

ABFLUSSMESSUNGEN MITTELS VIDEOS

EINSATZ VON WEBCAMS UND SMARTPHONES

Mit kurzen Videosequenzen von Überwachungskameras und Smartphones können Oberflächen-geschwindigkeiten in Abwasserkanälen gemessen werden. Eingesetzt wird dabei die bildbasierte Methode namens Surface Structure Image Velocimetry, kurz SSIV. Die resultierenden Ergebnisse stimmen gut mit Ultraschall-Referenzmessungen überein und unterstreichen das Potenzial der innovativen Methode.

Salvador Peña-Haro; Maxence Carrel; Beat Lüthi, Photrack AG
Li Wang; Simon Dicht; João P. Leitão, Eawag*

RÉSUMÉ

MESURE INNOVANTE DES ÉCOULEMENTS DANS LES SYSTÈMES D'ÉVACUATION DES EAUX À L'AIDE DE VIDÉOS CAPTÉES PAR DES WEBCAMS ET DES SMARTPHONES

Les données relatives aux écoulements font souvent partie des données de base utilisées pour le dimensionnement, l'exploitation et l'optimisation de réseaux d'évacuation des eaux et de stations d'épuration. De manière générale, de nombreuses technologies numériques innovantes franchissent actuellement le pas de la recherche à la pratique dans le domaine de la gestion des eaux urbaines.

Les mesures des écoulements participent elles aussi à cette évolution. Une méthode innovante pour mesurer la vitesse de surface dans les canaux d'écoulement consiste à utiliser de brèves séquences vidéo enregistrées par des caméras de surveillance et des applications sur smartphone. La vitesse de surface de l'eau peut être déterminée optiquement à l'aide d'une technologie appelée *Surface Structure Image Velocimetry*. Les résultats correspondent bien aux mesures de référence par ultrasons et confirment le potentiel de cette méthode de mesure basée sur l'image.

EINFÜHRUNG

Abflussdaten dienen oft als Teil der Grundlagedaten für die Dimensionierung, den Betrieb und die Optimierung von Entwässerungsnetzwerken und Kläranlagen. Allgemein sind in der Siedlungswasserwirtschaft viele digitale innovative Technologien gerade dabei, den Sprung aus der Forschung in die Praxis zu schaffen [1]. Abflussmessungen sind bei dieser Entwicklung nicht ausgenommen: Heutzutage werden diese mit Videos gemacht. So wurde der Einsatz von optischen Messmethoden in den letzten Jahren dank der zunehmenden Kapazität von Kameras und Rechner mit neuen Anwendungen erweitert. Die sogenannte *Particle Image Velocimetry* (PIV) ist eine Methode, bei der Geschwindigkeitsfelder anhand der Verschiebungen von sogenannten Tracerpartikeln mithilfe von Kreuzkorrelationsbasierten Methoden gemessen werden. Diese Methode wird schon lange in der Forschung angewandt, zuerst kam sie unter Laborbedingungen [2] und später für Gewässer [3] zum Einsatz. Die Messungen können mit handelsüblichen Überwachungskameras [4–6], mittels installierten Apps auf Smartphones [7–9] oder mit Drohnen [10] durchgeführt werden.

In der hier beschriebenen Studie werden Messungen vorgestellt, die mit *Surface Structure Image Velocimetry* (SSIV), einer PIV-ähnlichen Methode, durchgeführt wurden. Im Gegensatz

