

ES ÜBERSCHWEMMT UND KEINER SIEHT ZU?!

OBERFLÄCHENABFLUSSMESSUNGEN IM URBANEN RAUM MITTELS VIDEOMATERIAL VON ÜBERWACHUNGSKAMERAS

Messungen von Oberflächenabflüssen werden selten im urbanen Raum durchgeführt, weil traditionelle Messgeräte zu teuer sind oder direkt über oder innerhalb des Fließgewässers installiert werden müssen. Deswegen sind Daten über Überschwemmungen im urbanen Raum nur selten vorhanden, was die Kalibrierung und Validierung von Überflutungsmodellen erschwert. In dieser Studie wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem marktübliche Überwachungskameras zur Durchflussmessung eingesetzt werden.

Salvador Peña-Haro*; Beat Lüthi; Maxence Carrel, Photrack AG
Andreas Scheidegger; Matthew Moy de Vitry; João Paulo Leitão, Eawag

RÉSUMÉ

DÉTERMINATION DU RUISSELLEMENT DE SURFACE DANS L'ESPACE URBAIN AU MOYEN D'IMAGES VIDÉO DE CAMÉRAS DE SURVEILLANCE

L'utilisation de modèles physiques peut jouer un rôle clé pour la compréhension hydraulique des réseaux d'assainissement urbain, en particulier lorsqu'il en va de précipitations extrêmes dans les zones urbaines. Malheureusement, il n'y a souvent que très peu de données disponibles pour la calibration et la validation de ce type de modèles, car la mesure de données de type niveaux d'eau ou débits est éminemment difficile en milieu urbain lors d'événements extrêmes. Cette étude examine le potentiel d'une technologie innovatrice se basant sur l'utilisation de caméras de surveillance (webcams) en combinaison avec une méthode de vision par ordinateur nommée Surface Structure Image Velocimetry (SSIV) qui permet d'effectuer des mesures de niveaux d'eau, de vitesse d'écoulement et de débits. Sept différentes expériences ont été conduites dans une installation grandeur nature conçue spécifiquement à l'entraînement à la réaction à des inondations, afin d'étudier la performance de la méthode SSIV dans des conditions variables et exigeantes. Dans les meilleures conditions, la différence relative observée entre les mesures de vitesse obtenues par SSIV et avec un radar de type conventionnel fut de 1,7%. Bien que la précision de la méthode SSIV s'avéra sensible aux conditions d'illumination, des résultats concluants furent obtenus

EINLEITUNG

Immer häufiger kommt es zu Überschwemmungen – dieser Sachverhalt zählt zu den möglichen Auswirkungen des Klimawandels. In einer immer urbanisierteren Welt können Überschwemmungen zu gravierenden Konsequenzen und teuren Folgeschäden führen [1]. Um Letztere in Grenzen zu halten, spielen Entwässerungssysteme eine extrem wichtige Rolle. Dafür sind eine optimale Dimensionierung bzw. Kalibrierung der Systeme und der darauf basierenden numerischen Modelle essenziell und die Überlandabflussdaten entsprechend wichtig. Leider sind nur sehr wenige Daten über den überirdischen Teil des während Regenereignissen abfließenden Wassers vorhanden. Zum einen, weil konventionelle Messgeräte, wie sie im Kanalnetz angewendet werden, nicht in Frage kommen. Diese sind meist teuer und schwierig zu warten [2] oder kommen wegen des Messprinzips nicht in Frage (etwa invasive Geräte, die sich innerhalb der Strömung befinden müssen). Zum anderen sind Messkampagnen während Extremereignissen kaum planbar und aus sicherheitstechnischen Gründen nicht zu empfehlen [3].

Vorhandene traditionelle Daten über Überschwemmungen beschränken sich auf Markierungen der Wasserpegel beim Höhe-

* Kontakt: pena@photrack.ch

punkt des Ereignisses, z. B. an Gebäudewänden oder weiteren Strukturen wie Brückenpfeilern. Diese geben aber keine Auskunft über den Verlauf der Ereignisse oder über die Fließgeschwindigkeiten und Durchflüsse. Deswegen sind diese Daten nur begrenzt zur Kalibrierung von Modellen anwendbar. Wasserpegel-, Fließgeschwindigkeits- und Durchflussmessungen mit non-invasiven Messgeräten könnten zu einer Erhöhung der Genauigkeit solcher Modelle führen [4].

Im Verlauf der letzten dreissig Jahre wurde mit der Methode *Particle Image Velocimetry* (PIV) ein berührungsloses optisches Bildverarbeitungsverfahren erfunden und weiterentwickelt, mit dem Fließgeschwindigkeitsmessungen sowohl unter Laborbedingungen [5] als auch an der Oberfläche von Gewässern (*Large Scale PIV*, LSPIV) möglich sind. Dabei werden der Strömung Tracerpartikel zugegeben, die auf Videoaufnahme gut zu erkennen sind. Die Bewegung dieser Partikel wird quantitativ mittels Kreuzkorrelation-basierten Algorithmen ermittelt, sodass die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung deutlich unter 5 bzw. 20% unter Labor- und Feldbedingungen liegt [3, 6]. Inzwischen wird diese Technologie eingesetzt, um Durchflussmessungen in Gewässern durchzuführen. Dabei werden die Bilder, die analysiert werden, entweder mit Überwachungskameras (Webcams [7]), Smartphones [8, 9] oder Drohnen aufgenommen [10, 11].

Die sinkenden Preise von Überwachungskameras führen zu einer Zunahme dieser Installationen. Da die Kameras grosse Mengen an Videodaten aufnehmen – auch bei Hochwasserereignissen –, ist es naheliegend, sie auch für Durchflussmessungen zu nutzen. Ziel dieser Studie ist, zu untersuchen, inwiefern Überwachungskameras zu Wasserpegel-, Oberflächengeschwindigkeits- und Abflussmessungen im urbanen Raum zum Einsatz kommen könnten. Der Fokus wird dabei auf folgende Fragen gelegt:

- Ist die Messung im urbanen Raum auch ohne Zugabe von künstlichen Tracerpartikeln möglich?
- Wie wird die Genauigkeit der Messergebnisse von der Beleuchtung beeinflusst (natürliches, künstliches oder infrarotes Licht)?
- Mit welchen Kameras lassen sich Abflussmessungen ermitteln?

