

Jan Seibert, H.J. (Ilja) van Meerveld, Simon Etter, Barbara Strobl, Rick Assendelft & Philipp Hummer

Wasserdaten sammeln mit dem Smartphone – Wie können Menschen messen, was hydrologische Modelle brauchen?

Collecting water data using smartphones – how can people measure what models need?

Die Bürgerwissenschaft (Citizen Science) ist ein potenziell interessanter Ansatz, um bestehende hydrologische Messnetzwerke zu ergänzen und Daten für das Wasserressourcenmanagement zu erheben. Hydrologische Beobachtungen basieren jedoch normalerweise auf der Verwendung von Messinstrumenten. Dies begrenzt die Möglichkeit für Beobachtungen durch Bürgerwissenschaftler an vielen verschiedenen Orten. Hier präsentieren wir einen neuartigen, skalierbaren Ansatz, bei dem keine physischen Installationen oder Instrumente erforderlich sind. Wir diskutieren, wie der Wert von verschiedenen Arten von Daten abgeschätzt werden kann, und betrachten dabei insbesondere Daten, die potenziell in Mitmachprojekten gesammelt werden können. Wir stellen eine Smartphone-App zur Erfassung von Beobachtungen des Wasserstands, der Bodenfeuchte und des Zustandes trockenfallender Bäche vor. Der Ansatz ist dem Geocaching ähnlich, mit dem Unterschied, dass anstelle von Fundstellen für die Schatzsuche hydrologische Messstellen von jedem und überall eingerichtet werden können. Anschließend können alle Bürgerwissenschaftler durch Beobachtungen an dieser Station beitragen. Für die Wasserstandsbeobachtung wird eine virtuelle Messlatte verwendet. Das Bild einer Messlatte wird dabei digital in ein Foto eines Fließgewässers eingefügt. Damit kann der Wasserstand zu späteren Zeitpunkten abgeschätzt werden. Für Bodenfeuchte und trockenfallende Bäche werden beschreibende Klassen verwendet, die im Feld beobachtet werden können. Die ersten Ergebnisse des CrowdWater-Projekts zeigen, dass Daten aus Mitmachprojekten potenziell informativ sein können und dass die Sammlung solcher Daten dank der Smartphone-App gut möglich ist.

Schlagwörter: Bürgerwissenschaft, Smartphone App, virtuelle Messlatte, Datensammlung, Wert von Daten

Citizen science is a potentially useful approach to complement existing hydrological observation networks, and to obtain important data for water resources management. However, hydrological observations are usually based on the use of different kinds of measurement instruments. This seriously limits the options for citizen scientists to contribute with measurements at many different locations. In this paper, we present a novel, scalable approach where no physical installations are needed. We discuss how the value of different types of data, and especially such data that potentially can be collected in citizen science projects, can be evaluated. We present the CrowdWater App, a smartphone app that is used for the collection of information about water levels, soil moisture and the status of temporary streams. The approach is similar to geocaching, with the difference that instead of finding treasure-hunting sites, hydrological measurement sites can be created by anyone and at any location and these sites can be found by the creator or other citizen scientists to take additional measurements at another time. This approach makes use of a virtual staff gauge for water level measurements; this means that a picture of a staff gauge is digitally inserted into a photo of a stream bank or a bridge pillar, and the water level during a subsequent field visit to that site is compared to the staff gauge on the first picture. For soil moisture and the status of temporary streams, qualitative classes are used. The first results of the CrowdWater project showed that citizen science data could potentially be informative and that the collection of such data is possible thanks to the smartphone app.

Keywords: Citizen science, smartphone app, virtual staff gauge, data collection, value of data

1. Einleitung

Hydrologische Daten sind Mangelware, insbesondere fehlen häufig Daten über die räumliche Variation hydrologischer Variablen. So fehlen an den meisten kleineren Gewässern Abflussbeobachtungen und Bodenfeuchtemessungen liegen nur an wenigen Standorten vor. Mitmachprojekte (auch als Bürgerwissenschaft oder "Citizen Science" bezeichnet) werden in manchen Bereichen schon lange genutzt, um Daten einzusammeln und sind insbesondere hilfreich, wenn es darum geht, räumlich verteilte Beobachtungen durchzuführen (SILVERTOWN, 2009), auch wenn die Beobachtungen ungenau, unregelmäßig und lückenhaft sind. Dank moderner Kommunikationstechnologie wie Smartphones sind die Möglichkeiten für derartige Mitmachprojekte in den letzten Jahren markant gestiegen und auch im Bereich der Hydrologie gibt es einige interessante Projekte (LOWRY & FIENEN, 2013; BUYTAERT et al., 2014; WEESER et al., 2018).

Im Projekt CrowdWater wird untersucht, inwieweit Mitmachprojekte helfen können, hydrologische Variablen zu beobachten. Einerseits wird erforscht, mit welchen Methoden welche hydrologischen Größen durch Freiwillige (z. B. Wanderer¹, Hundebesitzer, Angler, ...) beobachtet werden können. Andererseits wird untersucht, welchen Wert derartige Daten potenziell haben. In diesem Beitrag geht es um beide Aspekte. Zunächst wird diskutiert, inwieweit der Nutzen verschiedener Daten bewertet werden kann. Anschließend wird die Smartphone-App vorgestellt, die im Rahmen des Projekts CrowdWater entwickelt wurde, um hydrologische Beobachtungen zu sammeln.

¹ Um den Lesefluss nicht zu beeinträchtigen wird hier und im folgenden Text nur die männliche Form genannt. Die weibliche Form ist selbstverständlich immer eingeschlossen.

Die grundsätzliche Idee im CrowdWater-Projekt besteht darin, Wasserdaten ohne physische Installationen sammeln zu können. Dadurch, dass jeder Anwender einfach neue Stationen einrichten kann, wird eine Skalierbarkeit erreicht, die mit herkömmlichen Messmethoden nicht möglich wäre. Dies entspricht dem Geocaching-Ansatz, wo ebenfalls Stationen von einzelnen Anwendern selber erstellt werden können und anschließend allen Anwendern zur Verfügung stehen.

Da weder physische Installationen noch Messinstrumente verwendet werden sollen, können natürlich keine hochgenauen Daten erhoben werden. Zudem geht es grundsätzlich darum, relative Informationen in Form von Klassen zu sammeln. Konkret heißt dies zum Beispiel, dass nicht ein genauer Wasserstand in Zentimetern gemessen wird, sondern es wird erhoben, ob der Wasserstand höher oder niedriger als ein bestimmter Stein im Fluss ist. Einzelne solche relative Klassenwerte sind nicht informativ, aber Zeitreihen solcher Daten helfen, hydrologische Einzugsmodelle zu kalibrieren (SEIBERT & VIS, 2016; VAN MEERVELD et al., 2017). Hydrologisch relevante Daten werden also teilweise nicht direkt erhoben, sondern es werden Daten gesammelt, die helfen, Modelle anzupassen, die dann kontinuierliche Zeitreihen der relevanten Daten simulieren können.

2. Wert von Daten für die hydrologische Modellierung

Abflussschätzungen sind schwierig. Mithilfe durch Befragungen zufälliger Passanten entlang von Fließgewässern verschiedener Größe konnte die typische Größe der Unsicherheit bei der Abflussschätzung quantifiziert werden (STROBL et al., in press). Eine Modellstudie mit synthetischen Daten zeigte dann, dass die Streuung der Fehler um mindestens die Hälfte verringert werden müsste, damit die Schätzungen für die Parametrisierung hydrologischer Modelle informativ werden (ETTER et al., 2018). Wasserstände sind deutlich einfacher zu beobachten als Abflusswerte. Es stellt sich jedoch die Frage, inwieweit Wasserstände hilfreich sind, um hydrologische Modelle zu kalibrieren. Der Wert von Wasserstandsdaten für die hydrologische Modellierung wurde anhand von Daten für etwa 600 Einzugsgebiete in den USA untersucht (SEIBERT & VIS, 2016). Hierzu wurde ein einfaches hydrologisches Modell, das HBV-Modell, zunächst gegen Abflusszeitserien kalibriert. Anschließend wurde angenommen, es lägen nur Zeitserien der Wasserstände vor. Das HBV-Modell wurde dann gegen diese Daten kalibriert, wobei der Spearman-Rangkorrelationskoeffizient als Gütemaß verwendet wurde. Dadurch konnte vermieden werden, dass zusätzliche Parameter für die Abfluss-Wasserstands-Beziehung eingeführt werden mussten. Die so kalibrierten Modellparameter wurden dann verwendet, um den Abfluss zu simulieren und die Güte dieser Simulationen wurde mithilfe der beobachteten Abflussdaten ausgewertet. Mit dem Rangkorrelationskoeffizienten als Gütemaß wäre es theoretisch möglich, einen "perfekten" Wert von eins zu erreichen, obwohl der Abfluss systematisch unter- oder überschätzt wird. Daher könnte erwartet werden, dass sich die Güte der Abflusssimulationen bei der Kalibration mit Wasserstandsdaten im Vergleich zur Kalibration mit Abflussdaten deutlich verschlechtert. Dies war jedoch nicht der Fall, sondern es stellte sich heraus, dass die mit Wasserstandsdaten kalibrierten Modelle Abflusssimulationen lieferten, die häufig kaum schlechter waren als die Modelle, die auf den Abfluss kalibriert wurden. Speziell in humiden Regionen waren die Unterschiede gering. Mit anderen Worten: es zeigte

