

Berührlose optische Durchflussmessung unter hochalpinen Verhältnissen

Dieser Beitrag stellt ein bildgebendes Messsystem vor, mit dem Wasserstand und Durchfluss in einem alpinen Wildbach gemessen werden. Das System ist energetisch autark und kann in Echtzeit zur Überwachung eines Wildbaches und dessen Umgebung abgerufen werden. Wasserstand, Fließgeschwindigkeit und Durchfluss werden automatisch bestimmt und auf einen Server übertragen. Die gemessenen Durchflusswerte wurden durch Tracerversuche validiert und das Messsystem erwies sich als zuverlässig über vier Schmelzsaons bei alpinen Wetterverhältnissen.

Maxence Carrel, Salvador Peña-Haro, Beat Luethi und Issa Hansen

Wasserstand- und Durchflussdaten von Gewässern in alpinen Einzugsgebieten sind erforderlich für die Planung und für den Betrieb von wasserbaulichen Bauwerken, die Dimensionierung von Hochwasser-Schutzbauten oder als Eingangsdaten bzw. Randbedingungen für hydrologische und hydrodynamische Modelle. In gewissen Fällen ist ein Datenzugang in Echtzeit von Interesse. Der Entwicklungsstand von bildbasierten Technologien ist an einem Punkt, an dem solche Gewässer mit Kameras nicht nur qualitativ überwacht, sondern die Wasserstand- und Durchflusswerte anhand der aufgenommenen Bilder quantitativ gemessen werden können. Ähnliche Technologien wie „Particle Imaging Velocimetry“ (PIV) wurden seit Anfang der 1990er-Jahre im Labor eingesetzt und ihr Einsatz hat sich erweitert, so dass sie aktuell für Feldkampagnen mit Drohnen oder Smartphones benutzt werden. Im Folgenden wird ein kamerabasiertes Messsystem vorgestellt, das einerseits eine

kontinuierliche Erfassung von Wasserstand- und Durchflussdaten erlaubt und andererseits einen Kamerazugang in Echtzeit gewährt.

Das Messsystem wird seit 2015 jeweils während der Schmelzsaon in einer Schlucht auf 2 100 m. ü. M. etwa 500 m unterhalb eines Gletschers im Oberwallis in der Schweiz installiert (**Bild 1**). Das energieautarke System besteht aus einer wetterfesten Netzwerkkamera, aus einem LED-Schweinwerfer, einem 60-Watt-Solarpanel, einer 90-Watt-Brennstoffzelle und Verarbeitungs- und Übertragungseinheiten. Bei genügender Internetbandbreite (3G, besser als -80 dBm) ist ein Echtzeitzugriff zu Überwachungszwecken möglich. Die Kamera nimmt jede Stunde 5 Sekunden lange Videosequenzen auf (30 Bilder pro Sekunde, Auflösung von 360 x 640 Pixel). Die exakte Position der Kamera und der Markierungen, die als Referenzpunkte dienen, wurden mit einem Lasermeter vermessen, welche die



Bild 1: Dieses Bild zeigt die Schlucht, in der das Messsystem installiert ist, die Netzwerkkamera befindet sich unmittelbar unter der Brücke (weißer Punkt), das Solarpanel und die Kiste mit der Brennstoffzelle sowie den Verarbeitungs- und Übertragungseinheiten befinden sich neben der Brücke, auf der rechten Seite der Schlucht

Korrektur der Bildverzerrung und die Orthorektifizierung der Bilder erlaubt. Die 3-D-Geometrie des Flussbettes wurde mit einer photogrammetrischen Methode ermittelt.

Der Wasserstand wird mit einer speziellen Bildverarbeitungstechnik erfasst (EP 3 018 483 A1). Dabei wird die Grenzfläche zwischen dem trockenen Ufer und dem fließenden Wasser detektiert. Mithilfe der „Surface Structure Image Velocimetry“ (SSIV) ist es anschließend möglich, das Oberflächengeschwindigkeitsfeld zu messen (**Bild 2**). Im Gegensatz zu den PIV-Technologien kann bei SSIV auf die Zugabe von Tracerpartikeln verzichtet werden, so dass sich diese Technologie auch für kontinuierliche Messungen eignet. Anhand der gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten lässt sich die vertikale Geschwindigkeitsverteilung, wie im Bild 2 dargestellt, mithilfe eines rauigkeitsbasierten Ansatzes nach Prandtl modellieren. Eine Integration der vertikalen Geschwindigkeitsprofile über die Breite des Gewässers führt dann zum Durchfluss des Wildbaches.

Auf **Bild 3** sind Ganglinien der mittleren täglichen Durchflusswerte für die Schmelzsaisons 2015 bis 2018 dargestellt. Diese Ganglinien sind unterschiedlich lang, weil die Installation- und Abbaudaten von den von Jahr zu Jahr variierenden Schneemengen abhängig sind. Die Teilabbildung auf diesem Bild zeigt stündliche Durchflusswerte und deren Tagesdurchschnitt. In der stündlichen Ganglinie ist eine für glazialen Abfluss typische hohe Variabilität ersichtlich. Die unabhängig voneinander gemessenen Wasserstand- und Durchflussdaten erlauben laufend Schlüsselkurven oder PQ-Beziehungen zu generieren. Verschiedene Tracerversuche wurden unter unterschiedlichen Fließverhältnissen durchgeführt, um die Daten zu validieren. Dabei betrug die Abweichung zwischen den Tracertests und den optischen Daten maximal 10 %.

