

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

Mobile Sensing zur Hochwasservorhersage in kleinen Einzugsgebieten

Simon Burkard, HTW Berlin, s.burkard@htw-berlin.de
Frank Fuchs-Kittowski, HTW Berlin, frank.fuchs-kittowski@htw-berlin.de
Bernd Pfützner, BAH Berlin, bernd.pfuetzner@bah-berlin.de
Ruben Müller, BAH Berlin, ruben.mueller@bah-berlin.de

Abstract

For small drainage basins flood forecasting is particularly difficult and uncertain. By incorporating additional information that are captured and collected by volunteers with help of their smartphones (*Volunteered Geographic Information, VGI*), flood forecasting systems can be improved and forecast uncertainties can be minimized. This paper presents and discusses different concepts and methods for measuring relevant hydrological parameters with mobile smartphone sensors. In this context, the focus is on describing various image-based approaches for water gauge measurements.

1 Motivation - Verbesserung der Hochwasservorhersage in kleinen Einzugsgebieten durch Bürgerbeteiligung bei Datenerhebung

Hochwasser gehören zu den Naturgefahren, die die zivile Bevölkerung direkt bedrohen und regelmäßig große materielle Schäden verursachen. Die entstandenen Schäden haben dabei aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels und einer erhöhten Verwundbarkeit (Vulnerabilität) in den letzten Jahrzehnten stark zugenommen [Müller, 2010]. Es ist anzunehmen, dass dieser Trend anhalten und die Intensität von Hochwasser weiter zunehmen wird [Neumayer et al., 2011].

Im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements sind daher verlässliche und frühzeitige Vorhersage- und Frühwarnsysteme von großer Bedeutung, um zielgerichtete Schutzmaßnahmen zu ermöglichen. Als Entscheidungsgrundlage für

Maßnahmen des Katastrophenschutzes dienen dabei hydrologische und hydraulische Prognosemodelle. Darauf basierende Hochwasservorhersagen sind allerdings meist unsicher und fehlerbehaftet. Gründe dafür sind Modellunschärfen, unsichere Niederschlagsvorhersagen sowie zeitlich und räumlich ungenügend vorhandene hydrologische Eingangsgrößen. Insbesondere für kleine Gewässer sind Vorhersagen schwierig, da oftmals eine sehr schnelle Gebietsreaktion erfolgt und daher nur sehr geringe Vorwarnzeiten verbleiben.

Durch zusätzliche Informationen, beispielsweise zusätzliche Wasserstandmessungen entlang des Flusses, können diese wichtigen Datensätze erweitert und die Prognosemodelle aktualisiert werden, um somit die Vorhersageunsicherheiten zu verringern. Mobiles Crowdsourcing – die Erfassung von Daten durch Freiwillige mittels ihrer eigenen mobilen Endgeräte (Smartphones, Tablets etc.) - scheint ein geeignetes Mittel zu sein, um solche zusätzlichen Eingangsdaten zu sammeln [Fuchs-Kittowski et al., 2015]. Oftmals werden die ortsbezogenen Daten, die Bürger freiwillig mittels ihrer eigenen, privaten mobilen Endgeräten und der darin eingebauten Sensoren sammeln und zur weiteren Nutzung bereitstellen, als VGI-Daten (*Volunteered Geographic Information*) bezeichnet [Goodchild, 2007]. Das Erfassen dieser Daten durch Freiwillige wäre dabei nicht mit Zusatzkosten verbunden, eine kostenintensive Installation stationärer automatischer Messgeräte entfällt. Zur Messdurchführung können Freiwillige proaktiv koordiniert und beauftragt werden (*Mobile Tasking*), um an relevanten Messstandorten Daten aufzunehmen und zu übermitteln (*Mobile Sensing*). Auf diese Weise kann eine räumliche und zeitliche Verdichtung von Eingangsinformationen erfolgen, mit dem Potenzial, die Modellprognosen zu verbessern und den verantwortlichen Behörden somit eine fundierte Entscheidungsgrundlage für Hochwasserschutzmaßnahmen zu liefern. Gleichzeitig werden durch die Einbeziehung der Bevölkerung in die Datenerhebung die Bürger verstärkt für Hochwassergefahren sensibilisiert und können aktiv dazu beitragen, die Hochwasservorhersage zu verbessern. Ämter und Einsatzzentralen können entlastet werden.

In diesem Beitrag sollen Methoden zur Messung des Wasserstandes unter Nutzung der in Smartphones integrierten Sensoren (*Mobile Sensing*) und deren Einbettung in ein Hochwasserprognosesystem zur Unterstützung des Hochwassermanagements in kleinen Einzugsgebieten auf Basis mobiler VGI-Daten präsentiert werden.

Der Beitrag ist wie folgt strukturiert: Nach einem kurzen Überblick über den aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik (Kapitel 2) wird die konzeptionelle Architektur einer solchen VGI-basierten Hochwassermanagementplattform skizziert und die beteiligten Funktionskomponenten beschrieben (Kapitel 3). Die Komponente zur mobilen Datenerfassung (*Mobile Sensing*) wird danach detaillierter präsentiert. Insbesondere verschiedene Methoden zur Messung des Wasserstandes unter Nutzung der in Smartphones integrierten Sensoren werden dabei vorgestellt (Kapitel 4). Eine abschließende Zusammenfassung bietet einen Ausblick auf künftige Entwicklungen im Rahmen der vorgestellten Plattform (Kapitel 5).

2 Stand der Forschung und Technik

2.1 Mobiles Crowdsourcing und VGI im Katastrophenschutz

Beim mobilen Crowdsourcing werden mobile Endgeräte für die Sammlung von Daten sowie die Koordination der an der Datensammlung freiwillig Beteiligten eingesetzt. Die Kernidee beim mobilen Crowdsourcing ist, dass normale Bürger befähigt werden, Daten über sich und die sie umgebende Umwelt mit ihren eigenen mobilen Endgeräten zu sammeln und zu teilen. Die Beteiligten tragen die Daten freiwillig, zu ihrem eigenen Nutzen oder zum Nutzer einer Gemeinschaft (Community) bei. Dabei wird keine aufgabenspezifische Spezialhardware verwendet, sondern normale, für den Massenmarkt verfügbare mobile Endgeräte, wie Smartphones und Tablets. Oft handelt es sich um orts- oder raumbezogene, häufig auch zeitbezogene Messwerte, Daten oder Informationen [Fuchs-Kittowski, 2014].