sich, dass Wasserstandsdaten durchaus hilfreich sein können, um hydrologische Modelle zu kalibrieren, die dann wiederum verwendet werden können, um Abflussdaten zu simulieren.

In der zuvor genannten Studie wurde von hochaufgelösten Wasserstandsdaten ausgegangen, die nur mit festen Installationen gemessen werden können. Ohne solche Installationen kann der Wasserstand jedoch nur mit einer gröberen Auflösung gemessen werden. In einer weiteren Studie wurde daher untersucht, wie gut hydrologische Modelle sind, wenn sie mithilfe von Wasserstandsklassen kalibriert werden (VAN MEERVELD et al., 2017). Hierzu wurden die Wasserstände klassifiziert und das Modell gegen Zeitserien dieser Wasserstandsklassen kalibriert. Bereits die Verwendung von nur zwei Wasserstandsklassen, also in der Praxis zum Beispiel Wasserstand über oder unter einem Stein, führte zu deutlich verbesserten Simulationen verglichen mit dem unkalibrierten Modell. Der Wert der Wasserstandsdaten nahm mit zunehmender Anzahl Wasserstandsklassen zu, jedoch nur bis zu etwa 5 bis 7 Wasserstandsklassen. Darüber hinaus war der zusätzliche Wert von weiteren Wasserstandsklassen vernachlässigbar. Dies bedeutet, dass eine relativ geringe Anzahl von Wasserstandsklassen bereits sehr informativ sein kann.

In beiden Studien wurde von täglichen Daten ausgegangen. In Mitmachprojekten sind Beobachtungen jedoch eher lückenhaft und unregelmäßig. Der Wert von solchen unvollständigen Zeitserien kann mit dem gleichen Ansatz untersucht werden, wie er für die zuvor genannten Studien verwendet wurde. Man kann zum Beispiel annehmen, dass eine gewisse Anzahl von Beobachtungen pro Jahr vorliegt und diese eventuell zeitlich unregelmäßig erhoben wurden (z. B. mehr Beobachtungen im Sommer oder am Wochenende). Außerdem sind Daten, die von Mitmachenden erhoben werden, häufig mit Unsicherheiten behaftet. Daher wurde der Wert solcher unregelmäßigen und unsicheren Daten für die Kalibrierung des HBV-Modells für sechs Schweizer Einzugsgebiete untersucht. Die Gebiete mit einer Größe zwischen 24 und 186 km² sind teilweise von Schnee beeinflusst, enthalten aber keine Gletscher. Zu einem gewissen Grad konnte eine höhere Anzahl von Beobachtungen Unsicherheiten ausgleichen. Wenn die Unsicherheiten jedoch sehr groß sind, reicht auch eine große Anzahl von Beobachtungen nicht aus, um Anpassungen zu erhalten, die zu guten Abflusssimulationen führen (Abb. 1) (ETTER et al., 2018).

Neben Wasserstand oder Abfluss können auch andere hydrologische Größen verwendet werden, um Modellparameterwerte anzupassen. Zum Beispiel können Zeitserien von Bodenfeuchtedaten oder Informationen, ob ein Bach Wasser führte, mit den internen Modellsimulationen verglichen werden (AUBERT et al., 2003; BROCCA et al., 2009; STOLL & WEILER, 2010).

3. CrowdWater-App

Entwicklungen der modernen Informationstechnologie und insbesondere die weite Verbreitung von Smartphones haben den Prozess der Datensammlung in Mitmachprojekten grundlegend vereinfacht. Mit Hilfe von Smartphone-Apps und interaktiven Karten können Teilnehmer Daten direkt vor Ort erheben und in Datenbanken einspeisen.

Die Applikation des Projekts CrowdWater läuft auf der Citizen Science Plattform SPOTTERON (www.spotteron.net) und wird