* Kontakt: carrel@photrack.ch

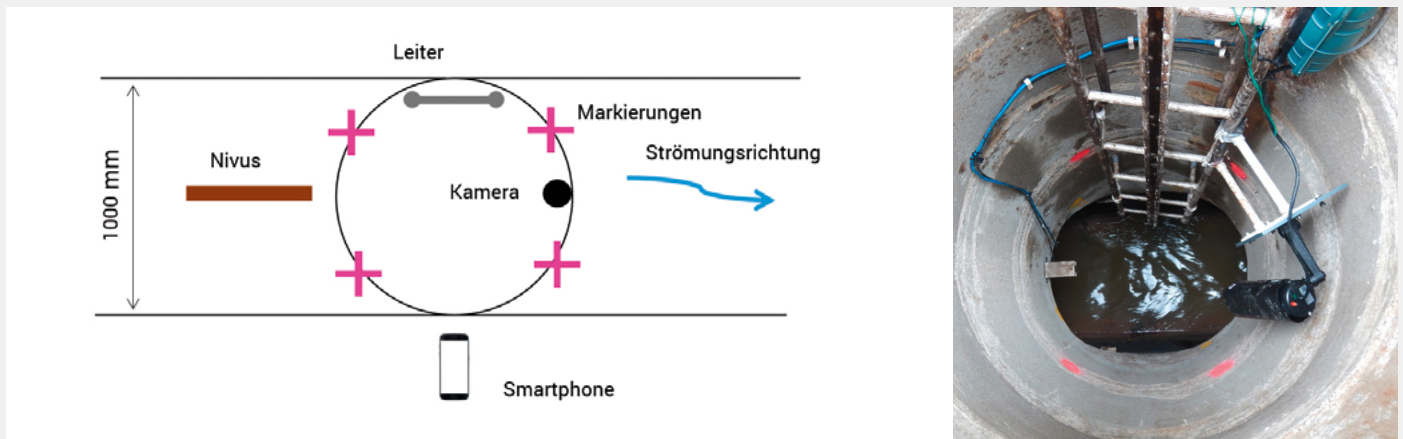


Fig. 1 Links: Grundrisskizze des in dieser Studie betrachteten Kanalisationsausschnittes und der Positionen der verschiedenen Sensoren.
Rechts: Blick in den betrachteten Schacht mit der angeschlossenen Überwachungskamera.

zu der PIV-Methode benötigt die SSIV-Methode keine zusätzliche Zugabe von Tracerpartikeln. Die SSIV-Methode eignet sich deshalb sehr gut für kontinuierliche Messungen unter natürlichen Bedingungen. Nachfolgend werden Oberflächengeschwindigkeitsmessungen vorgestellt, die mit handelsüblichen Überwachungskameras und Smartphones in Kanalisationen durchgeführt wurden. Referenzmessungen wurden aufgenommen mit einem Keilsensor der Firma *Nivus*.

MATERIAL UND METHODEN

EXPERIMENTELLER ANSATZ

Die Daten für die Studie wurden in einer Kanalisation aufgenommen, deren Schacht auf dem Eawag-Gelände (Dübendorf, Schweiz) liegt. Der Durchmesser der Kanalisationsröhre beträgt 1000 mm oberhalb, innerhalb und unterhalb des Schachtes. Die Steigung der Kanalisation stromaufwärts des Schachtes beträgt 1,6‰ respektive 1,5‰ stromabwärts. Als Vergleichsmessung diente ein *Nivus-CS2*-Kreuzkorrelationssensor. Dieser war etwa 300 mm oberhalb des Schachtrandes mittels Spannbretchen platziert und mass stromaufwärts. Ein am Schachteinlauf platzierter *i-3*-Füllstandssensor (*Nivus*) ergänzte die Abflussmessung. Die Messungen mit der Überwachungskamera und mit dem Smartphone wurden im Schachtbereich durchgeführt.

OPTISCHE WASSERPEGEL- UND ABFLUSSMESSUNG

In dieser Studie wurde eine Infrarotkamera mit einem 4-mm-Weitwinkelobjektiv angewandt. Die Kamera wurde ca. 2 m oberhalb des Wasserpegels installiert. Dank dem Weitwinkelobjektiv

konnte der gewünschte Aufnahmebereich erfasst werden.

Die Smartphone-Messungen wurden mit einem *Fairphone FP2* (*Android 7.1.2*) durchgeführt. Die Aufnahmen wurden ausserhalb des Schachtes auf einer Höhe von ca. 3,5 m oberhalb des Wasserpegels gemacht.

Um die SSIV-Messung und die Abflussberechnung zu ermöglichen, muss die Fokaldistanz und Position und Orientierung der Kamera in Bezug auf die Kanalisationsgeometrie bestimmt werden (Fig. 1). Dies erfolgt über ein Kameramodell, das die gemessenen und berechneten Bildpositionen von vier eingemessenen Markierungen durch Anpassung dieser Parameter zur Übereinstimmung bringt.