Eng verwandt mit dem Begriff des Mobilien Crowdsourcing sind Konzepte wie *Volunteered Geographic Information* (VGI [Goodchild 2007]), *Public Participatory GIS* (PPGIS [Sieber, 2006]) und *Participatory Sensing* (PS [Burke et al., 2006]). Allen Konzepten gemeinsam ist der freiwillige und gemeinschaftliche Charakter des Datenerfassungs- und Datenteilungsprozesses.

Es sind bereits viele unterschiedliche mobile Crowdsourcing-Anwendungen bekannt, insb. im Natur-, Umwelt- und Katastrophenschutz. Im Katastrophenschutz kann mobiles Crowdsourcing effektiv unterstützend während und nach einer Katastrophe eingesetzt werden. Beispielsweise können während einer Katastrophe die Bewohner sowie

Rettungs- und Einsatzkräfte in einem Katastrophengebiet Informationen über die aktuelle Lage sammeln, so dass Hilfs- und Rettungskräfte gezielter eingesetzt werden können. Nach einer Natur-Katastrophe (wie Hochwasser, Sturm, Starkregen) ist bspw. das Finden, Dokumentieren und Bewerten von Schäden (wie umgeknickte Bäume, überflutete Wege oder umgeknickte Strommasten) eine wichtige Aufgabe, um die begrenzten Ressourcen gezielter und schneller für die Reparatur und Schadensbehebung einsetzen zu können, sowie die tatsächlich aufgetretenen Schäden aktueller und umfassender auswerten zu können [Abecker et al., 2012].

Mobile Crowdsourcing-Anwendungen wurden bereits mehrfach erfolgreich in Katastrophensituationen eingesetzt, in denen allerdings die Genauigkeit und Qualität der Informationen von untergeordneter Bedeutung war. VGI-Daten kamen so beispielsweise bei Flutkatastrophen und Überschwemmungen zum Einsatz [Chen et al., 2012; De Longueville et al., 2010; Poser et al., 2010], bei Flächenbränden [Goodchild et al., 2010], Erdbeben [Yates et al., 2011] oder auch bei schweren Stürmen [Huang et al., 2010]. In dem in Kapitel 3 präsentierten System sollen VGI-Daten unter anderem zur Aktualisierung und Validierung von Prognosemodellen eingesetzt werden. Ein stärkerer Fokus liegt daher hier auf der Genauigkeit und Qualität der erhobenen Daten mittels Methoden der mobilen Datenerfassung.

2.2 Durchflussmessung und Mobile Sensing zur Hochwasservorhersage

Zum Zweck der Hochwasservorhersage sind insbesondere hydrologische Daten von Bedeutung, welche zur Messung des Durchflusses genutzt werden können. Durchflussmessungen sind in der Hydrometrie meist indirekt und basieren bei bekanntem Flussquerschnittsprofil auf Messungen der Fließgeschwindigkeit und des Wasserstandes [Hersch, 2008]. Ansätze zur automatischen Messung von Durchflüssen anhand von Bildaufnahmen existieren bereits. Diese basieren beispielsweise auf Fernerkundungsmethoden, mit welchen mittels Luftaufnahmen der Wasserstand in einem Gewässer abgeschätzt werden kann [Smith et al., 2008]. Ein weiteres Beispiel ist die Nutzung von fest installierten Kameras zur bildbasierten Messung des Wasserstandes anhand von Markern oder Lattenpegeln [Iwahashi et al., 2006; Kim et al., 2014; Lo et al., 2015; Royem et al., 2012]. Auch der Versuch, den aktuellen Wasserstand an analogen Lattenpegeln durch Passanten manuell ablesen zu lassen, wurde erfolgreich

getestet [Lowry et al., 2013]. Der Wasserstand wird dabei per SMS zur Auswertung an Datenserver gesendet.

Die Erfassung der Daten durch die Nutzer muss nicht zwangsläufig über die manuelle Eingabe der Daten in das mobile Endgerät erfolgen, z.B. in ein Formular, sondern ist auch automatisiert über in das Gerät bereits eingebaute Sensoren möglich. Für die Erfassung und Erzeugung von Daten durch die Nutzer mit den in ihren eigenen mobilen Geräten eingebauten oder verbundenen Sensoren hat sich der Begriff „Mobiles Sensing“ etabliert [Fuchs-Kittowski, 2014].

Eine mobile Sensing-Anwendung speziell zur automatischen bildbasierten Pegelüberwachung wurde von [KISTERS, 2014] entwickelt. Zur robusten Messung erfordert diese allerdings spezielle Pegellatten sowie ideale sonstige Rahmenbedingungen (ausreichend Helligkeit, geringe Entfernung zur Pegellatte).

Die sensorbasierte Bestimmung von Wasserstandlinien mittels mobiler Geräte kann durch die Kenntnis der genauen eigenen Position im 3D-Raum erleichtert werden. Daher sind auch Forschungsbereiche der *Mobile Augmented Reality* und des mobilen *3D Tracking* zur Positionsbestimmung von Interesse. Diese Forschungszweige sind noch relativ neu, allerdings existieren bereits mehrere Ansätze und Technologien zur bildbasierten Schätzung der eigenen Position im 3D Raum, welche hinsichtlich Genauigkeit die Lokalisierung mittels GPS-Signal übertreffen [Amin et al., 2015]. Existierende Anwendungen, die solche Technologien zur VGI-basierten Bestimmung hydrologischer Daten einsetzen, sind aktuell nicht bekannt.