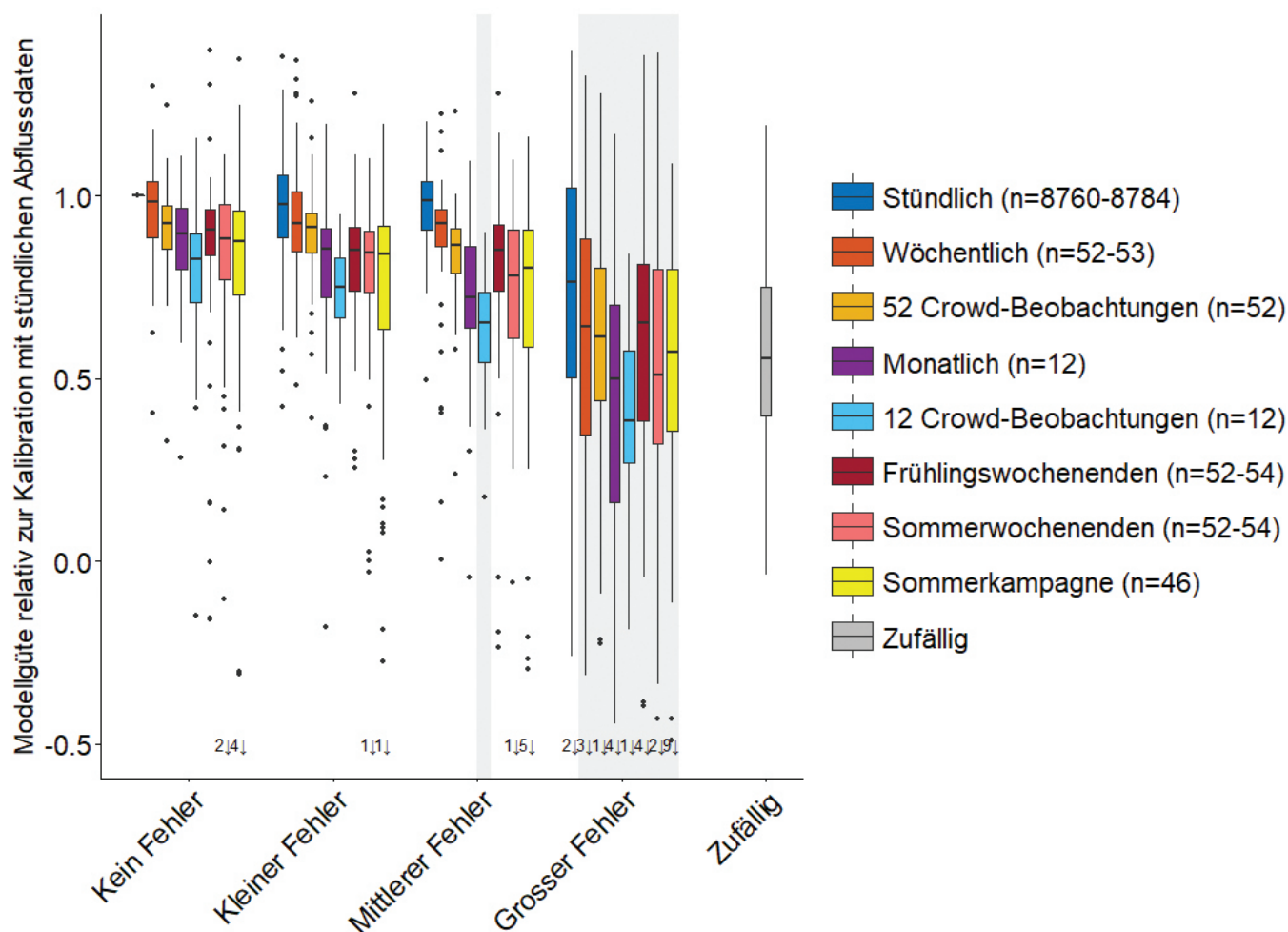
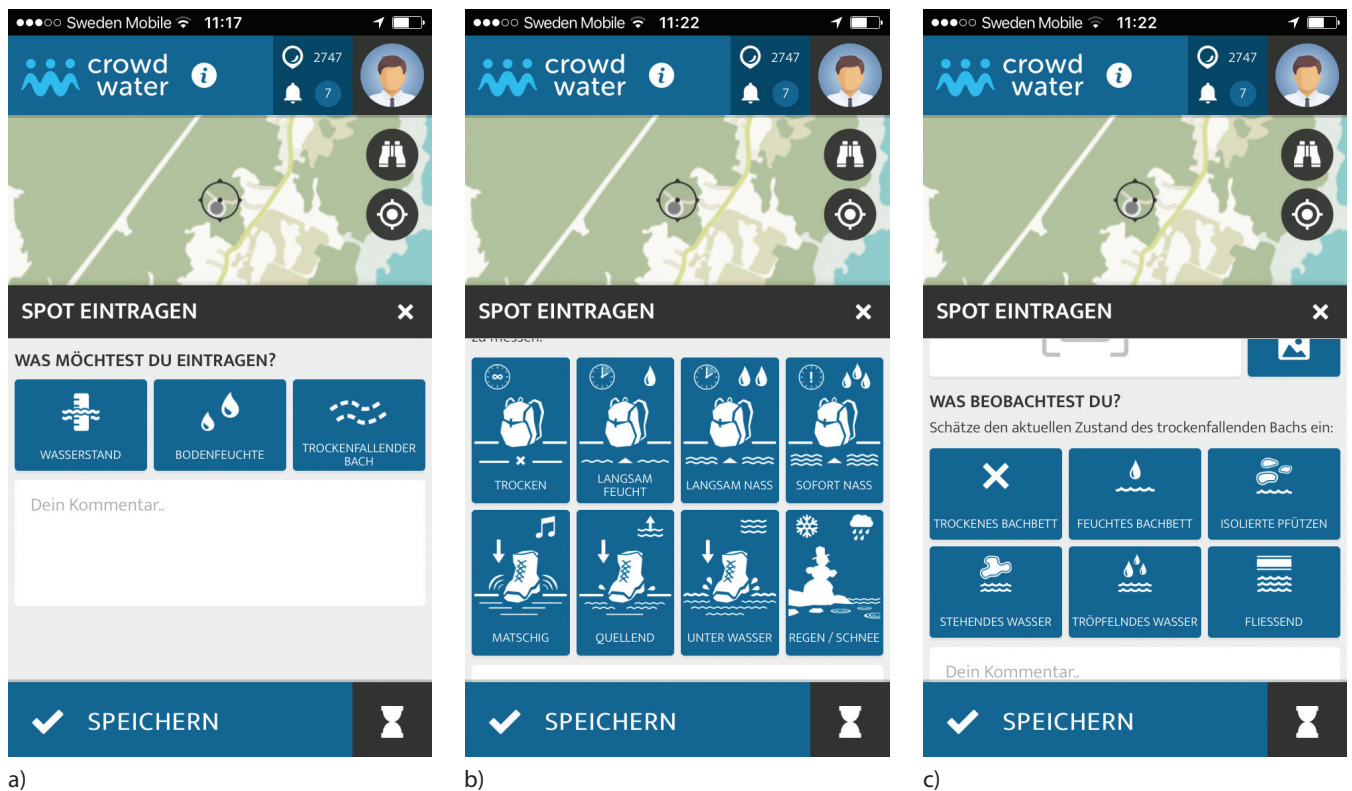


Abbildung 1

Kastendiagramm mit den mittleren (Median) Modellgüten für die verschiedenen Datensätze, die zur Kalibration verwendet wurden, jeweils zusammengefasst für alle sechs Schweizer Einzugsgebiete. Die Modellgüten werden relativ zur oberen Vergleichsgröße (Kalibration mit der kompletten fehlerfreien Zeitserie) angegeben und mit der unteren Vergleichsgröße (zufällige Parameter) verglichen. Modellgüten, die nicht signifikant besser waren als die Simulation mit zufälligen Parametern, sind grau hinterlegt. Jeder Kasten zeigt das 25. bis 75. Perzentil, die horizontale Linie zeigt den Median, und die Antennen reichen bis zum 1,5-fachen des Interquartilsbereichs. Einzelne Punkte repräsentieren die Ausreißer und deren Anzahl. Verschiedene Annahmen der Datenverfügbarkeit werden in den verschiedenen Farben dargestellt, wobei in der Legende "n" die Anzahl der Abflussbeobachtungen angibt, die für die Modellkalibrierung verwendet wurden. Hierbei bezeichnet "Crowd" ein Wahrscheinlichkeitsszenario, das Beiträge von Freiwilligen simuliert. So sind beispielsweise Beiträge an Wochenenden und außerhalb der typischen Arbeitszeiten wahrscheinlicher und Beiträge bei Nacht ausgeschlossen. Bei dem Modellexperiment Frühlings- bzw. Sommerwochenende wurde jeweils ein Datenpunkt am Samstag und Sonntag während der Monate März bis August bzw. Mai bis Oktober gewählt und in der Sommerkampagne ein Wert jeden zweiten Tag von Juli bis September. Ein relativer Wert von 1 zeigt an, dass die Modellgüte dem Modell entspricht, das mit den kompletten, fehlerfreien Daten kalibriert wurde (verändert aus ETTER et al., 2018). Box diagram showing the median model performances for the different datasets used for calibration in the six Swiss catchments. The model performances are given relative to the upper benchmark (calibration with the complete and error-free runoff time series) and compared with the lower benchmark (random parameters). Model performances that were not significantly better than the simulations with random parameters are highlighted in gray. Each box shows the 25th to 75th percentile, the horizontal line shows the median, and the whiskers are 1.5 times the interquartile range. Individual points represent the outliers and their quantity. The different assumptions of data availability are presented with different colors, where 'n' in the legend refers to the number of runoff observations used for model calibration. The term 'crowd' refers to a probability scenario that simulates volunteer contributions, which are, for instance, more likely on weekends and outside normal working hours and highly unlikely at night. In the 'spring and summer weekend' model experiment, one data point each was chosen on Saturday and Sunday during the months of March to August, or May to October, and in the 'summer campaign' a value was assumed every other day from July to September. A relative value of one indicates that the model performance matched the model that was calibrated with the complete, error-free data (modified from ETTER et al., 2018).

von deren Team laufend technisch betreut, um einen möglichst reibungslosen Betrieb zu ermöglichen. Die Smartphone-App ist als mobiles Werkzeug für die Verwendung im Freien konzipiert und für eine schnelle Bedienung im Feld optimiert. Bei schlechter oder fehlender Internetverbindung können Beobachtungen aber auch über eine Warteschlange oder zu einem späteren Zeit-

punkt über die interaktive Browserkarte auf PC oder Laptop eingegeben werden. Die CrowdWater-App ist für Android und iOS verfügbar und kann in den App-Stores der Anbieter kostenlos heruntergeladen werden. Derzeit lassen sich vier verschiedene Sprachen wählen (Englisch, Deutsch, Französisch und Spanisch). Der einhändige Einsatz für die Grundbedienung der App und

**Abbildung 2**

Bildschirmfotos der CrowdWater-App: a) Wahl der Beobachtungsart, b) Kategorien für die Bodenfeuchte, c) Kategorien für zeitweise wasserführende Bäche.

Screenshots of the CrowdWater app: a) Selection of the observed variable, b) Categories for soil moisture observations, c) Categories for temporary streams.

eine hierarchische, leitende Struktur bei der Eingabe neuer Messpunkte stand bei der Entwicklung im Vordergrund. Neben einer intuitiven Anwendbarkeit wurde auch auf eine ansprechende Gestaltung der App Wert gelegt. Erfahrungen zeigen, dass die Gestaltung wichtig ist, um Projekte auch visuell zu kommunizieren (NORMAN, 2002).