Die Oberflächengeschwindigkeit wurde anhand von vier Sekunden langen Videosequenzen à 120 Bildern berechnet

(HD-Auflösung, 30 Bilder pro Sekunde), die mit der Überwachungskamera und mit der *DischargeApp* (*discharge.ch*) gesteuerten Smartphonekamera aufgenommen wurden. Der Wasserpegel lässt sich optisch mithilfe von verschiedenen Methoden bestimmen, die entweder auf die Bewegung der Flüssigkeit oder Farben bzw. Musterunterschiede an der Grenze zwischen der Wasseroberfläche und der Kanalisationswand beruhen.

Die SSIV-Methode, mit der die Oberflächengeschwindigkeit gemessen wurde, ist eine patentierte Technologie, die auf einer Kreuzkorrelationsmethode beruht. Dabei wird eine Zone von Interesse im Sichtfeld der Kamera in verschiedene Fenster unterteilt. Die Methode bestimmt dann für jedes Fenster die zeitliche Verschiebung von den sich bewegenden Mustern. Weil Position und Orientierung der

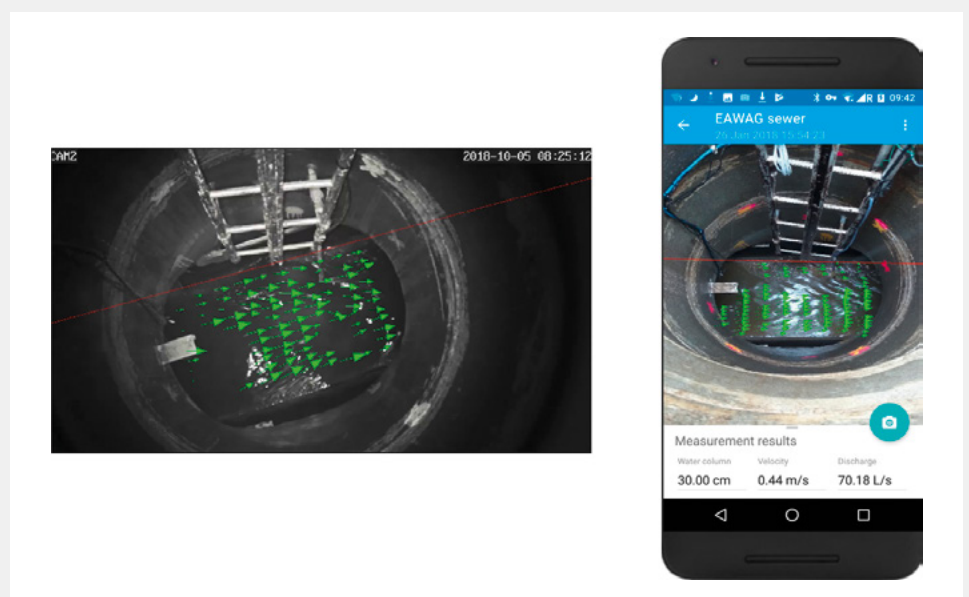


Fig. 2 Links: Beweisbild einer Messung, für die eine Überwachungskamera eingesetzt wurde.
Rechts: Beweisbild einer Messung durchgeführt mit der *DischargeApp*.

Kamera und die Geometrie der Kanalisation bekannt sind, kann das gemessene Verschiebungsfeld von der Einheit Pixel pro Bild in ein Geschwindigkeitsfeld mit Einheit Meter pro Sekunde umgewandelt werden. Im Anschluss an die Auswertung mit der Überwachungskamera oder mit der *DischargeApp* werden sogenannte Beweisbilder erzeugt (Fig. 2). Die gemessenen Geschwindigkeitsfelder werden mit *grünen Pfeilen* und die Wasserpegel mit *roten Linien* dargestellt, links ein Beispiel einer stationären Kamera, rechts ein Beispiel der *DischargeApp*. Anhand des Geschwindigkeitsfeldes kann das Profil der Oberflächengeschwindigkeit in Strömungsrichtung berechnet werden. Die mittleren Geschwindigkeiten an jeder Lotrechten werden entweder mit physikalischen Modellen für das vertikale Geschwindigkeitsprofil berechnet oder mithilfe von empirisch bestimmten Zusammenhängen, zwischen mittlerer Geschwindigkeit und Oberflächengeschwindigkeit, geschätzt. Schliesslich wird der Abfluss bestimmt, indem die mittleren Geschwindigkeiten über die Breite des Kanals integriert werden.

