastrophenschutz. In: Reuter, C. (Hrsg.): Sicherheitskritische Mensch-Computer-Interaktion - Interaktive Technologien und Soziale Medien im Krisen- und Sicherheitsmanagement. Berlin u.a.: Springer Vieweg Verlag, S. 551-572.
- Goodchild, M. F. (2007): Citizens as Voluntary Sensors - Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. Int. J. Spatial Data Infrastructures Research 2, S. 24-32.
- Kundzewicz, Z.W. (2013): Floods - lessons about early warning systems. In: Late lessons from early warnings - science, precaution, innovation. European Environment Agency, EEA Report, No, 1/2013, S. 347-368.
- Müller, R.; Burkhard, S.; Fuchs-Kittowski, F.; Pfützner, B. (2017): Hochwassermanagement im Wandel: Entwicklung eines VGI-basierten Hochwasserprognosesystems. In: Den Wandel messen – Wie gehen wir mit Nichtstationarität in der Hydrologie um? Beiträge zum Tag der Hydrologie am 23./24. März 2017 an der Universität Trier, Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften, Trier, S. 301-316.
- Philipp, A.; Kerl, F.; Müller, U. (2015): Ansprüche potenzieller Nutzer an ein Hochwasser-Frühwarnsystem für Sachsen. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 59 (1), S. 4–22.
- Richter, L.K. (2017): Maßnahmen zur Motivation freiwilliger Helfer in VGI-Anwendungen im Katastrophenschutz. Bachelorarbeit, Studiengang Umweltinformatik, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Berlin.
- Schrage, N.; Antanaskov, D.; Jung, T.; Pasche, E. (2009): KALYPSO – An Open Source Software Tool for Flood Studies in Rivers. In: 8th International Conference on Hydroinformatics. Concepción (Chile).
- See, L.; Mooney, P.; Foody, G.; Bastin, L., et al. (2016): Crowdsourcing, Citizen Science or Volunteered Geographic Information - The Current State of Crowdsourced Geographic Information. In: Int. J. Geo-Inf. Vol. 5, Nr. 5, S. 55.
- Werner, M.; Schellekens, J.; Gijsbers, P.; van Dijk, M. et al. (2013): The Delft-FEWS flow forecasting system. In: Environmental Modelling & Software, Nr. 40, S. 65-77.