

NEUE SCHWEBSTOFFKONZENTRATIONSMESSUNG MIT INTEGRIERTER GRÖSSENKLASSENERKENNUNG

Die diesjährige massive Gletscherschmelze hat uns deutlich aufgezeigt, welchen großen Veränderungen hochalpine vergletscherte Gebiete unterliegen. Durch den Rückgang der Gletscher werden immer größere alpine Flächen freigelegt, von denen bei Niederschlag Sedimente in die Bäche und somit in die Wasserfassungen der Kraftwerke gelangen. Diese mineralischen Schwebstoffe, welche im Triebwasser der Wasserkraftanlagen suspendiert sind, verursachen massiven hydro-abrasiven Verschleiß an exponierten Turbinenbauteilen. Eine Abnahme des Wirkungsgrades der Turbinen und steigende Betriebskosten durch häufigere und umfangreichere Revisionsarbeiten sind die Folgen. [Abgotzpon et al., 2022]. Um in der Lage zu sein, diese Schäden zu minimieren, ist ein Schwebstoffmonitoring notwendig, welches nicht nur aus der Messung der Schwebstoffkonzentration besteht, sondern auch Aussagen über die Größenverteilung der Schwebstoffe macht [Abgotzpon et al. 2016].

Die Kraftwerke Mattmark AG betreibt in Stalden VS/Schweiz ein Wasserkraftwerk mit zwei Maschinensträngen, welche aus jeweils zwei Pelton-turbinen bestehen und eine Gesamtleistung von 185.000 kW erreicht. Das Einzugsgebiet des Kraftwerkes liegt größtenteils in von Gletschern beeinflussten Gebieten. Daher hat sich die Kraftwerke Mattmark AG bereit erklärt, als Pilotprojekt im Frühjahr 2022 ein neues Messsystem zur Erfassung der Schwebstoffkonzentration und deren Größenverteilung zu installieren. Ziel ist es, in der Lage zu sein, bei sehr hohen Schwebstoffkonzentrationen das zufließende Wasser direkt bei den Wasserfassungen auszuleiten, gleichzeitig bei Rückgang der Schwebstoffkonzentrationen das Wasser wieder sofort einleiten und turbinieren zu können.

MESSTMETHODIK UND MESSBEREICH

Das dem Multifrequenz-Echo-Verfahren zugrundeliegende Messprinzip basiert auf der Rückstreuung und Dämpfung von Ultra-