REFERENZMESSUNG MIT EINEM ULTRASCHALLSENSOR

Vergleichsmessungen wurden mit einem *Nivus-CS2*-Kreuzkorrelationssensor durchgeführt, der über eine zusätzliche Ultraschall-Füllstandsmessung (*i-3*) verfügt. Die Daten wurden über ein *OCM Pro* aufgezeichnet. Neben dem Abspei-

chern der Abflussdaten wurden auch die einzelnen, mittels Kreuzkorrelation gemessenen Fliessgeschwindigkeiten in maximal 16 Messfenstern aufgezeichnet. Für das Experiment wurde die Dämpfung und Stabilität auf das Minimum heruntergesetzt.

VERGLEICHE ZWISCHEN BEIDEN MESSMETHODEN

Um einen Vergleich zwischen den beiden Methoden zu ermöglichen, wurden die maximalen Oberflächengeschwindigkeiten und Durchflüsse berücksichtigt. Die maximale Oberflächengeschwindigkeit des *Nivus*-Keilsensors wurde extrapoliert. Dies geschah mit einem logarithmischen Fit basierend auf *Nivus*-Geschwindigkeitswerten für drei verschiedene Höhen. Die maximale Oberflächengeschwindigkeit der SSIV-Methode wurde dem Fit der gemessenen Geschwindigkeiten entnommen.

Um einen quantitativen Vergleich der Daten zu ermöglichen, wurden Korrelationskoeffizienten, quadratische mittlere Fehler und mittlere absolute Fehler für die Oberflächengeschwindigkeits- und Abflusswerte berechnet.

ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die Zeitreihen der gemessenen maximalen Oberflächengeschwindigkeits- und Abflussmessungen sind im oberen Teil der *Figur 3* für eine Zeitdauer von einem Tag (16. April 2019, Messwerte in

Intervallen von 15 Sekunden für beide Messgeräte) mit den entsprechenden Ergebnissen der quantitativen Vergleiche dargestellt. Mit einem Wert von 0,78 ist der Korrelationskoeffizient der *Nivus* und SSIV maximalen Oberflächengeschwindigkeit hoch, dabei betragen die quadratischen mittleren Fehler und mittleren absoluten Fehler etwa 5,5 cm/s, was hier relativ betrachtet einen Unterschied von 11,3% ausmacht.

Dieser Unterschied könnte sich auf zwei Arten erklären lassen: Erstens sind die Positionen, an denen die Oberflächengeschwindigkeiten gemessen werden, nicht identisch. Da der Schacht sich zwischen zwei Kanalisationsrohren befindet, die nicht dieselbe Neigung aufweisen, könnte die Geschwindigkeit etwas verlangsamen. Dass die stromabwärts gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten der SSIV-Methode leicht langsamer sind als der *Nivus*-Sensor, könnte daran liegen, dass sich dieser stromaufwärts befindet und zudem in einem 45°-Winkel stromaufwärts misst. Zweitens ist zu berücksichtigen, dass die Bestimmung dieser maximalen Oberflächengeschwindigkeiten sowohl seitens *Nivus* (Extrapolation der Geschwindigkeit zur Oberfläche anhand eines Fittings zu drei Datenpunkten) als auch seitens SSIV (die maximale Geschwindigkeit befindet sich nicht immer in der Mitte des Kanals) mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind und so nicht unbedingt einen optimalen Vergleich ermöglichen. An der Leiter verfängt sich