Auf S. 49 wird anhand von Videosequenzen aus der *SRF Tagesschau* aufgezeigt, wie diese Methode an konkreten Praxisbei-

spielen (Oberflächenabfluss nach extremem Unwetter vom Juni 2018 in Lausanne) angewendet werden kann.

MATERIAL UND METHODEN

SSIV-TECHNOLOGIE UND DURCHFLUSSMESSUNG

In dieser Studie wird eine besondere Art der LSPIV-Methode angewendet: die sogenannte *Surface Structure Image Velocimetry* (SSIV). Im Gegensatz zu den üblichen LSPIV-Methoden, die zur Strömungsmessung auf das künstliche Eingeben von Tracerpartikeln angewiesen sind, kann im Fall der SSIV-Methode darauf verzichtet werden. Dank einem speziellen patentierten Verfahren sind natürliche Strukturen an der Wasseroberfläche, wie turbulente Wirbel, Wellen oder Schaum und Blätter, ausreichend für genaue Geschwindigkeitsmessungen [7, 12]. Die SSIV-Methode benutzt einen numerischen Filter, der sowohl den Einfluss von Reflexionen, Blendung oder Schattenwürfen mindert, als auch die Detektion von natürlichen Strukturen fördert.

Kurze Videosequenzen von fünf Sekunden Länge werden mit einer Kamera (Webcam, Smartphone, Drohne) aufgenommen. Im Kamerasichtfeld müssen sich sechs Markierungen befinden, deren Positionen bekannt und die so gut wie möglich im Sichtfeld verteilt sind. Anhand der Positionen dieser Markierungen lassen sich interne (fokale Länge, Bildverzerrungskorrektur) und externe (Position, Orientierung) Parameter der Kamera kalibrieren. Wenn zusätzlich die Geometrie des Sichtfelds vorhanden ist, lässt sich jedes einzelne Pixel im Bild durch eine homographische Projektion genau einem Punkt im dreidimensionalen Raum zuordnen. Auf diese Art ist es zum Beispiel möglich, mit automatischer Bildverarbeitung den Wasserpegel eines Flusses, an der Wand entlang einer Strasse oder an der Kante eines Trottoirs zu messen (s. Fig. 1A, rote Linie).

Um die Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche zu bestimmen, kommt eine Kreuzkorrelationsmethode zum Einsatz. Jedes erfasste Bild wird in diverse Fenster unterteilt. Die Kreuzkorrelation betrachtet jedes einzelne Unterfenster und sucht im nächsten Bild der Sequenz (das zu einem späteren Zeitpunkt aufgenommen wurde) nach Mustern, die auch im ursprünglichen Unterfenster vorhanden waren. So kann für jedes Unterfenster ein sogenannter Verschiebungsvektor berechnet werden. Weil jedes Pixel auch einem Punkt im dreidimensionalen Raum entspricht,

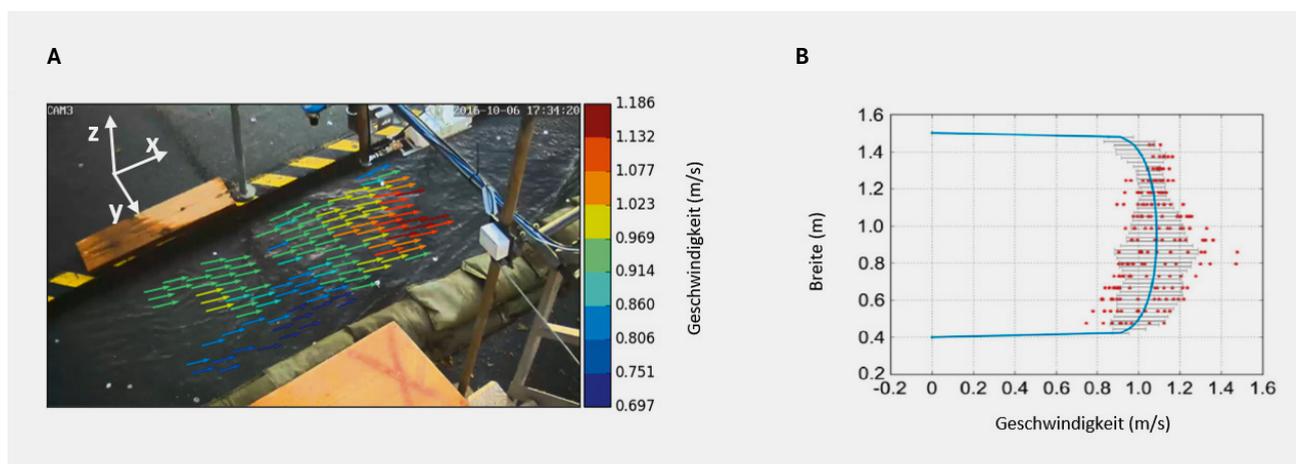


Fig. 1 (A) Optisch über Bildauswertung gemessener Wasserpegel (rote Linie) und Geschwindigkeitsfeld bestimmt mit SSIV (nach dem Filtern). (B) Komponente der Geschwindigkeit in Strömungsrichtung aller in (A) farbig dargestellten Messungen in den beschriebenen Unterfenstern (rote Punkte) und erhaltenes Geschwindigkeitsprofil über die Fließbreite.

kann das erhaltene Verschiebungsfeld mit Einheit pixel/sec in ein Geschwindigkeitsfeld an der Wasseroberfläche mit Einheit m/sec umgerechnet werden (s. Fig. 1A, farbige Vektoren). Dieses Geschwindigkeitsfeld kann wiederum in der Strömungsrichtung gemittelt werden und somit ein Geschwindigkeitsprofil über die Fliessbreite liefern (Fig. 1B). Das Geschwindigkeitsprofil in vertikaler Richtung wird mithilfe eines physikalischen oder empirischen Modells ermittelt (z.B. Modelle basierend auf der *Prandtl'schen* Mischungslängenhypothese oder auf das sogenannte logarithmische Geschwindigkeitsgesetz, engl.: *logarithmical law-of-the-wall*, bzw. Alpha-Wert-Ansätze, bei denen ein abgeschätztes Verhältnis zwischen der Oberflächengeschwindigkeit und der mittleren Geschwindigkeit angenommen wird), sodass der Durchfluss anschliessend durch Integration der vertikalen Profile berechnet werden kann.