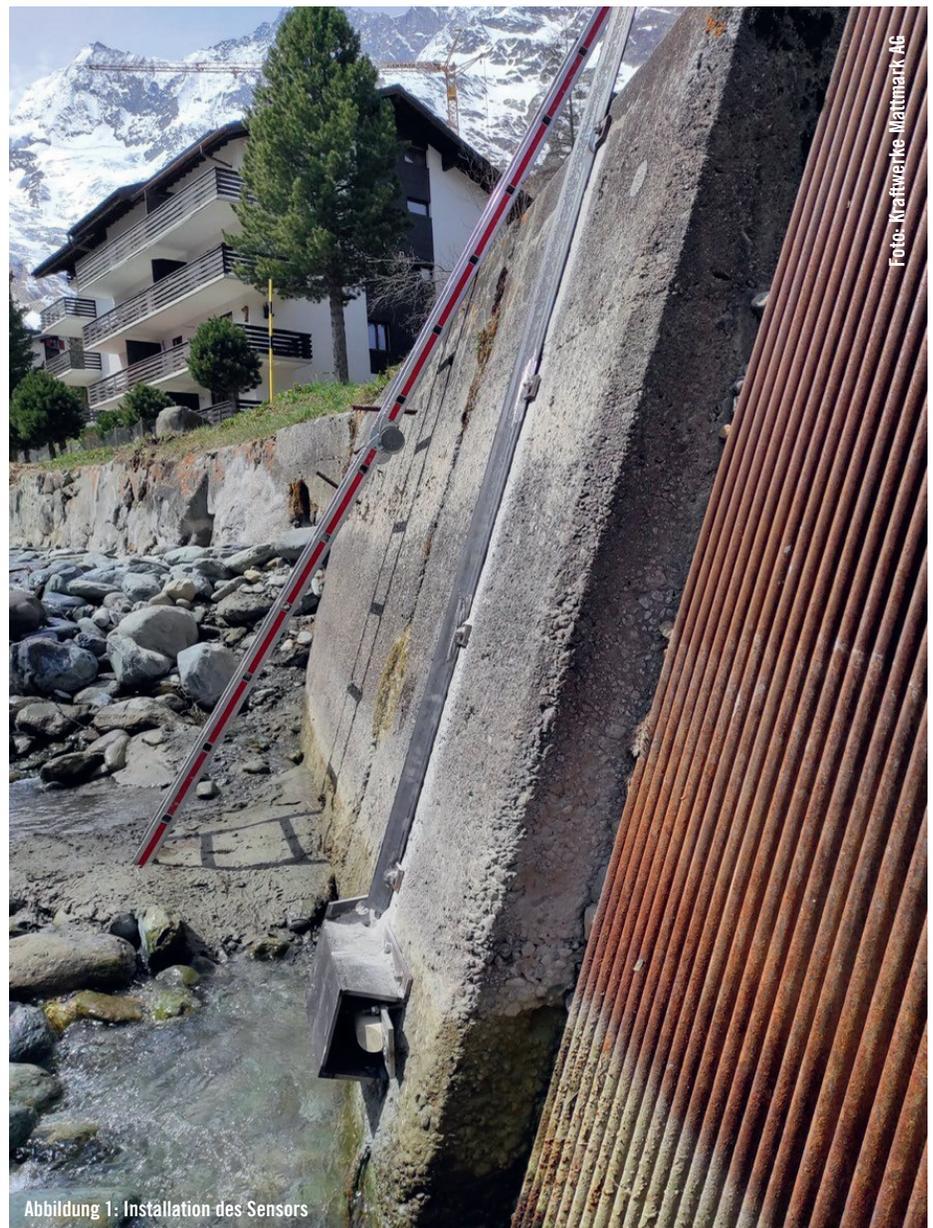


Abbildung 1: Installation des Sensors

Foto: Kraftwerke Mattmark AG

schallwellen an in fließenden Medien mitgeführten Partikeln. Dazu wird im Puls-Echo-Verfahren ein akustischer Puls in das Medium gesendet und die Intensität des rückgestreuten Signals gemessen. Dieser Prozess wird mit verschiedenen Frequenzen, welche durch insgesamt 4 Schallwandler emittiert werden (Abbildung 2), wiederholt, um Streusignale von Partikeln unterschiedlicher Größe zu erhalten. Ziel ist es, hierbei den Mittelwert und die Standardabweichung für den Rückstreuoeffizienten und die effektive Dämpfung des Ultraschallpulses durch das Medium zu erhalten. Die Partikelkonzentration und -größenklassenverteilung wird dann aus diesen Daten mit Hilfe komplexer



Foto: NIVUS GmbH

Abbildung 2: Sensor des Konzentrationsmesssystems

mathematischer Gleichungen ermittelt. Das System kann bis zu einer maximalen Schwebstoffkonzentration von 6.000 mg/l kalibrationsfrei messen. Konzentrationen größer 6.000 mg/l werden zwar erkannt, können jedoch auf Grund der dann eintretenden Mehr-

fachstreuung nicht mehr genau ermittelt werden. Somit kann bei Schwebstoffkonzentrationen $> 6.000 \text{ mg/l}$ nur noch eine qualitative Messung durchgeführt werden. Um die Messunsicherheit bei höheren Konzentrationen zu reduzieren, kann jedoch im System eine Abgleichkurve aus Labormessungen mit repräsentativen Sedimentproben hinterlegt werden. Die Partikelgröße wird in fünf Größenklassen angegeben: $< 63 \mu\text{m}$, $63 - 100 \mu\text{m}$, $100 - 200 \mu\text{m}$, $200 - 400 \mu\text{m}$ sowie $400 - 1000 \mu\text{m}$.

Vorteile des Systems:

- Einfache Installation ohne Bypass oder Pumpen
- Auflösung der Größenverteilung
- Kalibrationsfrei
- Wartungsfrei

INSTALLATION

Der Sensor kann direkt im Gerinne oder Rohr installiert werden und benötigt keine aufwendige Montage mittels Bypass und/oder Pumpensteuerung. Darüber hinaus ist der Betrieb des Sensors weitgehend wartungsfrei.