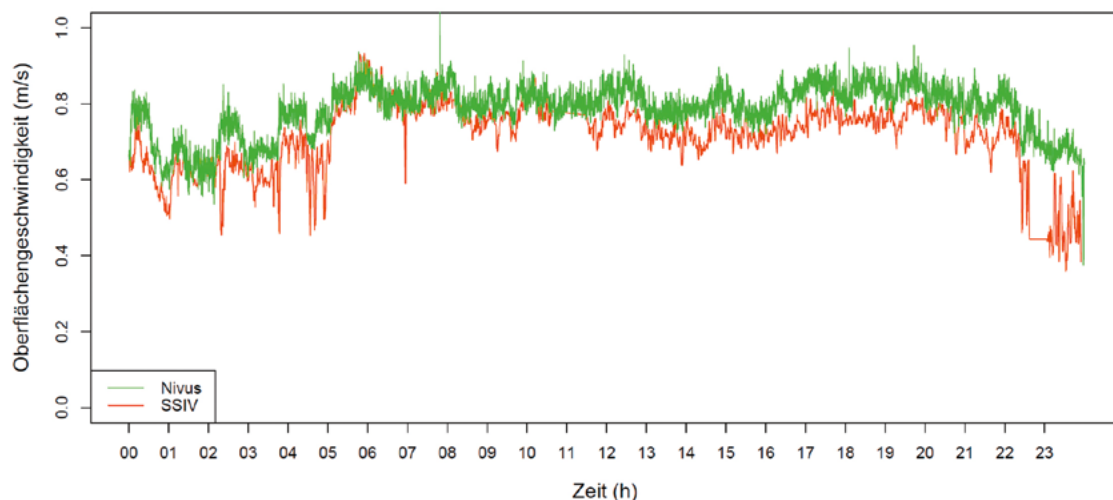


Fig. 3 Zeitreihen für den 16. April 2019 der im 15-Sekunden-Takt extrapolierten bzw. gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten des *Nivus*-Sensors (grün) und der SSIV-Methode (rot).

häufig relativ grosses Material, was zu einer Störung des Geschwindigkeitsfeldes führen kann, insbesondere kann das Oberflächengeschwindigkeitsprofil asymmetrisch werden.

FAZIT UND AUSBLICK

Die Ergebnisse zeigen, dass die SSIV-Methode, die schon erfolgreich für Abflussmessungen in natürlichen Gewässern oder für Oberflächenabflussmessungen eingesetzt wird, durchaus auch Potenzial für Anwendungen im Abwasserbereich hat. Die hier vorgestellten quantitativen Vergleiche mit einer Referenzmethode, die als eine der Standardmethoden für solche Messungen gilt, sehen vielversprechend aus. Quantitative Vergleiche der Oberflächengeschwindigkeitsmessungen weisen eine gute Korrelation von 0,78 auf bei relativen Messunterschieden, die weniger als 10% betragen, was das Potenzial dieser bildbasierten Methode unterstreicht. Eine zusätzliche wichtige

Eigenschaft dieser Technologie ist die Tatsache, dass die Methode bildbasiert ist. Es besteht also die Möglichkeit, in der Regel in Echtzeit, die Situation optisch zu überwachen und einzuschätzen. Weitere Studien werden untersuchen, wie sich verschiedene Kanalisationsquerschnitte auf die vertikalen Geschwindigkeitsprofile und Durchflussberechnung auswirken und wie sich die Methode durch Langzeitmessungen bei Extremereignissen bewähren wird.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Blumensaat, F. et al. (2019): How Urban Water Management Prepares for Emerging Opportunities and Threats: Digital Transformation, Ubiquitous Sensing, New Data Sources, and Beyond – a Horizon Scan. *Environmental Science & Technology*
- [2] Adrian, R.J. (1991): Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics. *Annual Review of Fluid Mechanics* 23
- [3] Fujita I. et al. (1998): Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications. *Journal of Hydraulic Research* 36(3)
- [4] 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
- [5] Leitão, J.P. et al. (2018): Urban overland runoff velocity measurement with consumer-grade surveillance cameras and surface structure imaging velocimetry. *Journal of Hydrology* (565) 791–804
- [6] Peña-Haro, S. et al. (2019): Es überschwemmt und keiner sieht zu? – Oberflächenabflussmessungen im urbanen Raum mittels Videomaterial von Überwachungskameras. *Aqua & Gas*
- [7] discharge.ch: A Platform for Professional Flow Measurements. Abgerufen am 16. Juni 2019
- [8] Lüthi B. et al. (2014): Mobile device app for small open-channel flow measurement. *International Congress on Environmental Modelling and Software*. 36
- [9] Carrel, M. et al. (2019): Evaluation of the DischargeApp: a smartphone application for discharge measurements. *HydroSenSoft 2019, Madrid, Spain*
- [10] Bandini, F. et al. (2019): Unmanned aerial systems (UASS) for monitoring water surface elevation, bathymetry, surface velocity and discharge in streams. *Drone Special, Hydrolink* (1)

Gipfelstürmer messen ...

kamstrup

... mehr als nur den Wasserverbrauch!

Mit den Ultraschall-Wasserzählern 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