Während es zahlreiche mobile Anwendungen für die Information über Wasserstände an Gewässern gibt (z.B. Pegel¹, Pegelstand², Pegel-Online³, Pegelstände⁴, Meine Pegel⁵), existieren nur sehr wenige mobile Apps für die Erfassung der Pegelstände durch seine Nutzer. Bspw. wurden im Forschungsprojekt MAGUN mobile Anwendungen für die Erfassung aktueller Wasserstände und historischer Hochwassermarken entwickelt [Fuchs-Kittowski et al., 2012], welche aber nicht flächendeckend eingesetzt werden.

¹ <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.posts.Pegel>

² <https://play.google.com/store/apps/details?id=info.pegelstand.pegelstandnoebasic>

³ <https://play.google.com/store/apps/details?id=org.cirrus.mobi.pegel>

⁴ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.lifestream_creations.pegelmelder

⁵ <https://play.google.com/store/apps/details?id=de.hochwasserzentralen.app&hl=de>

Das Projekt *WeSenseIt* hat sich zum Ziel gesetzt, eine vollständige Plattform zur bürgerbasierten Dokumentation und Beobachtung von Wasserständen und Überschwemmungen zu konzipieren und zu testen [Lanfranchi et al., 2014; WeSenseIt, 2014]. Smartphones sowie diverse sonstige kostengünstige Sensoren sollen dabei zur Messung von Wasserstand und Fließgeschwindigkeit hydrologischer Daten eingesetzt werden. Angaben zur Robustheit und Qualität der gemessenen Daten sind nicht dokumentiert. In dieser Plattform sind die gemessenen Daten zudem nicht zur unmittelbaren Einbettung in ein Prognosemodell bestimmt, d.h. eine Integration der Daten oder Prozesse in konkrete Einsatzszenarien – wie Hochwassermanagement – fehlt.

3 Konzeptionelle Architektur eines VGI-basierten Prognosesystems

In diesem Abschnitt wird die konzeptionelle Architektur eines VGI-basierten Hochwasserprognosesystems beschrieben. In Abbildung B-1 sind funktionalen Komponenten grob skizziert. Neben einem angepassten, klassischen Hochwasserprognosesystem und einer zentralen Hochwassermanagementsoftware zählen dazu insbesondere Komponenten zum Mobile Tasking und Mobile Sensing.

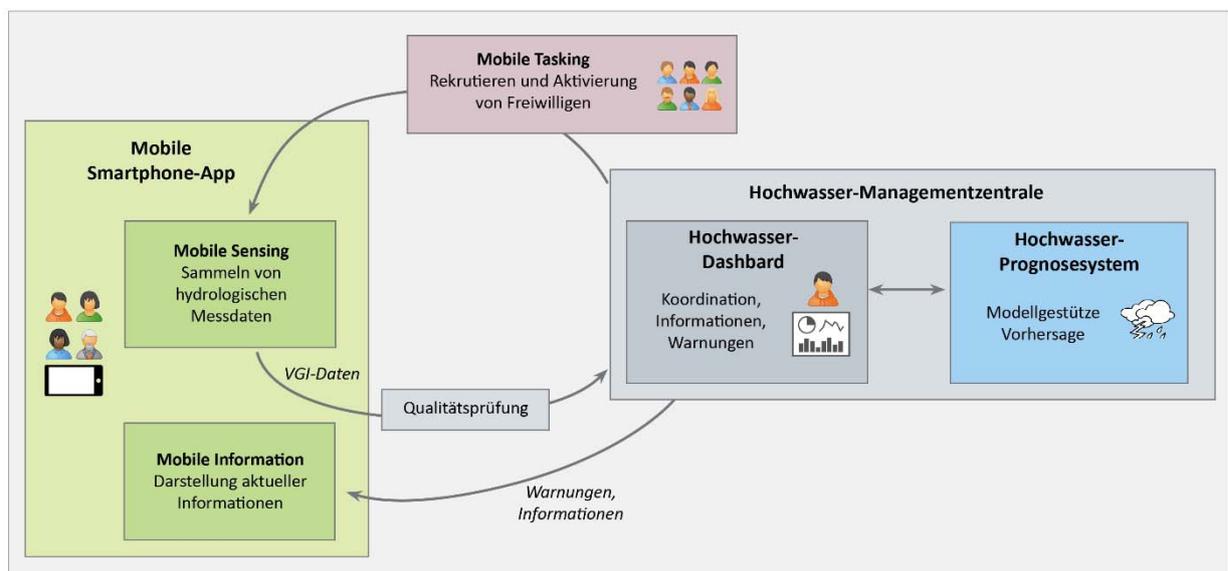


Abbildung B-1: Konzeptionelle Architektur einer VGI-basierten Hochwassermanagementplattform

3.1 Mobile Tasking und Mobile Sensing

Nutzer der Plattform sollen die Möglichkeit haben, selbstständig zu entscheiden, ob und in welcher Form sie Messdaten aufnehmen und bereitstellen wollen. Zusätzlich sollen sie aber auch proaktiv koordiniert und mit speziellen Datensammelaufgaben beauftragt werden können (Mobile Tasking). Nutzer können sich hierfür mit Angabe persönlicher Präferenzen und gewünschtem Grad der Anonymität (z.B. Standortfreigabe, Angabe von Realnamen) bei der Plattform registrieren. Mit Hilfe von Benachrichtigungen auf ihre Smartphones können sie anschließend durch die Managementzentrale gebeten werden, hydrologische Messungen mit vorgegebenen Modalitäten (Zeit, Ort, Art der Daten) durchzuführen. Es steht den Nutzern dann freilich offen, eine solche Datensammelaufgabe anzunehmen oder abzulehnen.

Die Messungen selbst sollen nicht an beliebigen, frei wählbaren Standorten durchgeführt werden. Stattdessen werden in einer Standortanalyse Messstellen im Einzugsgebiet des Gewässers im Vorfeld identifiziert und hinsichtlich ihrer Eignung als Messstandort bewertet.