In Saas-Fee wurde der Sensor bei Niedrigwasser im Februar 2022 direkt vor dem Einlaufrechen der Wasserfassung im Gerinne des Gebirgsbaches Saaser Vispa installiert (Abbildung 1). Damit kann bei Überschreitung eines Schwellenwertes von 4.000 bis 6.000 mg/l eine Alarmierung erfolgen und das Wasser gezielt ausgeleitet werden. Gleichzeitig kann der Abfall der Sedimentkonzentration in Echtzeit erfasst werden, um bei ausreichend niedriger Konzentration den Volumenstrom wieder zur Energiegewinnung umzuleiten, ohne Schäden an den Turbinen zu verursachen.

Der Sensor wurde so installiert, dass die Ultraschallsignale mit der Strömungsrichtung in das Gewässer emittiert werden. So wird ausgeschlossen, dass Treibgut oder Geröll auf die Schallwandler des Sensors aufprallen und diese beschädigen. Um den Sensor und das Sensorkabel vor Treibgut und Geröll zu schützen, wurden diese von Mitarbeitern der Kraftwerke Mattmark AG mit massiven Stahlplatten eingefasst. Verwirbelungen, welche hinter dem Sensorschutz im Blickfeld des Sensors entstehen, haben keine Auswirkung auf die Messung. In dem Sensorkörper ist neben den Ultraschallwandlern noch eine Drucksonde zur Höhenstandserfassung verbaut. Diese ist für die Schwebstoffkonzentrationsmessung nicht zwingend notwendig, vereinfacht aber die nachträgliche Auswertung der Daten. Der Messwertumformer wurde 60 m entfernt im Wärterraum installiert. Von hier werden über

analoge Signale die Partikelkonzentration, der Wasserstand und die Wassertemperatur an das Leitsystem der Kraftwerke Mattmark AG weitergegeben. Die Inbetriebnahme des Systems erfolgte im Juli 2022.

MESSERGEBNISSE UND DISKUSSION

Die folgende Analyse bezieht sich auf Daten, welche zwischen dem 29. Juli und 1. Oktober 2022 aufgezeichnet wurden. Zu den Daten des Partikelkonzentrationsmesssystems, welches neben der Partikelkonzentration und die Größenklassenverteilung auch noch den Wasserstand und die Wassertemperatur erfasst, wurden für die weitere Betrachtung noch Durchflussdaten des Wasserkraftwerkes Stalden mit einbezogen. In diesem Zeitraum kam es zu vierzehn Ereignissen mit einer Schwebstoffkonzentration $> 4.000 \text{ mg/l}$. Zwei dieser Ereignisse hatten eine Dauer von mehr als einer Stunde (Mittelwert: 29 min , Median: 17 min).

Bei einer ersten Auswertung der Daten fallen die periodischen Schwankungen aller Messwerte im Tagesverlauf auf. Der Sommer 2022 war, bedingt durch sehr hohe Temperaturen und nur sehr wenig Niederschlag, gekennzeichnet durch eine massive Gletscherschmelze. So sind deutlich die Zu- und Abnahmen des Durchflusses im Tagesverlauf zu erkennen, welche erwartungsgemäß einhergehen mit einer Zu- und Abnahme der Schwebstoffkonzentration (Abbildungen 3 und 5). Der Transport von größeren Partikeln (Feinsand und Mittelsand) nimmt dabei mit zunehmender Fließgeschwindigkeit zu (vgl. Abbildungen 4 und 6). Ab dem 8. September sinken die Wassertemperatur und der Durchfluss. Die Gletscherschmelze nimmt ab. Damit wird kaum noch Fein- und Mittelsand transportiert und es dominiert Silt (vgl. Abbildung 6).