Neben der Datenerhebung ist in der App auch die Interaktion zwischen Teilnehmern untereinander sowie mit den Wissenschaftlern der Projektleitung möglich. Dieser Kontakt geschieht über ein direkt in die App integriertes soziales Netzwerk. Wie in vielen modernen interaktiven Anwendungen stellt dies aus Anwenderperspektive eine essenzielle Grundfunktion dar (ZHAO & BALAGUÉ, 2015; KIM & BAEK, 2018). Teilnehmer können in der CrowdWater-App Stationen und Beobachtungen " liken " bzw. kommentieren, einander folgen oder andere Interaktionen setzen. Das Ziel ist, ein Gemeinschaftsgefühl und damit eine Langzeitmotivation zu erreichen. Zusätzlich ermöglicht die SPOTTERON Citizen Science Plattform das Senden von Direktnachrichten ("Push-Notifications") an alle Teilnehmer, um Neuigkeiten zum Projekt direkt zu kommunizieren und Aktivitäten zu steigern (z. B. bei speziellen hydrologischen Situationen).

Die CrowdWater-App ermöglicht die Beobachtung von drei verschiedenen hydrologischen Variablen: Wasserstand, Bodenfeuchte und den Zustand in trockenfallenden Bächen (Abb. 2). Im Folgenden wird näher beschrieben, wie diese Informationen mit der App erhoben werden.

3.1 Wasserstand

Bei den Wasserstandsbeobachtungen gehen wir davon aus, dass es normalerweise möglich ist, den Wasserstand mit Strukturen wie Steinen oder Bäumen zu vergleichen und dadurch relative Wasserstände zu bestimmen (z. B. der Wasserstand war unter oder über einem bestimmten Felsen). Die Herausforderung besteht darin, die verschiedenen Wasserstandsklassen leicht und ohne lange verbale Beschreibungen identifizieren zu können. Hierzu wird in der CrowdWater-App ein durch eine Messlatte ergänztes Foto verwendet. Dieser Ansatz der virtuellen Messlatte umfasst die folgenden Schritte (vgl. Abb. 3):

- Der Benutzer wählt eine geeignete Stelle an einem Fließgewässer aus und identifiziert den Standort auf einer Karte in der Smartphone-App.
- Der Benutzer fotografiert das Ufer des Gewässers (senkrecht zur Flussrichtung und nach Möglichkeit von Höhe des Gewässers aus, um die Verzerrung der Ansicht zu vermeiden). In diesem Bild muss es Strukturen, wie eine Brücke oder Felsen, geben, die es erlauben, Wasserstände zu vergleichen. Im Idealfall soll dieses erste Bild bei Niedrigwasserbedingungen aufgenommen werden.
- Das Bild einer Messlatte mit zehn Klassen wird digital als "virtuelle" Messlatte in das Foto eingefügt. Diese Messlatte wird so platziert und skaliert, dass sie die erwarteten Variationen des Wasserstandes umfasst.

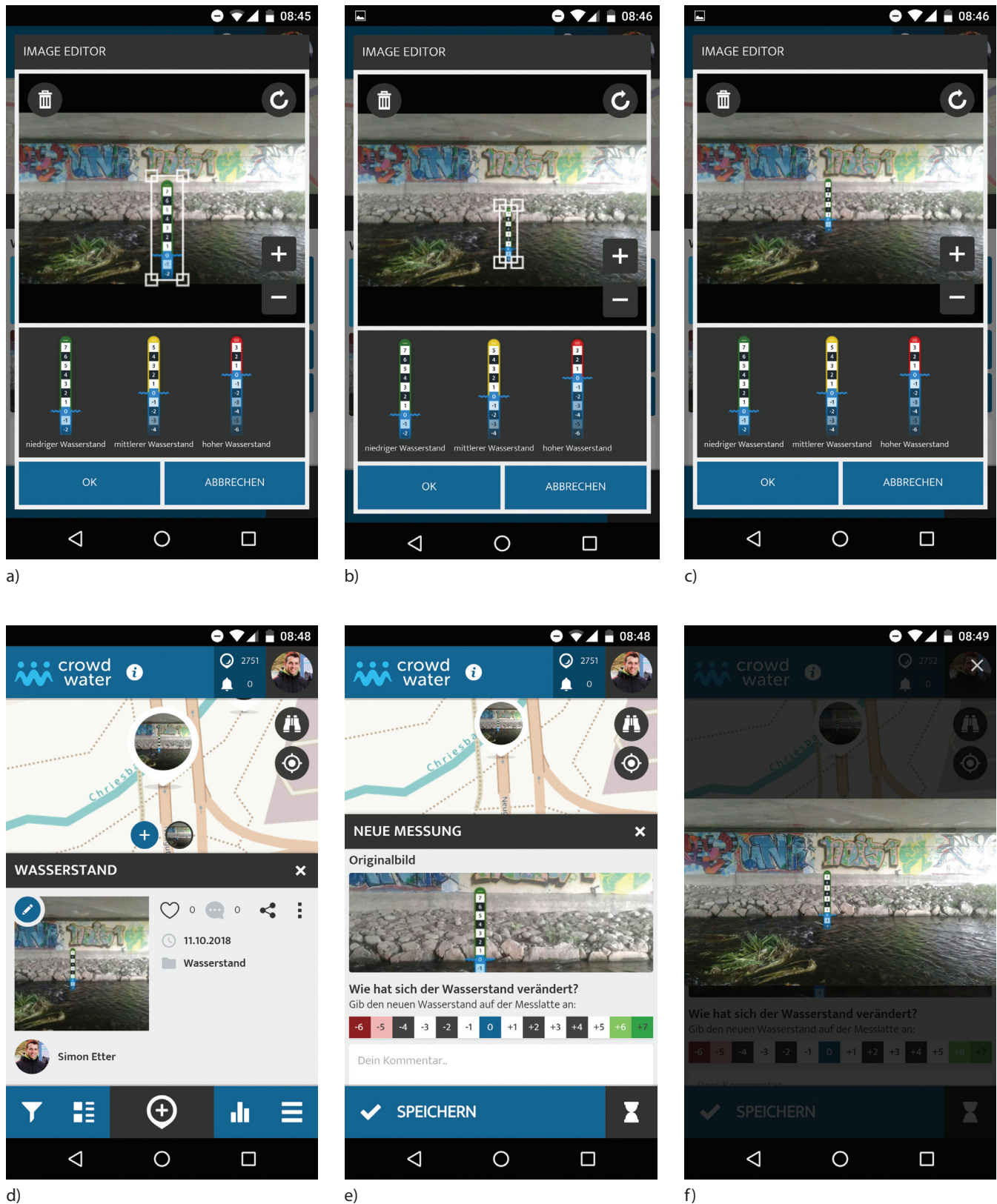
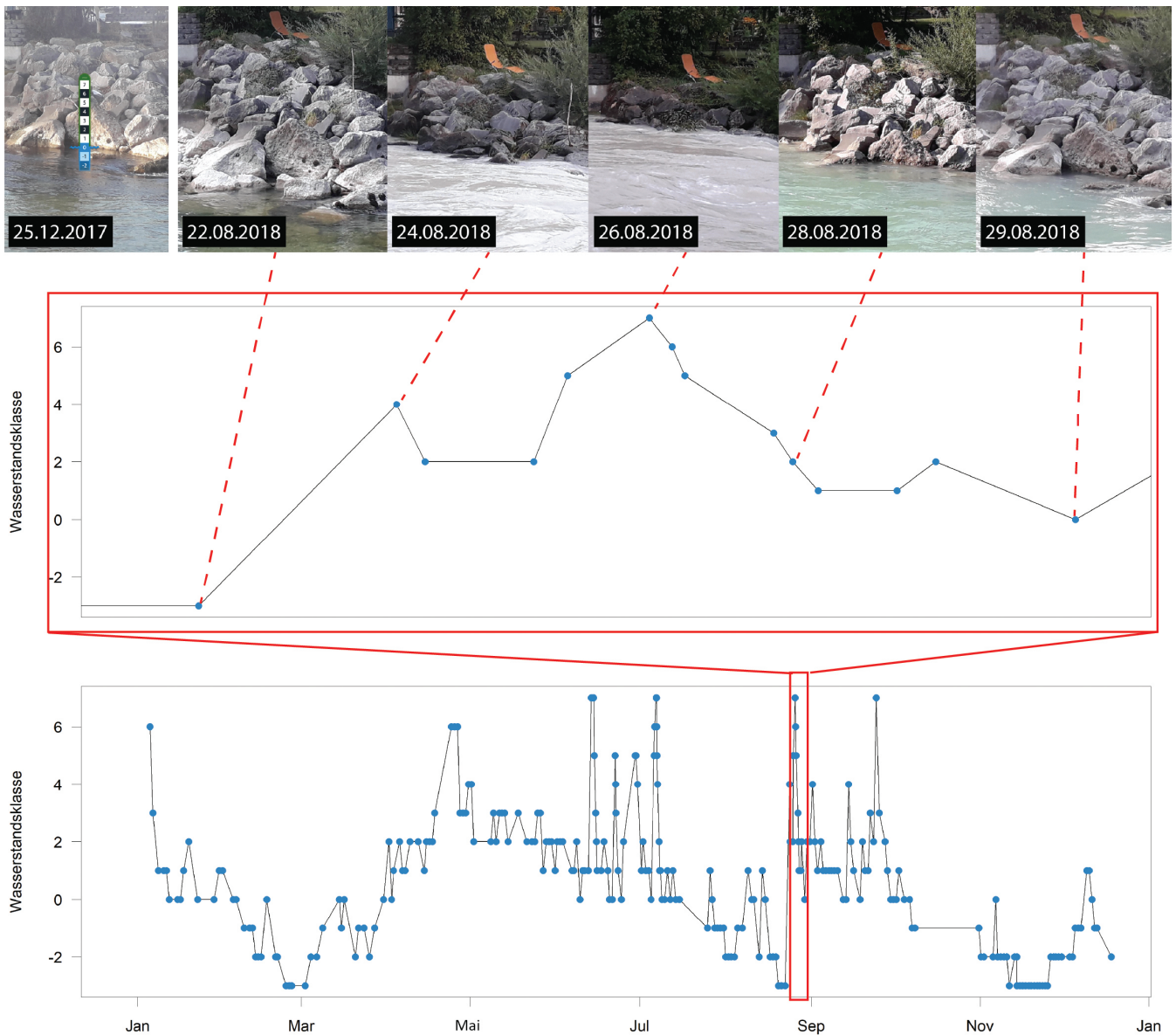