An den gewählten Messstandorten werden schließlich mittels einer Smartphone-Anwendung hydrologische Daten gemessen (Mobile Sensing). Über das mobile Handydatennetz bzw. mittels WLAN können die gemessenen Daten anschließend an eine zentrale Serverplattform zur weiteren Verarbeitung übermittelt werden.

Zur Messung sollen idealerweise die im Gerät integrierten Sensoren genutzt werden. Dazu zählen GPS-Sensoren zur groben Positionsbestimmung (Genauigkeit bis zu 5-10 Meter), aber auch Neigungssensoren des Geräts (Kompass, Beschleunigungssensoren, Magnetometer) zur Bestimmung der Blickrichtung des Geräts sowie die im Smartphone integrierte Kamera zur Bildaufnahme. Der Einsatz dieser Sensoren, insbesondere zur Messung von Wasserständen, wird im Kapitel 4 genauer erläutert. Auch die Verwendung externer Messsensoren ist prinzipiell möglich, beispielsweise der Betrieb von privaten Wetterstationen zur Messung der Niederschlagsmengen. Der Schwerpunkt in dieser Plattform liegt allerdings in der Verwendung von Smartphones zur unmittelbaren Datenerfassung.

3.2 Hochwasserprognosesystem

Eine Problematik von nutzergenerierten Daten besteht darin, dass die Qualität und Genauigkeit der aufgenommenen Daten stark schwanken kann. Bevor die

gemessenen hydrologischen Daten letztlich als Eingangsgrößen dem Prognosesystem zur Verfügung gestellt werden, ist daher eine automatische Qualitäts- und Plausibilitätsprüfung der eingehenden Daten notwendig. Durch einen gegenseitigen räumlichen und zeitlichen Abgleich der VGI-Datensätze können dabei fehlerhafte Eingangsdaten („Ausreißer“) identifiziert und eliminiert werden. Aufbauend auf einer klassischen modellgestützten Vorhersage kann das Prognosesystem anschließend mittels der verfügbaren VGI-Daten das zugrundeliegende Modell ergänzen bzw. validieren und optimieren und eine verbesserte Hochwasservorhersage liefern.

3.3 Hochwassermanagementzentrale

Eine zentrale Managementsoftware mit grafischer Benutzeroberfläche (Dashboard) koordiniert alle notwendigen Komponenten und verarbeitet und visualisiert die prognostizierten Hochwasserdaten. Sind Warnstufen für das betroffene Gebiet im Vorfeld festgelegt worden, können über die Plattform gegebenenfalls Hochwasserwarnungen generiert, und anschließend betroffenen Stellen informiert werden. Die erwähnte mobile Smartphone-Anwendung kann dabei als Empfänger dieser Warnungen dienen. Betroffene Bürger können somit per Push-Benachrichtigung auf ihr Smartphone individuell, ortsbasiert und zeitnah gewarnt werden. Die Managementsoftware dient auch der Koordination von Einsätzen während eines Hochwasserereignisses. Über das Dashboard kann die aktuelle Hochwassersituation vor Ort erfasst und Einsatzkräfte koordiniert werden. Außerdem ermöglicht das Dashboard die Koordinierung und Beauftragung der App-Nutzer zum Sammeln von Messdaten.

4 Mobile Sensing

Mit Hilfe einer mobilen Smartphone-Anwendung können bestimmte Messparameter von Freiwilligen gemessen und der Plattform zur Verfügung gestellt werden. Relevante Messparameter sind in Abbildung B-2 dargestellt. Die Auswahl der letztendlich realisierbaren Messgrößen ergibt sich aus einer Abwägung zwischen den Parametern, die einen Mehrgewinn für das hydrologische Prognosemodell bieten und der technischen Realisierbarkeit von robusten mobilen Messmethoden für diese Parameter.

4.1 Übersicht über relevante Messgrößen und Messmethoden

Der Wasserstand und die Fließgeschwindigkeit des Gewässers an definierten Messstellen sind entscheidende Eingangsgröße für das hydrologische Prognosesystem, da beide Messgrößen für die unmittelbare Messung des Durchflusses relevant sind. Eine aussagekräftige Messung der Fließgeschwindigkeit ist allerdings mittels einer rein Smartphone-basierten Messung sehr schwierig. Eine grobe manuelle Schätzung der Fließgeschwindigkeit des Gewässers durch den Nutzer ist zwar möglich (z.B. Angabe „Fluss fließt sehr schnell“ oder „Fluss fließt nur sehr langsam“). Eine Angabe der Geschwindigkeit ohne physikalische Maßeinheit (z.B. Meter pro Sekunde) ist allerdings als Eingangsgröße für das Prognosesystem nicht sinnvoll. Auch eine bildbasierte Schätzung mittels Smartphone-Kamera wäre denkbar [Kwonkyu et al., 2015]. Ein derartiger Ansatz ist jedoch recht aufwändig und erfordert eine im Vorfeld bekannte feste Aufnahmeposition. Außerdem kann dadurch lediglich eine grobe Schätzung der Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche erfolgen.

Zur mobilen Messung des Wasserstandes existieren mehrere Ansätze. Diese Möglichkeiten der Wasserstandmessung werden im anschließenden Kapitel 4.2 ausführlich vorgestellt.