Am 25. August wurden über einen Zeitraum von ca. 41 Minuten Sedimentkonzentrationen deutlich über 6.000 mg/l gemessen (Abbildung 8). Somit überschritten diese Werte den maximalen Messbereich des Sensors und waren dadurch mit einer deutlich höheren Messunsicherheit behaftet. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass es sich hierbei um ein Ereignis mit der innerhalb dieser Messkampagne höchsten detektierten Sedimentkonzentration ($> 6.000 \text{ mg/l}$) gehandelt hat. Eine nähere Betrachtung der Partikelgrößenverteilung für dieses Ereignis (Abbildung 9) zeigt die zeitliche Abfolge der einzelnen Größenklassen, beginnend mit Silt, gefolgt von Feinsand bis $100 \mu\text{m}$, geringe Konzentrationen von Fein- und Mittelsand bis $400 \mu\text{m}$ und ein in Relation großer Anteil von Sand bis $1000 \mu\text{m}$. Diese Aufeinanderfolge der einzelnen Größenklassen und auch die Unterreprä-

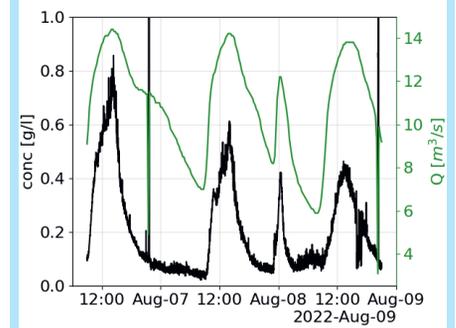


Abbildung 3: Tagesverlauf bei hohem Durchfluss

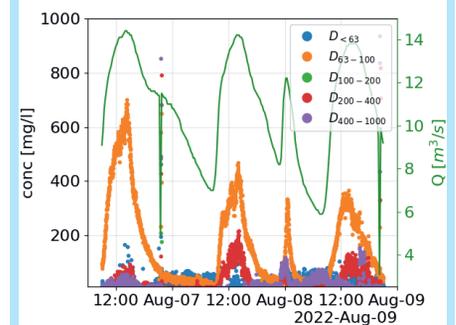


Abbildung 4: Größenklassenverteilung bei hohem Durchfluss

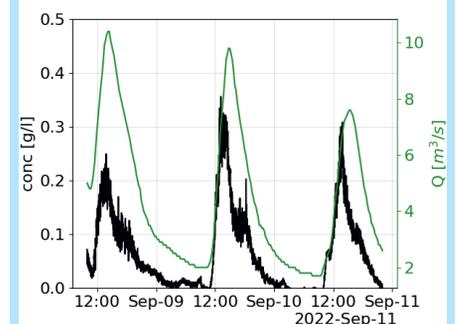


Abbildung 5: Tagesverlauf bei niedrigem Durchfluss

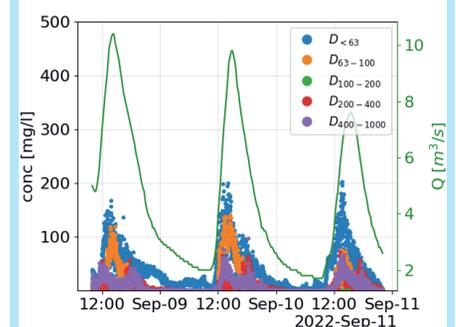


Abbildung 6: Größenklassenverteilung bei niedrigem Durchfluss

Anwendungsmöglichkeiten des Systems:

- Reduzierung des hydro-abrasiven Verschleiß durch kontrolliertes Ausleiten
- Schwebstoffmonitoring für effiziente Turbinenwartung
- Monitoring von (kontinuierlichen) Stauraumpülungen
- Nachhaltiges Sedimentmanagement

sentation der Größenklassen bis 200 µm und 400 µm ist in allen Ereignissen wiederzufinden. Davon abweichend wurde am 27. August für Größenklasse bis 400 µm ein Fraktionsanteil von 20 % und bis 200 µm von immerhin 6 % detektiert. Diese Abfolge der Größenfraktionsanteile innerhalb eines Ereignisses steht im Gegensatz zu den Beobachtungen einer langjährigen Studie zum hydro-abrasiven Verschleiß an Pelton turbinen im Kraftwerk Fieschertal (ca. 40 km Luftlinie von Saas-Fee entfernt). In dieser Studie wurde der d50 Parameter der Größensummenverteilungskurve bestimmt. Die Ergebnisse aus dieser Studie zeigten, dass der d50 Wert zum Beginn der Ereignisse (ansteigender Ast der Konzentrationsganglinie) höher war als bei Ereignisende (absteigender Ast der Konzentrationsganglinie) (vgl. Abbildung 7). Der Grund hierfür ist, dass für diese Studie die Messsysteme nach dem Speicherstollen installiert waren. Dadurch wird die Schwebstoffkonzentration durch Absetz- und Resuspensionsprozesse bei unterschiedlichen Wasserständen während des Betriebes des Speicherstollens beeinflusst (Felix, 2017).