VERSUCHSAUFBAU

Die hier vorgestellten Experimente wurden im Rahmen des *floodX*-Projektes durchgeführt [12, 13]. In einer speziell zu diesem Zweck konzipierten Anlage der *Armasuisse* (Wangen a.d. Aare, Bundesamt für Verteidigung) wurden grossskalige Sturzflutexperimente durchgeführt. Der Kanal, in dem diese Experimente gemessen wurden, bildet eine asphaltierte Strasse, die auf der einen Seite mit einem Trottoir und auf der anderen Seite mit Sandsäcken begrenzt ist (s. Schema der Rinne in Fig. 2). Stromaufwärts befindet sich eine Fläche von 7,8m², die Wasser von einem überlaufenden Schacht empfängt. Das Wasser wird von dieser Fläche in die Rinne geleitet. Das für die Experimente eingesetzte Wasser war komplett transparent, ohne suspendierte oder schwimmende Partikel, sodass die Sohle des Kanals deutlich sichtbar war. Es ist zu erwarten, dass unter echten Überschwemmungsbedingungen sehr viele Partikel suspendiert sind und mittransportiert werden, was sich auf die Genauigkeit der SSIV-Messungen klar positiv auswirkt. Die hier präsentierte Genauigkeit der Ergebnisse darf also eher konservativ eingestuft werden. Zusätzlich wurde ein *Nivus*-Radarmessgerät installiert (Fig. 2). Es lieferte Daten für Wasserpegel und mittlere Fliessgeschwindigkeit, die als Referenz für Vergleiche mit den optisch erfassten Daten verwendet wurde. Um quantitative

Vergleiche zu ermöglichen, wurde der mittlere Fehler, *ME*, (Gleichung 1, definiert als Abweichung der SSIV-Messwerte zu den Radarwerten) und die Standardabweichung der Fehler berechnet.

$$ME = \frac{\sum_{t=0}^n (V_{SSIV,t} - V_{Ref,t})}{n} \quad (1)$$

Der Einfluss der Beleuchtung (Reflexionen, Blendung und Schattenbildung) stellt für LSPIV-Methoden das Hauptproblem dar. Um der Einfluss der Beleuchtung auf die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung zu untersuchen, wurden drei verschiedene Lichtverhältnisse in dieser Studie systematisch variiert. Drei verschiedene Lichtverhältnisse wurden tagsüber getestet: indirektes Sonnenlicht bei klarem Himmel mit der Rinne im Schatten; partielles direktes Sonnenlicht durch Bäume auf der Rinne; diffuses Licht bei bewölktem Himmel. In der Nacht wurden zwei Beleuchtungsquellen verglichen:

ein Flutlicht und die eingebaute Infrarotstrahlung der Kamera.

Der Einfluss der Konfiguration der in dieser Studie benutzten Kamera (Spezifikationen, Tab. 1) auf die Genauigkeit der Messung wurde gezielt untersucht. Dabei sind die beiden wichtigsten Parameter die Aufnahmegeschwindigkeit der Bilder pro Sekunde, *fps* (*frames per second*), und die Pixelauflösung. Die Aufnahmegeschwindigkeit bestimmt das Zeitintervall, *dt*, von Bild zu Bild, zwischen denen die Verschiebung der Oberflächenstrukturen in den Unterfenstern bestimmt wird. Zu kleine Aufnahmegeschwindigkeiten können zu schlechten Korrelationen zwischen den Unterfenstern der Zeit *t* und *t + dt* führen, weil die gesuchten Muster sich zu weit von ihrem ursprünglichen Standort entfernt haben, um noch erkannt zu werden. Deswegen ist zu erwarten, dass unter einer gewissen Aufnahmegeschwindigkeit die Ergebnisse der Korrelation keinen Sinn mehr ergeben. In dieser Studie wurden Videosequenzen mit *fps* = 27 aufgenommen

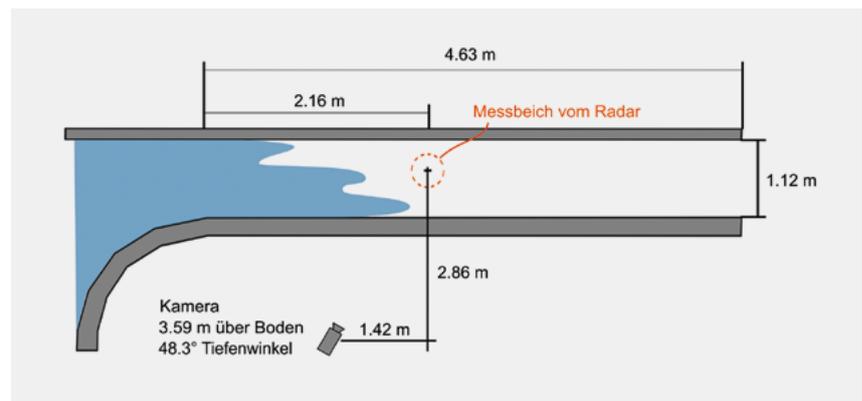


Fig. 2 Schema des Kanals beim *floodX*-Versuch, der im Rahmen dieser Studie verwendet wurde (Darstellung nicht massstabgetreu). Die Standorte von zwei Kameras und von einem Radarmessgerät sind auch angegeben. Nur die erste Kamera ist in dieser Studie zum Einsatz gekommen (Fig. 3).