Messgrößen	Manuelle Messung	Automatische Messung
 Wasserstand	Schätzung oder Ablesen analoger Messpegel	IMU-basierte oder bildbasierte Erkennung (mit/ohne Nutzerinteraktion)
 Fließgeschwindigkeit	Grobe Schätzung („schnell“, „langsam“)	Bildbasierte Messung der Oberflächenfließgeschwindigkeit
 Niederschlagsintensität	Grobe Schätzung („regnet nicht“, „regnet leicht“, „regnet stark“)	Bildbasierte Schätzung oder Wetterstationen mit Regensensor
 Schneehöhe	Grobe Schätzung	
 Lokalisierung Ausuferung	Manuelle Bestimmung mit GPS-basierter Lokalisierung	
 Fotos & Videos zur Lageeinschätzung	Aufnahme mittels Smartphone-Kamera	

Abbildung B-2: Relevante Messgrößen und mögliche Messmethoden

Weitere relevante Messgrößen sind die aktuelle Niederschlagsintensität und die Schneehöhe. Für beide Parameter sind automatische robuste Messmethoden mittels Smartphone ebenfalls schwierig umzusetzen. Zwar ist eine bildbasierte Schätzung der aktuellen Regenintensität möglich [Garg et al., 2007], allerdings wäre das Ergebnis der Schätzung oft fehlerhaft. Auch der Einsatz von Wetterstationen mit Regensensoren ist im Rahmen dieser Plattform nicht schwerpunktmäßig vorgesehen. Stattdessen soll eine manuelle Schätzung der Niederschlagsintensität durch die App-Nutzer erfolgen. Allein die grobe Schätzung der Intensität („es regnet nicht“; „es regnet leicht“; „es regnet stark“), verbunden mit dem per GPS-Signal ermittelten Standort des Nutzers ist hilfreich zur angestrebten verbesserten Lokalisierung von Starkniederschlagszellen.

Auch die Schneehöhe soll lediglich durch grobe Schätzung durch die Nutzer ermittelt werden. Die grobe Kenntnis der Schneeeverhältnisse mit hoher räumlicher Auflösung ermöglicht somit eine Schätzung des Wasservorrats der Schneedecke im Einzugsgebiet. Als Eingangsparameter für das Vorhersagemodell kann diese Schätzung von großem Nutzen sein.

Neben diesen quantitativ messbaren Größen können außerdem Foto- und kurze Videoaufnahmen mittels der im Smartphone integrierten Kamera erfolgen. Diese Aufnahmen können auf dem Hochwasser-Dashboard kartenbasiert dargestellt werden und unterstützen die Einsatzkräfte bei der Beurteilung und Dokumentation der Hochwassersituation vor Ort. Dieser Ansatz kann auch zur Meldung und Lokalisierung von möglichen Ausuferungen eingesetzt werden. Nutzer können somit an neuralgischen Schlüsselstellen im Hochwasserfall überprüfen, ob es zu einer Ausuferung kam, und mittels Bildaufnahme das Ausmaß der Ausuferung übermitteln und dokumentieren.

4.2 Methoden zur mobilen Messung des Wasserstands

Das Hauptaugenmerk bei der Entwicklung der Mobile Sensing-Anwendung liegt in der Implementierung von geeigneten Methoden zur mobilen Smartphone-basierten Messung des Wasserstandes an zuvor festgelegten Messstandorten (z.B. Brücken). Dabei stehen verschiedenartige Methoden zur Auswahl (siehe Abbildung B-3).

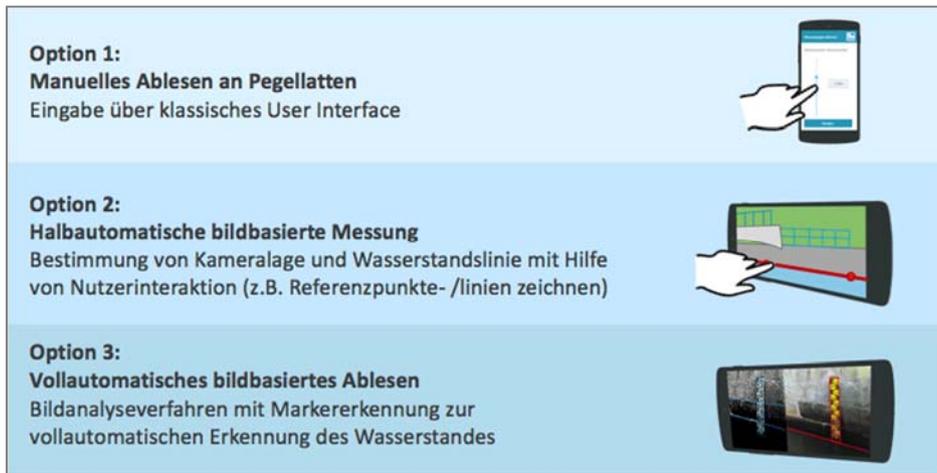


Abbildung B-3: Optionen zur mobilen Wasserstandmessung

4.2.1 Manuelles Ablesen an Pegellatten

Im einfachsten Fall kann die Messung des Wasserstandes erfolgen, indem der Nutzer diesen an einer vorhandenen analogen Pegellatte abliest und den Wert über ein klassisches Interface (z.B. Slider oder Texteingabefeld) in die Smartphone-Anwendung eingibt. Diese Methode wäre recht robust. Der Messung erfolgt dann unabhängig der im Smartphone integrierten Sensorik und wäre auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen und Witterungsbedingungen möglich. Das Vorhandensein von entsprechenden sichtbaren analogen Pegellatten am Messstandort ist allerdings hierfür Voraussetzung.

4.2.2 Halbautomatische Bildbasierte Messung

Durch Mithilfe des Nutzers bei der Messdurchführung mittels entsprechender Nutzerinteraktion - beispielsweise durch das Einzeichnen von Punktreferenzen - kann eine recht robuste bildbasierte Wasserstandmessung realisiert werden.