Abbildung 3

Illustration zur Verwendung der virtuellen Messlatte in der CrowdWater-App. Die Bildschirmfotos zeigen: a) Einsetzen der virtuellen Messlatte, b) Skalieren der virtuellen Messlatte, c) Platzierung der virtuellen Messlatte, d - f) neue Beobachtung des Wasserstandes mithilfe der virtuellen Messlatte.

Illustration of the virtual staff gauge in the CrowdWater app. The screenshots show: a) insertion the virtual staff gauge, b) scaling the virtual staff gauge, c) placement the virtual staff gauge, d-f) new water level observation using the virtual staff gauge.

**Abbildung 4**

Zeitserie mit Beobachtungen der Wasserstandsklassen an der Königsseeache, einem Nebenfluss der Salzach in Österreich. Ein Abflussereignis mit den zugehörigen Fotos wurde exemplarisch hervorgehoben.

Time series with water level class observations at the Königsseeache, a tributary of the Salzach in Austria. One runoff event with the respective photos was emphasized as an example.

Anschließend kann jede Person dank des Referenzfotos mit der virtuellen Messlatte an diesem Standort die Wasserstandsklasse abschätzen und damit zu einer Zeitserie mit relativen Wasserstandsklassen beitragen. Die Person vergleicht hierzu in der App den momentanen Wasserstand mit den Strukturen auf dem Foto und der virtuellen Messlatte, wählt die aktuelle Wasserstandsklasse, erstellt ein neues Bild des Fließgewässers und übermittelt die neue Messung an die Datenserver. Aus diesen Beobachtungen entsteht so eine Zeitserie von Wasserstandsklassen (Abb.4). Der Vorteil der virtuellen Messlatte besteht darin, dass Installationen vermieden werden und neue Beobachtungsstandorte schnell und einfach eingerichtet werden können. Eine Auswertung an verschiedenen Schweizer Fließgewässern mit jeweils 27 bis 44 Testpersonen zeigte, dass Klassifizierungen mit Hilfe einer

solchen virtuellen Messlatte reproduzierbare Beobachtungen erlauben (Abb. 5) (STROBL et al., in press).

3.2 Bodenfeuchte

Die Bodenfeuchte ist eine wichtige hydrologische Variable, welche aber schwierig zu messen ist. Um die Skalierbarkeit zu erreichen, wird in der CrowdWater-App ein Ansatz zum Abschätzen der Bodenfeuchte verwendet, bei dem kein Messinstrument verwendet wird. Für die meisten Personen ist es kaum möglich, absolute Werte für die Bodenfeuchte abzuschätzen. Daher wird die Bodenfeuchte stattdessen beobachtet, indem sie in Bezug zu alltäglichen Erfahrungen gesetzt wird. Dies entspricht prinzipiell Ansätzen wie der Richterskala für Erdbeben oder der Beaufort-Skala für Windstärken. RINDERER et al. (2012) haben eine sieben-

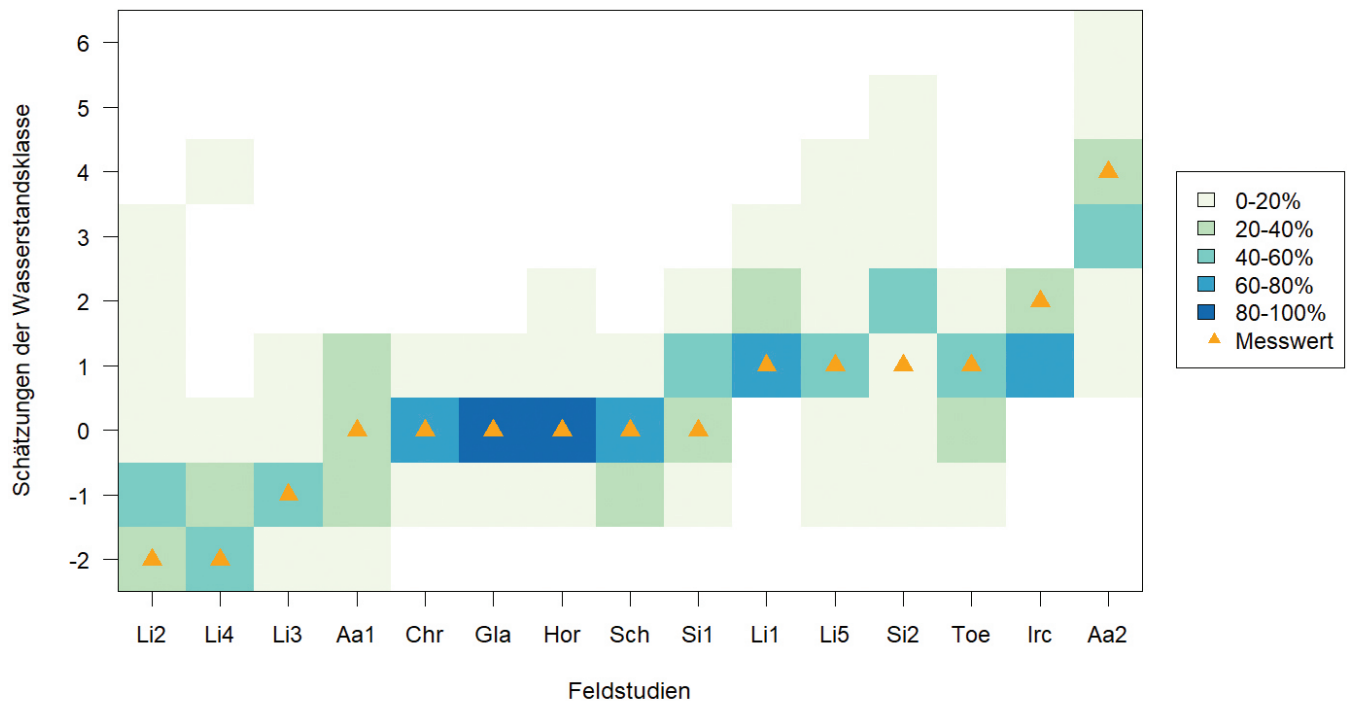


Abbildung 5

Verteilung der Abschätzungen der Wasserstandsklassen bei Feldstudien an verschiedenen Schweizer Flüssen. Jede Spalte zeigt einen separaten Standort, bzw. unterschiedliche Zeitpunkte am gleichen Standort (bezahlte Spalten). Pro Standort und Zeitpunkt wurden zwischen 27 und 44 Teilnehmer befragt. Die Zeilen zeigen die einzelnen Wasserstandsklassen, die je nach Farbe häufig, oder weniger häufig geschätzt wurden. Die orangenen Dreiecke zeigen den Wert an, der von zwei Experten (BS und SE) bestimmt wurde (verändert aus STROBL et al., in press).