Kameramarke und Modell	Instar IN-5907HD
Aufnahmegeschwindigkeit (max)	27 fps
Bildauflösung	1280 × 720
Videokompression	H264
Fokallänge	8 mm
Sensorgrosse	½ inch
Blende	ca. 45°
Infrarot-Wellenlänge	850 nm
Distanz zur Strömung	3,2m
Höhe über dem Boden	3,6m
Neigungswinkel	48,3°
Intervall der Datenerfassung	5 s

Tab. 1 Kameraspezifikationen

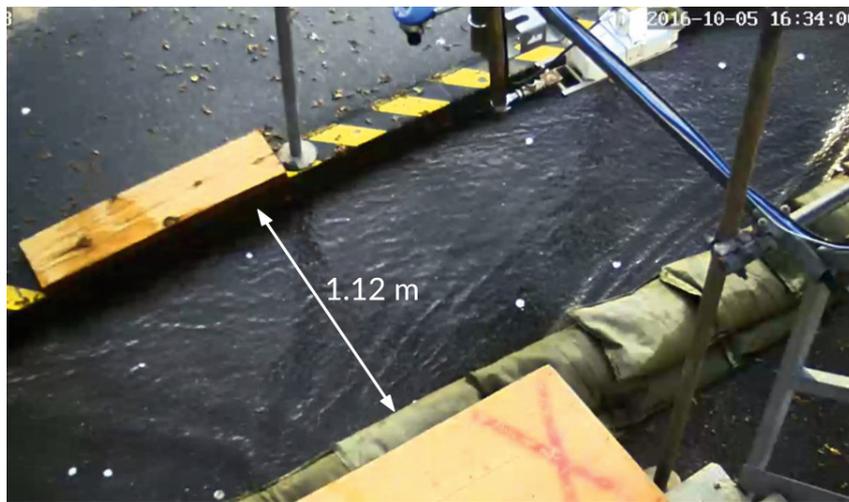


Fig. 3 Sichtfeld der eingesetzten Kamera

Experiment	Dauer (Min.)	Volumen (m³)	Maximale Geschwindigkeit (m/s)	Beleuchtungsbedingungen	Aufnahmegeschwindigkeit (fps)
E1	23	27,6	0,659	Tag, indirektes Licht (klarer Himmel, Rinne im Schatten)	26
E2	5	2,6	0,476	Tag, partielles direktes Sonnenlicht (durch Bäume auf die Rinne)	26
E3	20	12,8	0,49	Tag, diffuses Licht	26
E4	5	4,2	0,498	Nacht, Beleuchtung mit einem Flutlicht	26
E5	16	24,2	0,575	Nacht, Beleuchtung mit einem Flutlicht	26
E6	10	3,5	0,527	Nacht, Beleuchtung mit Infrarot der Kamera	13
E7	22	64,1	0,813	Nacht, Beleuchtung mit Infrarot der Kamera	13

Tab. 2 Spezifikationen der Überschwemmungsexperimente

men und nachträglich künstlich bis auf fps = 10 reduziert.

Die Video-Pixelauflösung definiert, wie detailtreu die aufgenommenen Bildsequenzen sind. Dabei ist die Wirkung einer Abnahme der Videoauflösung gleich wie eine weitere Entfernung der Kamera zum Untersuchungsbereich (Zone, in der die Messung durchgeführt wird). Wenn die Pixelauflösung zu klein oder die Entfernung zu gross ist, werden die Strukturen an der Oberfläche des Gewässers nicht deutlich genug erfasst, was sich negativ auf die SSIV-Methode auswirkt. In dieser Studie wurden sieben verschiedene Auflösungen verglichen, von 1280 × 720 pixels bis zu 120 × 68 pixels.

Die Aufnahmegeschwindigkeit und die Bildauflösung sind zwei Parameter, die für die Echtzeitübertragung und Speicherung von Videodaten extrem wichtig sind. Um Speicherplatz oder Bandbreite zu sparen, werden diese Parameter oft reduziert. Die folgende Untersuchung soll erläutern, welchen Einfluss diese

Parameter auf die Genauigkeit der SSIV-Messung haben. Die Tabelle 2 stellt eine Zusammenfassung der Experimente dar, die mit den verschiedenen Parametern durchgeführt wurden.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

EINFLUSS DER BELEUCHTUNG

Der Einfluss verschiedener Beleuchtungsarten wurde auf die Genauigkeit der Geschwindigkeitsmessung mittels SSIV untersucht. Die Figur 4 stellt Zeitreihen der mittleren Geschwindigkeit, gemessen mit dem Radar (grau) oder mit der SSIV-Methode (rot) bei variabler Beleuchtung unter Tageslicht. Die Radar- und SSIV-Messungen stimmen allgemein gut überein. Für das dritte Experiment, mit diffusem Tageslicht, gibt es zum Teil eine systematische Abweichung der SSIV-Geschwindigkeit von den Referenzwerten, die auf die zu wenig sichtbaren Strukturen an der Oberfläche zurückzuführen ist. Dieses Ergebnis zeigt, dass die Beleuchtung einen substantiellen Einfluss auf die Detektierbarkeit der Oberflächenstrukturen und der daraus resultierenden Fließgeschwindigkeiten hat. Die SSIV-Methode ermittelt keine Fließgeschwindigkeiten, die kleiner sind als 0,1 m/s, was auf eine minimale detektierbare Fließgeschwindigkeit hinweist. Dies lässt sich durch die Abwesenheit von Oberflächenstrukturen bei tiefen Geschwindigkeiten und Wasserpegel erklären, da keine Tracer eingesetzt wurden.

In Figur 4 scheint es sogar, dass die SSIV-Methode nur ab 0,4 m/s misst. Das lässt sich jedoch durch den stossartigen Zulauf des Wassers und das Zeitintervall von fünf Sekunden zwischen jeder SSIV-Messung erklären.