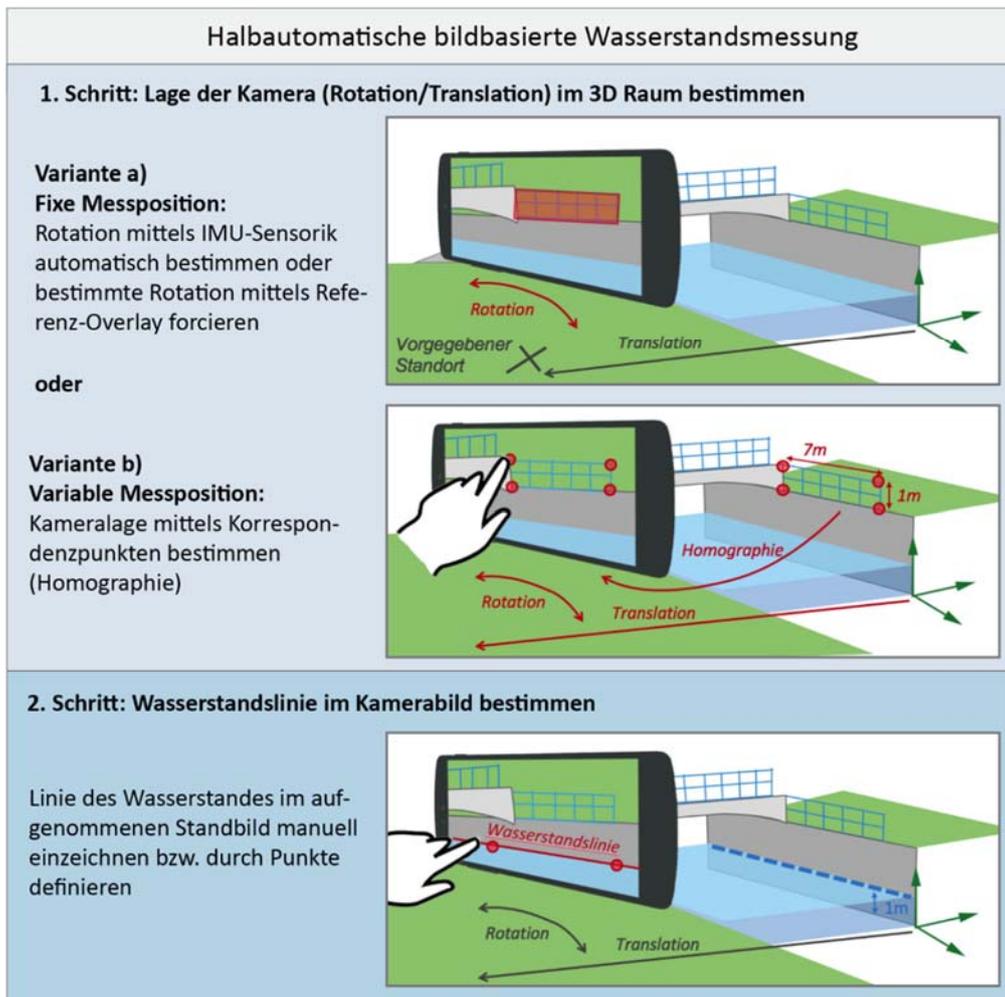


Abbildung B-4: Messmethoden zur manuellen und automatischen bildbasierten Wasserstandsmessung

Da die Messungen zudem an vorgegebenen Messstandorten erfolgen und das Querschnittsprofil des Flusses an diesen Stellen ohnehin zur Durchflussberechnung vorab bekannt sein muss, kann außerdem vorausgesetzt werden, dass die gesamte dreidimensionale Geometrie der Bauwerke an diesen Standorten – beispielsweise Höhe und Breite eines Brückengeländers oder einer Flussbegrenzungsmauer - bekannt sind. Diese Kenntnis kann bei der Entwicklung von entsprechenden Messmethoden genutzt werden. Ziel dieser Methoden soll es dann sein, die Lage der Wasserstandslinie in diesem bekannten 3D Raum zu bestimmen.

Dies kann, wie in Abbildung B-4 dargestellt, in zwei Schritten erfolgen. In einem ersten Schritt muss zunächst die Position und Orientierung der Kamera (Kamerakoordinatensystem) in der fixen 3D Umgebung (Weltkoordinatensystem) bestimmt werden. Die

Lage der Kamera im Weltkoordinatensystem ist dabei allgemein durch sechs Freiheitsgrade definiert: drei Freiheitsgrade der Orientierung (Rotation) und drei Freiheitsgrade der Position (Translation). Anschließend kann in einem zweiten Schritt im aufgenommenen zweidimensionalen Standbild die Wasserstandlinie - beispielsweise an einer Flussbegrenzungsmauer – eingezeichnet und bestimmt werden. Sind schließlich die Position der Wasserstandlinie im Kamerabild, die intrinsischen Parameter der Kameraprojektion, die Lage der Kamera im 3D Raum, sowie die Struktur der 3D Welt bekannt, so kann auch die Lage der Wasserstandlinie im 3D Raum des Weltkoordinatensystems und somit auch die absolute Höhe des Wasserstandes berechnet werden.

Bestimmung der Kameralage

Die räumliche Lage der Kamera im Weltkoordinatensystem kann auf unterschiedliche Weise bestimmt werden, je nachdem ob ein fixer oder variabler Standpunkt zur Aufnahme des Kamerabildes vorgesehen ist.

Eine einfache Methode zur Bestimmung der Kameralage besteht darin, für den jeweiligen Messstandort eine fixe Messposition festzulegen. Die Translation der Kamera wäre somit vorbestimmt. Diese fixe Aufnahmeposition kann z.B. mittels Marker am Boden oder Marker am Brückengeländer gekennzeichnet werden. Erfolgt die Bildaufnahme immer von dieser Stelle aus und wird zudem eine nahezu konstante Aufnahmehöhe über dem Boden vorausgesetzt, ist nur noch die Orientierung (Rotation) der Kamera variabel. Die Lage der Kamera wird dann nur noch durch drei Freiheitsgrade beschrieben. Diese Kamerarotation im Weltkoordinatensystem kann dabei automatisch mittels der im Smartphone eingebauten IMU-Sensorik (Magnetometer, Accelerometer, Gyroskop) zum Zeitpunkt der Bildaufnahme bestimmt werden. Alternativ kann neben der fixen Messposition auch eine fixe Kameraorientierung vorgegeben bzw. forciert werden. Dazu können bei jedem Messstandort individuelle Referenzlinien, beispielsweise Umrisse des Brückengeländers, als visuelles Overlay an fixer Position im Kamerabild angezeigt werden. Sorgt der Nutzer durch entsprechende Rotation der Kamera dafür, dass das visuelle Overlay mit der Abbildung des realen Objekts übereinstimmt, so wird eine immer gleiche und im Voraus festlegbare Orientierung der Kamera erzwungen.