Distribution of water class estimates in field studies at different Swiss rivers. Each column shows a separate location, or a different occasion at the same location (numbered columns). Between 27 and 44 participants were interviewed per location and occasion. The rows show the water level classes and the color indicates how frequently these were estimated by the different persons. The orange triangles indicate values that were estimated by two experts (BS and SE) (modified from STROBL et al., in press).

stufige Skala vorgeschlagen, mithilfe derer die Bodenfeuchte beschrieben werden kann. Diese Skala reicht von "Der Boden ist unter Wasser" als feuchteste Stufe bis zu der trockensten Stufe, bei der man länger auf dem Boden sitzen kann, ohne dass die Hose beginnt feucht zu werden (Tab. 1). In einem Feldversuch mit etwa 20 Testpersonen und 50 Messstellen kamen verschiedene

Personen im Großen und Ganzen zu ähnlichen Beobachtungen (RINDERER et al., 2012). In der Mehrheit der Fälle stimmte die Klassifizierung überein und nur in 5 % der Fälle lagen die Beobachtungen der Versuchspersonen mehr als eine Klasse auseinander. Für die CrowdWater-App wurde die feucht werdende Hose durch einen Rucksack ersetzt, da dies visuell besser umsetzbar war.

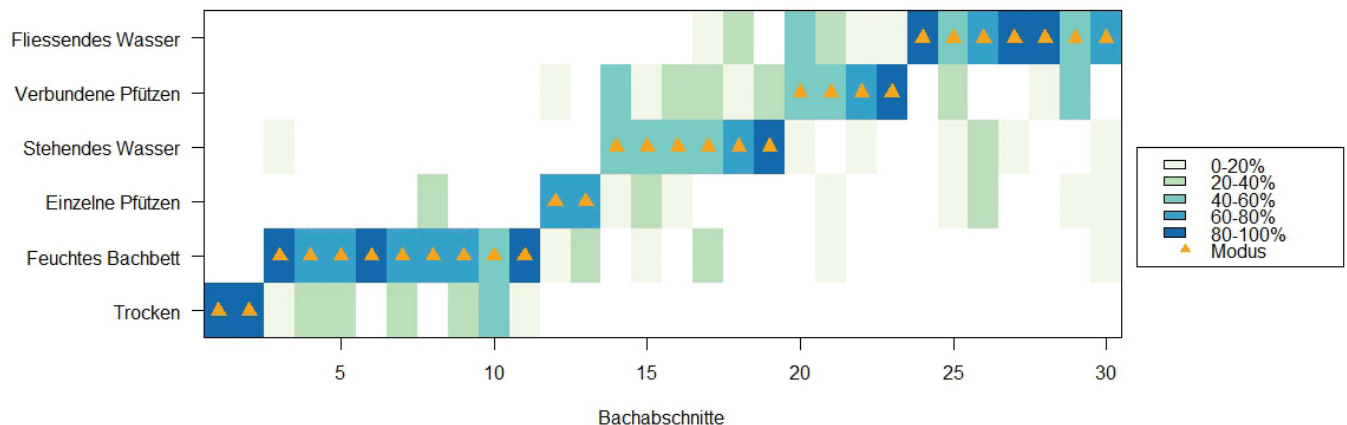
Tabelle 1

Klassen für die Beobachtung der Bodenfeuchte.
Classes for the soil moisture observations.

Klasse	Erklärung
Trocken	Ein Rucksack wird nicht feucht, auch wenn er über längere Zeit am Boden steht.
Langsam feucht	Ein Rucksack wird allmählich feucht, wenn er über längere Zeit am Boden steht.
Langsam nass	Ein Rucksack wird allmählich nass, wenn er über längere Zeit am Boden steht.
Sofort nass	Ein Rucksack wird sofort nass, wenn er am Boden steht.
Matschig	Wasser hörbar, wenn man mit dem Stiefel auf den Boden tritt.
Quellend	Wasser tritt an die Oberfläche, wenn man mit dem Stiefel auf den Boden tritt.
Unter Wasser	Boden steht unter Wasser.
Regen/Schnee	Aufgrund von Regen oder Schnee kann keine Beobachtung durchgeführt werden.

3.3 Trockenfallende Bäche

Zahlreiche Fließgewässer führen nur zeitweise Wasser. Es gibt jedoch nur wenige Messungen, die diese Dynamik beschreiben. Da es sich meistens um kleine Bäche handelt, die sich oft auch im Wald befinden, ist die Beobachtung durch Fernerkundungsmethoden kaum möglich. Wie für die Bodenfeuchte, werden in der CrowdWater-App verschiedene Klassen verwendet, um trockenfallende Bäche (auch als temporäre oder zeitweise wasserführende Bäche bezeichnet) zu beschreiben. Um die Anwendbarkeit der Klassen für die Beobachtung trockenfallender Bäche in der CrowdWater-App zu testen, wurde ein Feldtest mit 12 Studierenden (Geographie, Beginn Masterstudium) in einem kleinen Kopfeinzugsgebiet im Alptal (Schweiz, Kanton Schwyz) durchgeführt. Die Studierenden wurden angewiesen, 30 markierte Bachabschnitte entlang des Gewässernetzwerkes zu klassifizieren. Bei diesem Feldtest wurden folgende Klassen verwendet: trocken, feuchtes Bachbett, einzelne Pfützen, stehendes Wasser, verbundene Pfützen und fließendes Wasser. Es wurde dann untersucht, welche Abweichungen bei der Klassifizierung der einzelnen Bachabschnitte zwischen den Studierenden auftraten.

**Abbildung 6**

Verteilung der Klassifizierung des Zustands verschiedener Bäche während des Feldtest mit 12 Studierenden für 30 Bachabschnitte. Die orangenen Dreiecke zeigen den jeweiligen Modalwert an.

Distribution of the classification of the situation in temporary streams during a field study with 12 students for 30 stream segments. The orange triangles indicate the respective mode value.

Die Ergebnisse zeigten, dass in 72 % der Fälle die gleiche Klasse gewählt wurde und in 93 % der Fälle der Unterschied maximal eine Klasse betrug (Abb. 6). Die Unterschiede konnten teilweise auf Missverständnisse bezüglich der verschiedenen Klassen zurückgeführt werden. Dies betraf vor allem die Klassen "stehendes Wasser", "isolierte Pfützen" und "verbundene Pfützen". Die Klassenbeschreibungen wurden daher im Anschluss an den Feldversuch angepasst, um das Risiko für Missverständnisse zu verringern. Die letztendlich verwendete Klassifizierung unterscheidet zwischen trockenem und feuchtem Bachbett, einzelnen Pfützen und stehendem Wasser sowie tröpfelndem und fließendem Wasser (Tab. 2). Der Feldversuch hat auch gezeigt, dass es wichtig ist, den Anwender auf die Länge des zu betrachtenden Bachabschnittes hinzuweisen. Diese hängt von der Größe des Fließgewässers ab, für kleine Bäche sind etwa 3 m sinnvoll (generell etwa 5 bis 10 mal die Gewässerbreite).

3.4 Datenqualitätskontrolle

Bei Daten, die im Rahmen von Mitmachprojekten erhoben werden, sind mögliche Messfehler ein ernstes Problem und die Beobachtungen müssen daher gut kontrolliert werden. Bei kleinen Projekten ist die manuelle Kontrolle durch Projektverantwortli-

che möglich, bei einem zunehmenden Beobachtungsvolumen wird dies jedoch logistisch schwierig bis unmöglich. Ein Ansatz ist es daher, auch bei der Datenkontrolle auf die Mithilfe durch Teilnehmer zurückzugreifen. Im CrowdWater-Projekt wurde ein webbasiertes Spiel entwickelt, um die Skalierbarkeit zu gewährleisten (siehe <https://crowdwater.ch/de/crowdwater-spiel/>). Mit diesem Spiel werden die fotografierten Wasserstände einzelner Teilnehmer durch andere Teilnehmer klassifiziert und damit überprüft. Dieses Spiel wurde bisher nur für Wasserstände implementiert, da hierfür hochgeladene Fotos besser interpretiert werden können, als dies für Bodenfeuchte und temporäre Bäche möglich wäre.