Für die Experimente E1 bis E3 weisen die mittleren Fehler – wie in Gleichung 1 definiert – Werte von 0,006 m/s (1,7%),

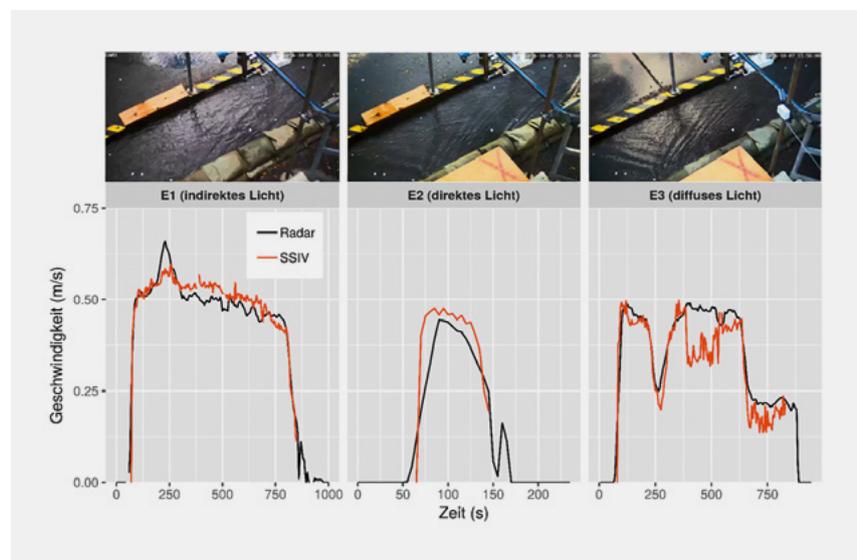


Fig. 4 Zeitreihen der Oberflächengeschwindigkeitsmessungen (bei Tageslicht)

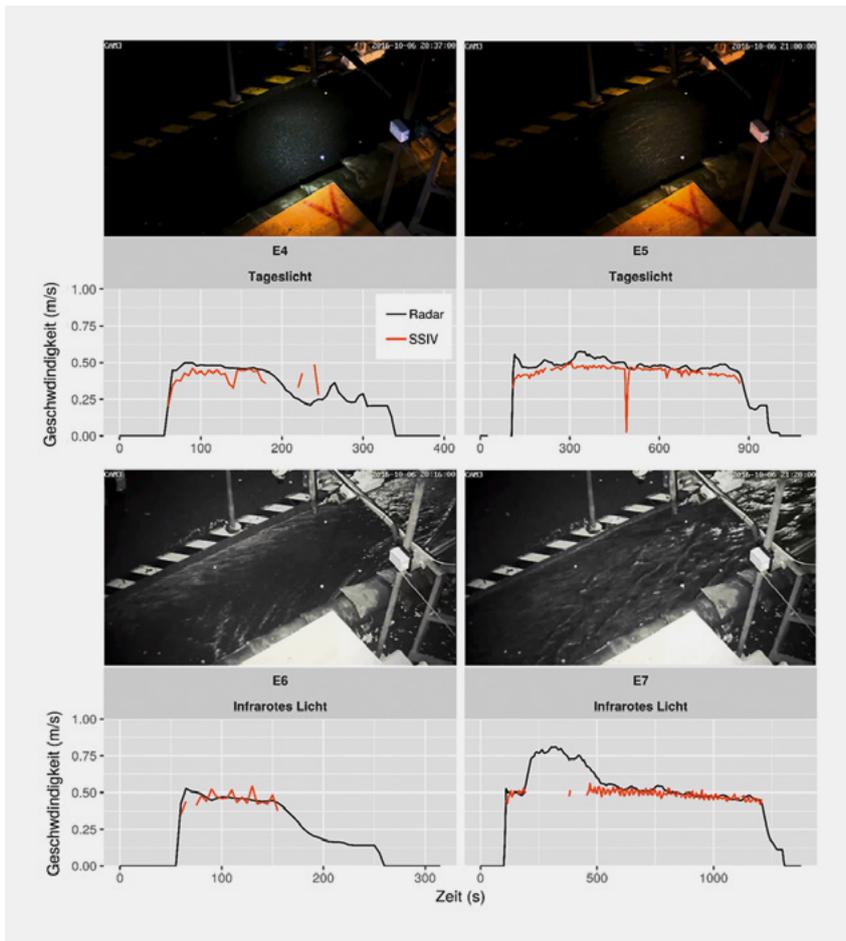


Fig. 5 Zeitreihen der Oberflächengeschwindigkeitsmessungen nachts, entweder mit künstlichem Licht (oben) oder mit Infrarotbeleuchtung (unten)

0,06 m/s (20%) und -0,04 m/s (-10,7%) auf. Bei Tageslicht und variablen Lichtverhältnissen beträgt der mittlere Fehler zwischen SSIV- und Referenzmes-

sungen weniger als 20%, was als gut betrachtet werden kann. Wie es in der Fig. 5 dargestellt ist, konnte die SSIV-Methode unter nächtlichen Lichtver-

hältnissen nicht kontinuierlich messen. Dabei scheinen Geschwindigkeiten, die viel höher oder kleiner als 0,5 m/s sind, der SSIV-Methode Schwierigkeiten zu bereiten. Messwertlücken können tagsüber auf die begrenzte Sichtbarkeit der Oberflächenstrukturen bei tiefen Geschwindigkeiten zurückgeführt werden, was hier noch durch die ungünstigen Lichtverhältnisse verschärft wurde. Die Messlücken bei höheren Geschwindigkeiten sind wahrscheinlich auf die langsame Aufnahmegeschwindigkeit (fps = 13) der Infrarotkamera zurückzuführen, sodass die Geschwindigkeitsspitze bei 0,75 m/s gar nicht erfasst werden kann. Statistisch betrachtet beträgt der mittlere Messfehler der Experimente E4 bis E7 -0,03 m/s (-4,2%), -0,05 m/s (-9,5%), -0,01 m/s (-2,9%) und -0,03 m/s (-4,7%). Wenn die SSIV-Methode Messdaten generieren kann, ist die Übereinstimmung mit den Referenzwerten gut, sodass das Potenzial dieser Methode für Nachtmessungen vorhanden ist.