Sollen sowohl Position als auch Orientierung der Kamera während der Bildaufnahme variabel bleiben, kann das Prinzip der Homographie zur Bestimmung der räumlichen

Kameralage genutzt werden. Eine Homographie beschreibt allgemein die Beziehung zwischen zwei Ebenen im dreidimensionalen Raum. Eine Ebene ist in diesem Fall durch die Bildebene der Kamera gegeben. Als zweite Ebene kann eine Ebene im 3D Raum definiert werden, auf welche der Wasserstand abgemessen werden soll (Wasserstandmessebene). Diese verläuft in der Regel orthogonal zur Wasseroberfläche und beinhaltet beispielsweise die Oberfläche eines Brückengeländers oder einer vertikalen Flussbegrenzungsmauer. Der Schnittpunkt zwischen dieser zweiten Ebene und der Wasseroberfläche ist dann die Wasserstandlinie. Ist die Homographie zwischen dieser Wasserstandmessebene und der Bildebene bekannt, kann daraus ebenfalls die räumliche Position und Orientierung der Kamera im Weltkoordinatensystem direkt abgeleitet werden.

Zur Bestimmung der Homographie werden mindestens vier korrespondierende Punkte in beiden Ebenen benötigt. In der Wasserstandmessebene können dies beispielsweise markante Eckpunkte eines in der Ebene liegenden Brückengeländers oder auch Eckpunkte eines künstlich angebrachten Markers sein. Durch die bekannte Geometrie des 3D Raumes sind die Koordinaten dieser Punkte im Voraus bekannt. Die entsprechenden korrespondierenden Punkte in der Bildebene, also im aufgenommenen Kamerabild, können dann nach Aufnahme des Bildes manuell durch den Nutzer im Kamerastandbild eingezeichnet werden. Alternativ könnte freilich auch eine bildbasierte Erkennung der Korrespondenzpunkte im Kamerabild erfolgen, was insbesondere bei Verwendung eines speziellen künstlichen Markers denkbar und realisierbar wäre.

Bestimmung der Wasserstandlinie

Ist die räumliche Lage der Kamera bekannt, wird im aufgenommenen Kamerabild die Lage der Wasserstandlinie erfasst. Dies kann im einfachsten Fall manuell erfolgen, indem der Nutzer die Linie durch das Einzeichnen von zwei Punkten im Kamerabild bestimmt.

4.2.3 Vollautomatische bildbasierte Wasserstandmessung

Als weitere Option der mobilen Wasserstandmessung ist eine vollautomatische bildbasierte Messmethode denkbar. Die generelle Idee dabei ist, dass nach Aufnahme eines Kamerabildes von variabler Messposition aus ein Bildanalysealgorithmus ohne weitere Nutzerhilfe automatisch den Wasserstand auf Basis des aufgenommenen Bil-

des bestimmt. Voraussetzung für die Umsetzung dieser Methode ist das Vorhandensein eines entsprechenden Markers. Dies kann eine gut sichtbare Pegellatte oder ein zusätzlicher künstlicher Marker sein. Mittels klassischen Markererkennungsalgorithmen oder mittels speziell angepassten Farbbandanalysen oder Texterkennungsalgorithmen kann somit der Marker bzw. die noch sichtbare Fläche des Markers bestimmen werden, um daraus die Lage der Wasserstandlinie zu erkennen und die Höhe des Wasserstandes zu bestimmen.

Ein derartiges vollautomatisches Verfahren kann unter idealen Voraussetzungen hohe Messgenauigkeiten ermöglichen, ist allerdings nicht immer ausreichend robust und oft sehr fehleranfällig, da insbesondere aufgrund der baulichen Gegebenheiten und Lichtverhältnisse (z.B. Schattenwurf oder Dunkelheit) der Marker bzw. die Pegellatte oft nicht ausreichend sichtbar oder die Kante der Wasserstandlinie nicht stark genug ausgeprägt sind. Andere sichtbaren Texturen sind dann im aufgenommenen Kamerabild oft markanter abgebildet und stören die visuelle Markererkennung.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde das Konzept eines VGI-basierten Hochwasserprognosesystems zur Unterstützung des Hochwassermanagements in kleinen Einzugsgebieten vorgestellt. Dabei wurde insbesondere die Komponente des Mobile Sensing genauer präsentiert, also die Entwicklung von geeigneten Messmethoden, um relevante Messparameter wie den Wasserstand mit Hilfe einer mobilen Smartphone-Anwendung zu erfassen. Der Einsatz dieser mobilen Messverfahren erhöht die Dichte an verfügbaren hydrologischen und meteorologischen Informationen und kann somit die Hochwasserprognose verbessern.

Im nächsten Schritt sollen die vorgestellten Funktionskomponenten und die mobilen Messverfahren, insbesondere zur Messung des Wasserstandes, implementiert und evaluiert werden. Erst dann ist eine Aussage möglich, mit welcher Robustheit und Genauigkeit der Wasserstand mit den präsentierten Methoden gemessen werden kann. In einer anschließenden Pilotphase kann schließlich auch die generelle Praktikabilität und Effizienz des VGI-Ansatzes im Rahmen des Hochwassermanagements beurteilt werden.

6 Literaturverzeichnis

[Amin, 2015]

Amin, D.; Govilkar, S.: Comparative Study of Augmented Reality SDK'S. International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA), 2015, S. 11-26.

[Burke, 2006]

Burke, J.; Estrin, D.; Hansen, M.; Ramanathan, N.; Reddy, S.; Srivastava, M. B.: Participatory sensing. In: Workshop on World-Sensor-Web (WSW'06): Mobile Device Centric Sensor Networks and Applications, 2006, S. 117-134.