In dem Spiel beurteilen viele Teilnehmer die gleiche Messung, wodurch ein Medianklassenwert berechnet werden kann, sobald ein Foto von mindestens 15 Teilnehmern klassifiziert wurde (Abb. 7). Weicht diese Beurteilung bei vielen Teilnehmern vom ursprünglich gemeldeten Wert ab, kann so eine Korrektur der ursprünglichen Beurteilung des Wasserstandes vorgenommen werden. Die Implementierung des Spieles auf der Homepage ermöglicht eventuell, weitere Teilnehmer für das Projekt zu gewinnen, da es im Gegenteil zur App nicht erforderlich ist, vor Ort an einem Bach zu sein. Diese Tätigkeit kann vollständig vom Computer aus durchgeführt werden und erfordert nur fünf bis zehn Minuten Aufwand pro Spielrunde.

Bisher (Stand 10.10.2018) haben 93 Teilnehmer das Spiel ausprobiert und 507 Fotos mit Wasserständen wurden mindestens 15-mal klassifiziert. Von diesen 507 Fotos wurde bei 153 (= ~ 30 %) Fotos eine Abweichung von einer Klasse festgestellt und bei 30 (= ~ 6 %) Fotos eine Abweichung um mehr als eine Klasse. Erste Auswertungen deuten darauf hin, dass bei den Abweichungen um mehr als eine Klasse meistens die Gruppenschätzungen durch das Spiel einen zuverlässigeren Wert ergeben als die ursprüngliche Klassifizierung durch die Person im Feld.








4. Schlussfolgerungen

Es wurde ein neuer Ansatz für Mitmachprojekte ("Citizen Science") zur Beobachtung hydrologischer Größen vorgestellt, der

Tabelle 2 Klassen für die Beobachtung trockenfallender Bäche. <i>Classes for the observation of temporary streams.</i>	
Klasse	Erklärung
Trockenes Bachbett	Kein sichtbares Wasser und das Bachbett ist trocken.
Feuchtes Bachbett	Kein sichtbares Wasser, aber das Bachbett ist nass (für mindestens 2 cm unter der Oberfläche).
Isolierte Pfützen	Getrennte Pfützen ohne sichtbare Fließbewegung.
Stehendes Wasser	Wasser, jedoch ohne sichtbare Fließbewegung.
Tröpfelndes Wasser	Sehr geringe, jedoch eindeutig sichtbare Fließbewegung.
Fließend	Durchgehende und deutliche Fließbewegung.

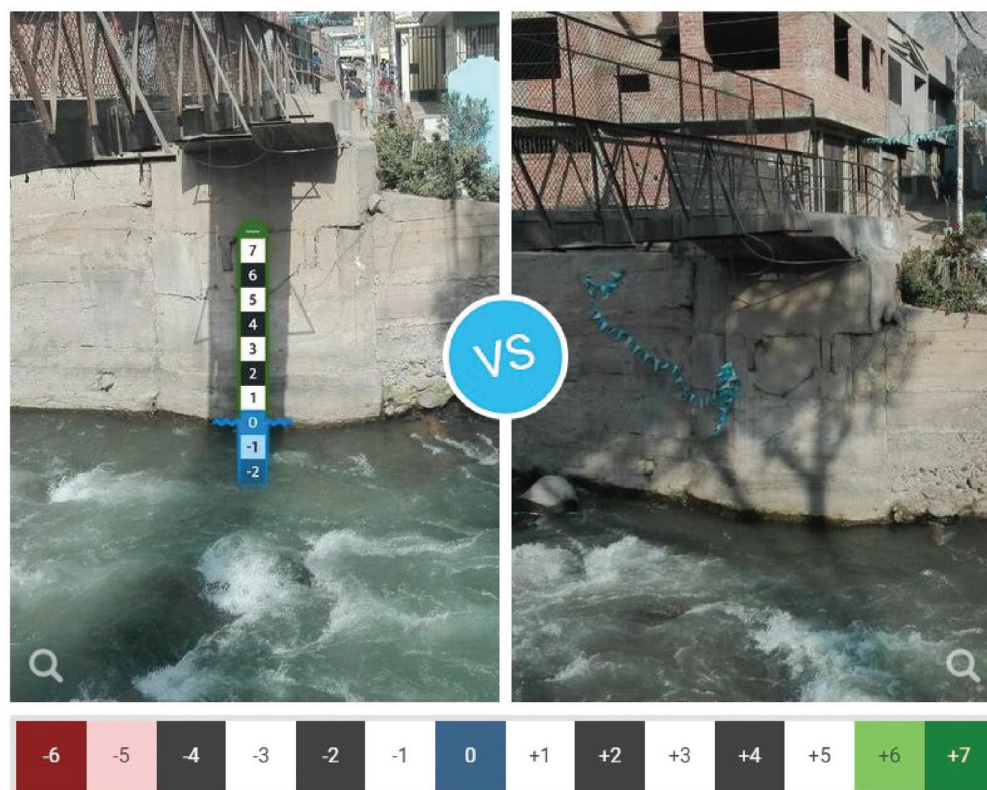
CrowdWater Championship

Runde: 21/28


1.  Königseeache
Punkte: 60
2.  Barbara Strobl
Punkte: 58
2.  stefanholzapfel
Punkte: 58
2.  mm4144
Punkte: 58
5.  stealthreporter
Punkte: 56
5.  LukasM
Punkte: 56
7.  Ka vonSeiten
Punkte: 6

Dein Platz: 7/7

SPOT 2 / 12



SPOT ID: 19689
VON BENUTZER: m643ares


DIESER SPOT KANN NICHT
KLASSIFIZIERT WERDEN

SPOT ID: 21417
VON BENUTZER: m643ares

Abbildung 7

Bildschirmfoto des CrowdWater-Spiels. Auf der linken Seite befindet sich das Referenzfoto und auf der rechten der zu bewertende Wasserstand. Die Spieler können auf der unter den Bildern angebrachten Skala die Klasse auswählen, in der sie vermuten, dass sich der Wasserstand im rechten Bild befindet. Foto: Philipp Hummer, SPOTTERON Citizen Science, www.spotteron.net.

Screenshot of the CrowdWater game. On the left side is the reference photo and on the right side the photo for which the water level should be evaluated. On the scale below the images the players can select the class they presume the water level is in according to the picture on the right. Photo: Philipp Hummer, SPOTTERON Citizen Science, www.spotteron.net.

auf der Verwendung einer Smartphone-App und virtueller Messstationen beruht. Der Vorteil dieses Ansatzes besteht darin, dass keine Installationen erforderlich sind, wodurch der Ansatz vollständig skalierbar ist. Jeder Teilnehmer kann schnell und einfach eine neue Messstelle einrichten oder eine zusätzliche Messung an einer vorhandenen Messstelle vornehmen. Die ersten Erfahrungen mit der Smartphone-App sind ermutigend und zeigen, dass dieser Ansatz geeignet ist, Daten an vielen Orten durch Bürgerwissenschaftler zu sammeln.

Bislang, etwa eineinhalb Jahre seit Einführung der Smartphone-App, haben insgesamt 252 Nutzer mit 2.740 Beobachtungen beigetragen und für 108 der 731 Messstellen wurden mehr als fünf Werte eingereicht (Stand 08.10.2018). Die gesammelten Daten zu Wasserständen, Bodenfeuchte und trockenfallenden Bächen haben aufgrund der Verwendung von Klassen eine begrenzte Auflösung und die zeitliche Abdeckung variiert stark. Studien mit synthetischen Daten haben jedoch gezeigt, dass solche Daten

hilfreich sein können, Parameterwerte für hydrologische Modelle zu bestimmen. Zur Simulation der betreffenden Größen werden Niederschlags- und Temperaturdaten benötigt, diese sind aber meistens eher verfügbar als diejenigen von Abfluss oder Bodenfeuchte. Die Beobachtungen von Wasserständen, Bodenfeuchte und trockenfallenden Bächen, die mithilfe der Smartphone-App eingesammelt werden, können somit verwendet werden, um Zeitserien von Abfluss oder anderen hydrologischen Größen zu simulieren.