Alpine Wildbäche weisen oft relativ hohe Geschwindigkeiten auf (hier bis zu 4 m/s). Bei diesen hydraulischen Verhältnissen und bei diesem instabilen Geröllflussbett treten immer wieder Mobilisierungsereignisse auf, die den Flussbettquerschnitt verändern. Als Folge solcher Ereignisse kann sich die PQ-Beziehung der Messstelle verändern, so dass der Durchfluss bei gleichem Wasserstand ein anderer ist. Die Abweichungen der Messdaten

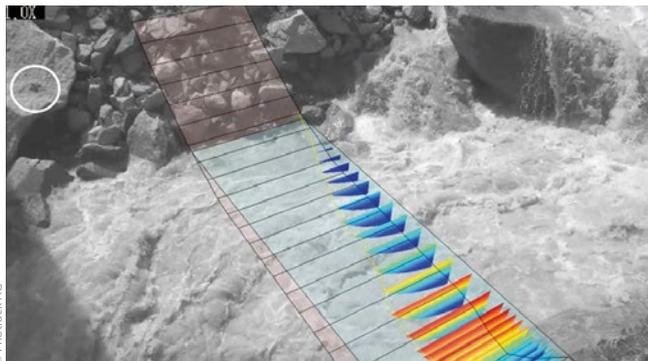


Bild 2: Horizontale und vertikale Profile der Geschwindigkeitskomponenten in Strömungsrichtung; der weiße Kreis gibt den Standort einer der Referenzmarkierungen an

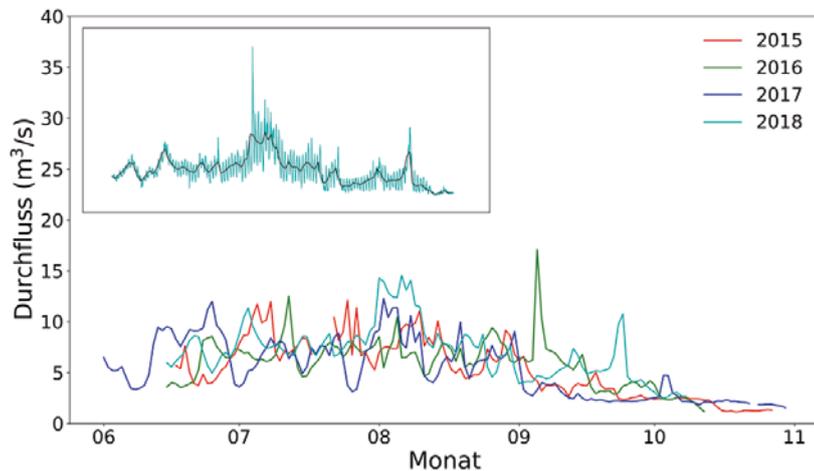


Bild 3: Ganglinien der Tagesdurchschnitte der Durchflusswerten für die Schmelzsaisons 2015 bis 2018; die Teilabbildung stellt die stündliche (türkis) und tägliche (schwarz) Durchflusswerte für 2018

von der implementierten PQ-Beziehung lassen sich mit Hilfe des kamerbasierten Messsystems automatisch erkennen, da beide Größen unabhängig voneinander gemessen werden, so dass das System nachträglich kalibriert werden kann.

Die Messergebnisse unterstreichen das Potenzial von berührungslosen optischen Methoden für Wasserstand- und Durchflussmessungen in abgelegenen alpinen Gebieten. Das Messsystem funktioniert zuverlässig über lange Zeit und bei verschiedensten Wetterverhältnissen (Schnee, Regen, Wind). Auf die Netzwerkkamera, die zur Messung verwendet wird, kann in Echtzeit zugegriffen werden, um bei Bedarf auch die nähere Umgebung des Wildbaches zu überwachen. Zusätzlich können Grenzwasserstände definiert werden, bei deren Überschreitung SMS- oder Emailwarnungen an eine definierte Verteilerliste verschickt werden. Andere Messsysteme mit ähnlicher Funktionalität können und wurden schon problemlos außerhalb des Alpenraums an breiteren und größeren Gewässern installiert.

Autoren

Dr. Maxence Carrel
Dr. Salvador Peña-Haro
Dr. Beat Luethi
 Photrack AG
 Ankerstr. 16a
 8004 Zürich
 carrel@photrack.ch
 pena@photrack.ch
 luethi@photrack.ch

Dr.-Ing. Issa Hansen
 SEBA Hydrometrie GmbH & Co. KG
 Gewerbestraße 61a
 87600 Kaufbeuren
 hansen@seba.de