[Chen, 2012]

Chen, C.; Carolina, N.; Ractham, P.: Lessons Learned from the Use of Social Media in Combating a Crisis: A case Study of 2011 Thailand Fodding Disaster. ICIS 2012 Proceedings, 2012, S. 1-17.

[De Longueville, 2010]

De Longueville, B.; Annoni, A.; Schade, S.; Ostlaender, N.; Whitmore, C.: Digital Earth's Nervous System for crisis events: real-time Sensor Web Enablement of Volunteered Geographic Information. International Journal of Digital Earth, 2010, S. 242-259.

[Fuchs-Kittowski et al., 2012]

Fuchs-Kittowski, F.; Simroth, S.; Humberger, S.; Fischer, F.; Schley, M.: A content platform for smartphone-based mobile augmented reality, Proceedings of the 26. International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo2012), Shaker, Aachen, 2012, S. 403-412.

[Fuchs-Kittowski, 2014]

Fuchs-Kittowski, F.: Mobiles Crowdsourcing und Sensing. WISU – Das Wirtschaftsstudium - Zeitschrift für Ausbildung, Prüfung, Berufseinstieg und Fortbildung, 2014, S. 1031-1038.

[Fuchs-Kittowski et al., 2015]

Fuchs-Kittowski, F.; Pfützner, B.; Preuß, T.; Fischer, F.; Beck, T.; Bartusch, S.: Mobiles Crowdsourcing von Pegeldata. In: Umweltinformationssysteme - Big Data, Open

Data, Data Variety, UBA-Dokumentationen 58/2015, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2015, S. 251-268.

[Garg, 2007]

Garg, K.; Nayar, S. K.: Vision and rain. International Journal of Computer Vision, Vol. 75, 2007, S. 3-27.

[Goodchild, 2007]

Goodchild, M. F.: Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Vol. 2, 2007, S. 24-32.

[Goodchild, 2010]

Goodchild, M. F.; Glennon, J. A.: Crowdsourcing geographic information for disaster response: a research frontier. International Journal of Digital Earth, Vol. 3, 2010, S. 231-241.

[Herschy, 2008]

Herschy, R. W.: Streamflow Measurement, CRC Press, Reading (UK), Third Edition, 2008.

[Huang, 2010]

Huang, C.-M., Chan, E., Hyder, A.: Web 2.0 and Internet Social Networking: A New tool for Disaster Management? - Lessons from Taiwan. BMC Medical Informatics and Decision Making, Vol. 10, 2010, S. 57

[Iwahashi, 2006]

Iwahashi, M., Udomsiri, S., Imai, Y., Fukuma, S.: Water level detection for river surveillance utilizing JP2K wavelet transform. IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems, Proceedings, APCCAS, 2006, S. 1741-1744.

[Kim, 2014]

Kim, Y., Park, H., Lee, C., Kim, D., Seo, M.: Development of a Cloud-based Image Water Level Gauge Development of River Eye system. INPRA, Vol. 2, 2014, S. 22-29.

[KISTERS, 2014]

KISTERS: Einfach smart: App für Pegelmessung auf Knopfdruck. 2014, https://www.kisters.de/fileadmin/user_upload/Wasser/Produkte/WISKI/Produktblaetter/MobileWaterTracker_de_mail.pdf, (Zugriff: 30.06.2016).

[Kwonkyu et al., 2015]

Kwonkyu, Y.; Byungman, Y.; Seokmin, L.: Surface Image Velocity Measurement System for Wide Rivers Using Smartphones. E-proceedings of the 36th IAHR World Congress, The Hague, Netherlands, 2015.

[Lanfranchi et al., 2014]

Lanfranchi, V; Wrigley, S.; Ireson, N; Wehn, U.; Ciravegna, F.: Citizens' Observatories for Situation Awareness in Flooding. ISCRAM 2014 11th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management, 2014, S.154-154.

[Lo, 2015]

Lo, S. W., Wu, J. H., Lin, F. P., Hsu, C. H.: Visual sensing for urban flood monitoring. Sensors, Vol. 15, 2015, S. 20006-20029.

[Lowry, 2013]

Lowry, C. S., Fienen, M. N.: CrowdHydrology: Crowdsourcing hydrologic data and engaging citizen scientists. GroundWater, Vol. 51, 2013, S. 151-156.

[Müller, 2010]

Müller, U.: Hochwasserrisikomanagement: Theorie und Praxis. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2010.

[Neumayer, 2011]

Neumayer, E., Barthel, F.: Normalizing economic loss from natural disasters: A global analysis. Global Environmental Change, Vol. 21, 2011, S. 13-24.

[Poser, 2010]

Poser, K., Dransch, D.: Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. Geomatica, Vol. 64, 2010, S. 89-98.

[Royem, 2012]

Royem, A. A., Mui, C. K., Fuka, D. R., Walter, M. T.: Technical Note: Proposing a low-tech, affordable, accurate stream stage monitoring system. Transactions of the ASABE, Vol. 55, 2012, S. 2237-2242.

[Sieber, 2006]

Sieber, R.: Public Participation Geographic Information Systems: A Literature Review and Framework. Annals of the Association of American Geographers, Vol. 96, 2006, S. 491-507.

[Smith, 2008]

Smith, L. C., Pavelsky, T. M.: Estimation of river discharge, propagation speed, and hydraulic geometry from space: Lena River, Siberia. Water Resources Research, Vol. 44, 2008.

[WeSenseIt, 2014]

WeSenseIt: Sensor Data: Sensors, Citizens, Information and Models. 2014, <http://we-senseit.eu/wp-content/uploads/2014/12/data.pdf>, (Zugriff: 30.06.2016).

[Yates, 2011]

Yates, D., Paquette, S.: Emergency knowledge management and social media technologies: A case study of the 2010 Haitian earthquake. International Journal of Information Management, Vol. 31, 2011, S. 6-13.