EINFLUSS DER KAMERAKONFIGURATION

Um den oben beobachteten Einfluss der Aufnahmegeschwindigkeit auf die Messgenauigkeit genauer zu untersuchen, wurden die Videosequenz des Experimentes E1 degradiert, indem die Aufnahmegeschwindigkeit künstlich herabgesetzt wurde. Wie zu erwarten und in Fig. 6 dargestellt, wirkt sich das negativ auf die Genauigkeit der SSIV-Methode aus. Die Datensätze fps = 15 und fps = 10

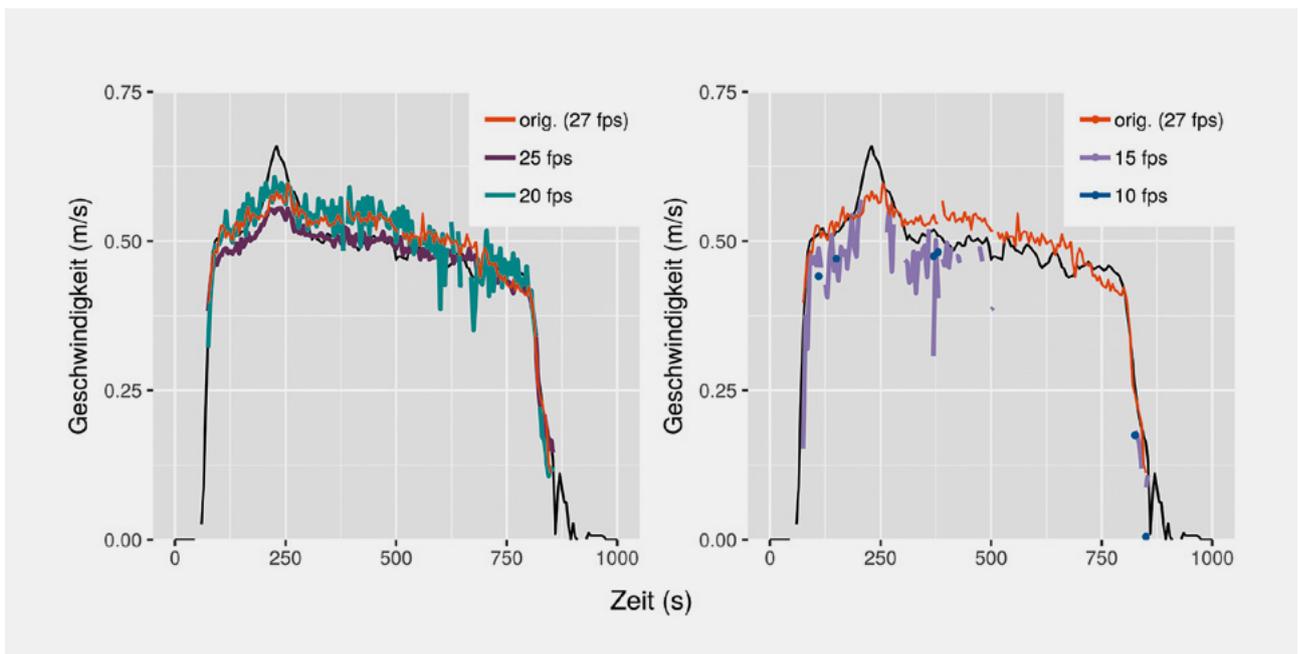


Fig. 6 Zeitreihen der Oberflächengeschwindigkeitsmessungen für Videos verschiedener Aufnahmegeschwindigkeiten

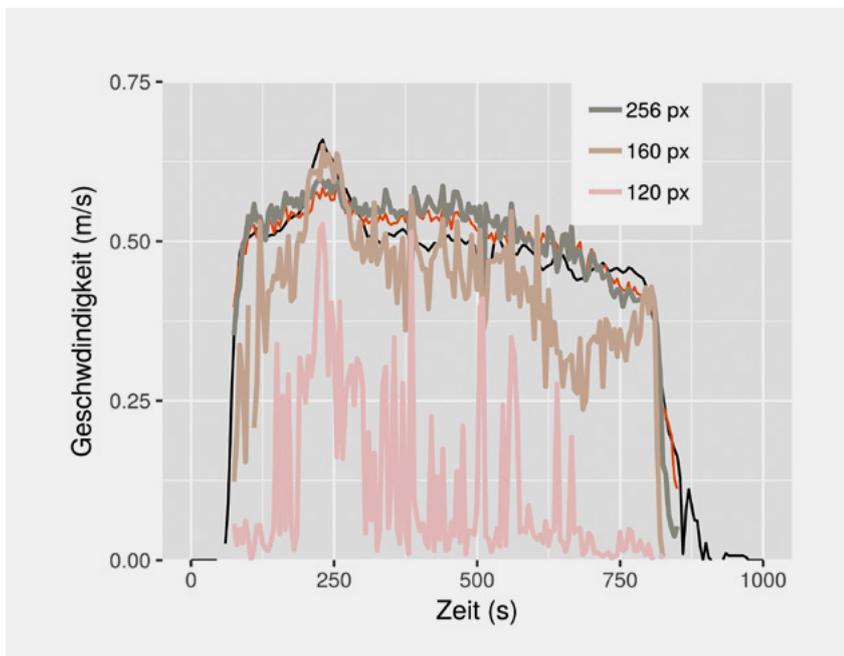


Fig. 7 Zeitreihen der Oberflächengeschwindigkeitsmessungen für Videos verschiedener Auflösungen, dabei wurde die zum Vergleich angegebene originale Zeitreihe (rote Linie) mit einer Auflösung von 1280 px aufgenommen.

wären in der Praxis nicht brauchbar, weil die SSIV-Methode für einen Teil der Zeitreihe keine Daten lieferte (es resultieren nur 6 Punkte für die Zeitreihe $\text{fps} = 10$). Zusätzlich scheint das Rauschen der Zeitreihen mit abnehmender Aufnahmegeschwindigkeit zuzunehmen (besonders klar sichtbar zwischen den Zeitreihen $\text{fps} = 25$ und $\text{fps} = 20$). Zusammenfassend scheint eine Aufnahmegeschwindigkeit von $\text{fps} \geq 20$ erforderlich, um sinnvolle Geschwindigkeitsinformationen zu erhalten.