Im Projekt CrowdWater liegt der Fokus derzeit auf Messstellen in der Schweiz, die App wird aber bereits weltweit genutzt. Die Verwendung der App durch andere Gruppen wird ausdrücklich begrüßt und selbstverständlich sind die im CrowdWater-Projekt erhobenen Daten frei verfügbar. Zusätzliche hydrologische Daten, die durch Mitmachprojekte erhoben werden können, sind überall interessant. Der relative Wert solcher Daten ist dort besonders hoch, wo es sonst nur wenige traditionelle Daten gibt.

Nichtsdestotrotz ist es für die Methodenentwicklung und -auswertung des Ansatzes der virtuellen Messstationen sowie für die Untersuchung des Wertes verschiedener Daten von Vorteil, zunächst in Regionen zu arbeiten, die relativ datenreich sind und wo herkömmliche Messdaten als Vergleich hinzugezogen werden können.

Die bisherigen Resultate des Projektes CrowdWater haben gezeigt, dass es möglich ist, mit einfachen Methoden sinnvolle hydrologische Daten einzusammeln. Mit der Smartphone-App wurde ein Werkzeug vorgestellt, dass die Erhebung von drei verschiedenen hydrologischen Größen ermöglicht. Es wurde auch gezeigt, dass solche Daten hilfreich sein können, wenn es darum geht, hydrologische Modelle anzuwenden. Diese Resultate sind ermutigend, trotz aller Herausforderungen, das Potenzial von Mitmachprojekten für die hydrologische Datenerhebung weiter zu untersuchen.

Concluding remarks

We have introduced a new approach to citizen science for the observation of hydrological variables. This approach is based on the use of a smartphone app and virtual gauging stations. This has the advantage that no installations are required, which makes the approach fully scalable. Each participant can quickly and easily set up a new measuring point or make an additional observation at an existing measuring point. Our first experiences with the smartphone app are encouraging and show that the approach is suitable for gathering data by citizen scientists in many places.

So far, about a year and a half after the launch of the smartphone app, 252 users have submitted 2740 observations, and for 108 of the 731 measuring points, more than five values were submitted (as of 8. October 2018). The collected data on water levels, soil moisture, and temporary streams have a limited resolution due to the use of classes, and the temporal coverage varies greatly. However, modelling studies with synthetic data have shown that such data can be helpful in estimating parameter values for hydrological models. Precipitation and temperature data are required as model input, but these are usually more readily available than runoff or soil moisture data. The observations of water levels, soil moisture and temporary streams collected using the smartphone app can, thus, be the basis allowing simulating time series of runoff or other hydrological variables.

The focus of the CrowdWater project is currently on measuring points in Switzerland, but the app is already being used worldwide. We welcome the use of the app by other groups and of course the data collected in the CrowdWater project are freely available. Additional hydrological data that can be collected through hands-on projects are interesting everywhere. The relative value of such data is particularly high where there are otherwise scant data obtained with more traditional methods. Nevertheless, for the method development and evaluation of the approach of the virtual stations as well as for studying the value of various data, it is advisable to work first in regions that are relatively data rich and where conventional measurement data can be used as a comparison.

The results of the project CrowdWater have shown that it is possible to collect informative hydrological data with simple methods. With the smartphone app, we presented a tool that allows

the collection of three different hydrological variables. We have also shown that such data can be helpful for the application of hydrological models. These results are, despite all challenges, encouraging for the exploration of the potential of participatory projects for hydrological data collection further.

Danksagung

Das Projekt CrowdWater wird durch den Schweizer Nationalfond (SNFS) und die Universität Zürich gefördert. Wir danken außerdem all den Freiwilligen, die sich am Sammeln hydrologischer Daten beteiligt haben (und beteiligen) sowie allen, die Wasserstandsdaten mit dem CrowdWater-Spiel überprüft haben (und überprüfen). Weitere Informationen zum CrowdWater-Projekt finden sich auf www.crowdwater.ch.

Autoren

Jan Seibert,
H.J. (Ilja) van Meerveld,
Simon Etter,
Barbara Strobl,
Rick Assendelft
Universität Zürich
Geographisches Institut
Winterthurerstr. 190
8057 Zürich
Schweiz
jan.seibert@geo.uzh.ch
ilja.vanmeerveld@geo.uzh.ch
simon.etter@geo.uzh.ch
barbara.strobl@geo.uzh.ch
rick.assendelft@geo.uzh.ch

Jan Seibert, zusätzlich:
Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Aquatic Sciences and Assessment
Lennart Hjelms väg 9
Uppsala
Schweden

Philipp Hummer
SPOTTERON GmbH
Faßziehergasse 5
1070 Vienna
Österreich
philipp@spotteron.net

Literaturverzeichnis

- AUBERT D., LOUMAGNE C., OUDIN L., & LE HÉGARAT-MASCLE S. (2003): Assimilation of soil moisture into hydrological models: The sequential method. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29 (6): 711–717 DOI: 10.5589/m03-042
- BROCCA L., MELONE F., MORAMARCO T., & SINGH V.P. (2009): Assimilation of Observed Soil Moisture Data in Storm Rainfall-Runoff Modeling. *Journal of Hydrologic Engineering* 14 (2): 153–165 DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)14:2(153)
- BUYTAERT W., ZULKAFLI Z., GRAINGER S., ACOSTA L., BASTIAENSEN J., BHUSAL J., CLARK J., DEWULF A., FOGGIN M., HANNAH D.M. et al. (2014): Citizen science in hydrology and water resources: opportunities for knowledge generation, ecosystem service management, and sustainable development. *Frontiers in Hydrosphere* 2 (Article 26): 1–21 DOI: 10.3389/feart.2014.00026

- ETTER S., STROBL B., SEIBERT J., & VAN MEERVELD I. (2018): Value of uncertain streamflow observations for hydrological modelling. *Hydrology and Earth System Sciences* 22: 5243–5257 DOI: 10.5194/hess-2018-355
- KIM S., & BAEK T.H. (2018): Examining the antecedents and consequences of mobile app engagement. *Telematics and Informatics* 35 (1): 148–158 DOI: 10.1016/j.tele.2017.10.008
- LOWRY C.S., & FIENEN M.N. (2013): CrowdHydrology: Crowdsourcing Hydrologic Data and Engaging Citizen Scientists. *Ground Water* 51 (1): 151–156
- VAN MEERVELD H.J., VIS M.J.P., & SEIBERT J. (2017): Information content of stream level class data for hydrological model calibration. *Hydrology and Earth System Sciences* 21 (9): 4895–4905 DOI: 10.5194/hess-21-4895-2017
- NORMAN D. (2002): Emotion & design: attractive things work better. *interactions* 9 (4): 36–42 DOI: 10.1145/543434.543435
- RINDERER M., KOLLEGGER A., FISCHER B.M.C., STÄHLI M., & SEIBERT J. (2012): Sensing with boots and trousers - qualitative field observations of shallow soil moisture patterns. *Hydrological Processes* 26 (26): 4112–4120 DOI: 10.1002/hyp.9531
- SEIBERT J., & VIS M.J.P. (2016): How informative are stream level observations in different geographic regions? *Hydrological Processes* 30 (14): 2498–2508 DOI: 10.1002/hyp.10887
- SILVERTOWN J. (2009): A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology and Evolution* 24 (9): 467–471
- STOLL S., & WEILER M. (2010): Explicit simulations of stream networks to guide hydrological modelling in ungauged basins. *Hydrology and Earth System Sciences* 14 (8): 1435–1448 DOI: 10.5194/hess-14-1435-2010
- STROBL B., ETTER S., VAN MEERVELD I., & SEIBERT J.: Accuracy of Crowdsourced Streamflow and Stream Level Class Estimates. *Hydrological Sciences Journal (Special issue on hydrological data: opportunities and barriers)*: in press
- WEESER B., KROESE J.S., JACOBS S.R., NJUE N., KEMBOI Z., RAN A., RU M.C., & BREUER L. (2018): Citizen science pioneers in Kenya – A crowdsourced approach for hydrological monitoring. *Science of the Total Environment* 631–632: 1590–1599 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.130
- ZHAO Z., & BALAGUÉ C. (2015): Designing branded mobile apps: Fundamentals and recommendations. *Business Horizons* 58 (3): 305–315 DOI: 10.1016/j.bushor.2015.01.004