Wie oben erwähnt, kann eine künstliche Verschlechterung der Auflösung als eine zunehmende Distanz zwischen der Kamera und dem Untersuchungsbereich verstanden werden. Um den kombinierten Einfluss von Distanz und Auflösung der Videos auf die Genauigkeit der Messungen zu untersuchen, wurde die Auflösung der Videos schrittweise von 1280×720 auf 120×68 pixels (Fig. 7) reduziert. Figur 7 zeigt, dass die Auflösung ohne Einbusse der Genauigkeit um den Faktor 5 (256×144) reduziert werden kann, was wiederum einer Zunahme der Distanz von 3,2 m auf 16 m zwischen der Kamera und dem Untersuchungsbereich entspricht. Die Auflösung der Videos kann um einen weiteren Faktor, nämlich 1,6, mit einem begrenzten Einfluss auf die Genauigkeit reduziert werden. Bei 120×68 pixels, (ca. 10-fache Verschlechterung der Auflösung oder Zunahme der

Distanz von 3,2 m auf 34 m) nimmt die Genauigkeit der Messung deutlich ab. Diese Ergebnisse zeigen, dass die SSIV-Methode bei einem Objektiv mit $f=8$ mm sinnvolle Ergebnisse bis zu Abständen von 20 m zwischen der Kamera und dem Untersuchungsbereich liefert. Für größere Distanzen müssen entsprechende Zoom-Objektive verwendet werden.

FAZIT UND AUSBLICK

Die Ergebnisse dieser Studie lassen darauf schliessen, dass auch günstige Consumer-Überwachungskameras Videos aufnehmen können, die verlässliche Oberflächenabflussmessungen mittels innovativer Bildauswertung ohne Zugabe von Tracerpartikeln ermöglichen. Mit diesem Ansatz ist es möglich, die Anwendung von traditionellen Durchflussmessgeräten zu umgehen und möglicherweise bereits bestehende Überwachungskameras zu nutzen, um auf kostengünstige

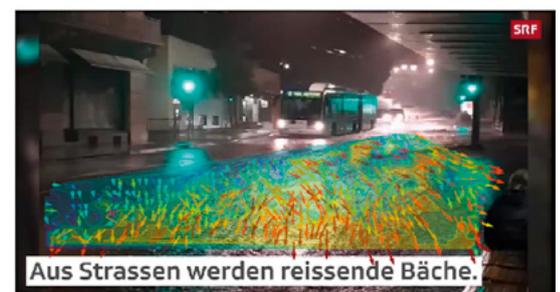
PRAXISBEISPIEL

REKORDUNWETTER VOM 11. JUNI 2018 IN LAUSANNE

Die in der Sendung *SRF Tagesschau* ausgestrahlten Videosequenzen des Rekordunwetters vom Juni 2018 in Lausanne wurden als praxisnaher Fall ausgewertet. Die Sequenzen wurden von zufällig anwesenden Passanten mittels Smartphone aufgenommen und dann in der Tagesschau präsentiert (12. Juni 2018, SRF).

Ausgewertet mit SSIV wurden kurze, 2 bis 3 Sekunden lange Sequenzen des Tagesschaubeitrages. Die Ergebnisse sind in Figur 1 dargestellt. Darin sind sogenannte Verschiebungsfelder mit Einheit [pix/sec] und nicht Geschwindigkeitsfelder mit [m/s] zu sehen, weil keine Vermessung der Messstandorte durchgeführt wurde. Falls nötig, lässt sich jedoch

eine solche Kalibration des Messstandortes problemlos nachträglich durchführen. Somit könnten von einer zufällig aufgenommenen Filmsequenz quantitative Aussagen über den Oberflächenabfluss gemacht werden.



Aus Strassen werden reissende Bäche.

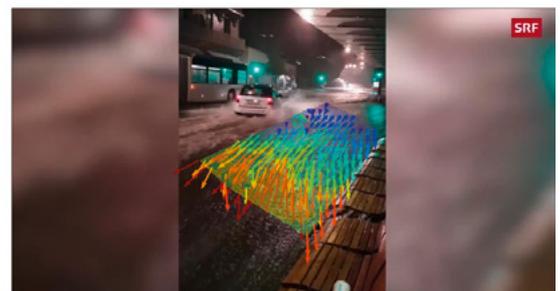


Fig. 8 Beispiele von SSIV-Anwendungen an Videosequenzen, die aus einem SRF-Tagesschaubericht über das Unwetter vom 11. Juni 2018 in Lausanne ausgeschnitten wurden.

und skalierbare Oberflächenabflussdaten zu kommen. Solche Daten würden einen wertvollen Beitrag zur Kalibrierung und Validierung von Siedlungsentwässerungsmodellen leisten.

Wie in dieser Studie gezeigt wurde, müssen die aufgenommenen Videos einige Anforderungen erfüllen. So haben die Lichtverhältnisse einen grossen Einfluss auf die Genauigkeit der SSIV-Methode. Die Methode liefert vielversprechende Ergebnisse bei Tageslicht und unter günstigen Bedingungen auch bei nächtlichen Lichtverhältnissen. Bezüglich der Anforderungen an die Kamera und die Videos gilt generell: Je näher die Kamera, je höher die Aufnahmegeschwindigkeit und je grösser die Auflösung der Videos, umso besser ist die Genauigkeit der Durchflussmessung. Dabei wurde in dieser Studie festgestellt, dass die SSIV-Methode (f=8 mm, ohne Zoom) bis zu Abständen von ca. 20 m zwischen der Kamera und dem Untersuchungsbereich zufriedenstellende Ergebnisse liefert. Eine Aufnahmegeschwindigkeit von mindestens 20 Bildern pro Sekunde ist erforderlich.

Die Ergebnisse dieser Studie laden dazu ein, die vorgestellte Methode mit SSIV auf bereits vorhandenen Daten von Überschwemmungsereignissen im urbanen Raum anzuwenden.

BIBLIOGRAPHIE

[1] UNPD (2014): *United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, CD-ROM Edition. United Nations New York*

- [2] Yang, Y.-Y.; Kang, S.-C. (2017): *Crowd-based velocimetry for surface flows. Advanced Engineering Informatics, 2017. 32: p. 275–286*
- [3] Muste, M.; Fujita, I.; Hauet, A. (2008): *Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments. Water Resources Research. 44(4)*
- [4] Hunter, N. et al. (2008): *Benchmarking 2D hydraulic models for urban flood simulations. in Proceedings of the institution of civil engineers: water management. Thomas Telford (ICE publishing)*
- [5] Adrian, R.J. (1991): *Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics. Annual review of fluid mechanics. 23(1): p. 261–304*
- [6] Fujita, I.; Muste, M.; Kruger, A. (1998): *Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. Journal of Hydraulic Research. 36(3): p. 397–414*
- [7] Hansen, I. et al. (2017): *An Innovative Image Processing Method for Flow Measurement in Open Channels and Rivers. 5th flotek.g: Innovative Solutions in Flow Measurement and Control – Oil, Water and Gas, 28–30 August, Palakkad, Kerala, India*
- [8] Lüthi, B., Philippe, T.; Peña-Haro, S. (2014): *Mobile device app for small open-channel flow measurement. In Proceedings of the 7th International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs' 14), San Diego, CA, USA*
- [9] Carrel Maxence, D.M.; Peña-Haro S.; Luethi, B. (2019): *Evaluation of the Discharge App: a smart-phone application for discharge measurements. HydroSenSorft, International Symposium and Exhibition on Hydro-Environment Sensors and Software. 26 Feb–1 Mar 2019, Madrid, Spain*
- [10] Detert, M.; Weitbrecht, V. (2015): *A low-cost airborne velocimetry system: proof of concept. Journal of Hydraulic Research, 2015. 53(4): p. 532–539*
- [11] Bandini, F. et al. (2017): *Unmanned Aerial Vehicle observations of water surface elevation, depth and surface velocity. in Conference MOXXI (2017): Innovation in hydrometry – from ideas to operation*
- [12] Leitão, J.P. et al. (2018): *Urban overland runoff velocity measurement with consumer-grade surveillance cameras and surface structure image velocimetry. Journal of Hydrology*
- [13] Moy de Vitry, M.; Dicht, S.; Leitão, J.P. (2017): *floodX: urban flash flood experiments monitored with conventional and alternative sensors. Earth System Science Data. 9(2): p. 657–666*

> SUITE DU RÉSUMÉ

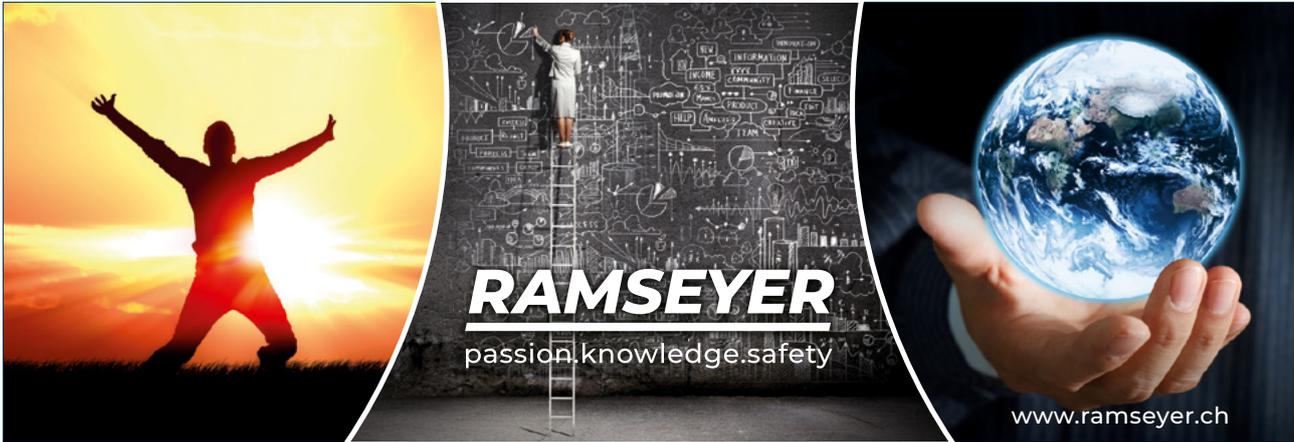
même dans des conditions nocturnes à l'aide de projecteurs infrarouges (2,9% de différence dans le meilleur des cas). Cette étude suggère que de simples caméras de surveillance bon marché et faciles d'entretien représentent une alternative intéressante à des capteurs conventionnels pour des mesures de niveaux d'eau et de débits en milieu urbain.

 solidarit'eau suisse

**Gemeindesolidarität
für Trinkwasser in
Entwicklungsländern.
Helfen Sie mit!**

www.solidariteausuisse.ch





Gipfelstürmer messen ...

kamstrup

... mehr als nur den Wasserverbrauch!

Mit den Ultraschall-Wassermessern von Kamstrup

- erfassen Sie die Wasser- und Umgebungstemperatur
- werden Sie frühzeitig vor Rohrbrüchen durch Frostschäden oder Änderungen der Wasserqualität gewarnt
- erhalten Sie intelligente Alarmfunktionen bei Leckagen, Rohrbrüchen, Trockenlauf, Rückfluss oder Manipulation
- können Sie Wasserverluste und Begleitschäden minimieren



Kamstrup A/S Schweiz · Industriestrasse 47 · 8152 Glattbrugg
T: 043 455 70 50 · info@kamstrup.ch · kamstrup.com



SVGW-Dienstleistungsangebot

Fernwärme und Fernkälte

Regelwerk, Fachinformationen und Statistiken
Wissensaustausch, Weiterbildungen
Personen- und Unternehmenregister
Beratungsstelle, Netzwerk



www.svgw.ch/FW