In den Ganglinien der Konzentrationsereignisse ist zusätzlich (z.B. Abbildung 3) ein periodisches Ereignis mit starkem, pulsartigen Konzentrationsanstieg, verbunden mit einem drastischen Abfall des Durchflusses, zu erkennen. Hier handelt es sich um einen Spülvorgang des Rechens im Einlauf der Wasserfassung. Durch das Öffnen des Schiebers hinter der Wasserfassung wird schlagartig eine große

Menge Wasser und Treibgut, welches sich vor dem Rechen gesammelt hat, ausgeleitet. Dabei kommt es vor allem zur Resuspension von Partikeln > 200 µm, welche sich zuvor vor der Wasserfassung abgesetzt hatten (vgl. Abbildung 10).

FAZIT

Die Messdaten dieser Messkampagne zeigen, dass bei bestimmten Ereignissen, welche durch Schnee- und Gletscherschmelze, Starkniederschläge oder auch durch gezieltes Spülen von Speichern verursacht werden, große Mengen von sehr kleinen als auch sehr großen Partikeln verfrachtet und zu den Turbinen geführt werden. Eine Abscheidung von Silt und Feinsand (< 200 µm) durch Entsander ist in den meisten Fällen nicht mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand möglich. Doch auch kleine Partikel verursachen bei hohen Fließgeschwindigkeiten und starken Umlenkungen der Strömung hydro-abrasiven Verschleiß an den Turbinen (Abgotsson et al., 2016). Inwieweit die großen Mengen Sand (> 400 µm), wie bei dem Ereignis am 25. August aufgetreten (Abbildung 9), durch den Entsander abgeschieden werden, kann nur durch eine Schwebstoffkonzentrationsmessung nach dem Entsander ermittelt werden.

AUSBLICK

Um das Verhalten des Entsanders bei hohen Schwebstoffkonzentrationen besser zu verstehen, aber auch um Wartungsintervalle an den Turbinen effizienter terminieren zu können, wird die Kraftwerke Mattmark AG im kommenden Winter ein zweites Schwebstoffkonzentrations-Messsystem am Ende vom Entsanderbecken, beim Überlauf zum Druckstollen, installieren. Auf diese Weise wird zum einen die tatsächliche Schwebstoffkonzentration und -größenverteilung des turbinierten Wassers erfasst, welche letztendlich zu hydro-abrasiven Verschleiß an den Turbinen führt. Zum anderen erhält die Kraftwerke Mattmark AG damit Informationen über das Absetzverhalten im Becken bei unterschiedlichen Zuflussmengen.

Autoren:

Sebastian Scheffler, Nivus GmbH, Im Täle 2, 75031 Eppingen
 Dr. Asmorom Kibrom, Nivus GmbH, Im Täle 2, 75031 Eppingen

Quellen:

- Abgotsson, A., Felix, D., Boes, R., Staubli, T. (2016): Schwebstoffe, hydro-abrasiver Verschleiß und Wirkungsgradänderungen an Pelton turbinen - Ein Forschungsprojekt am KW Fieschertal. Wasser Energie Luft, 108. Jahrgang, Heft 1: 9-24.
- Abgotsson, A., Felix, D., Staubli, T., Boes, R. (2022): Betriebs- und Unterhaltungsoptimierung von beschichteten Pelton turbinen mit hydro-abrasiven Verschleiss - Erkenntnisse aus einem Forschungsprojekt am KW Fieschertal. Wasser Energie Luft, 114. Jahrgang, Heft 2: 105-117.
- Felix, D. (2017): Experimental investigation on suspended sediment, hydro-abrasive erosion and efficiency reductions of coated Pelton turbines. VAW-Mitteilungen 238 (Boes R., ed.) und Dissertation 24145, ETH Zürich.

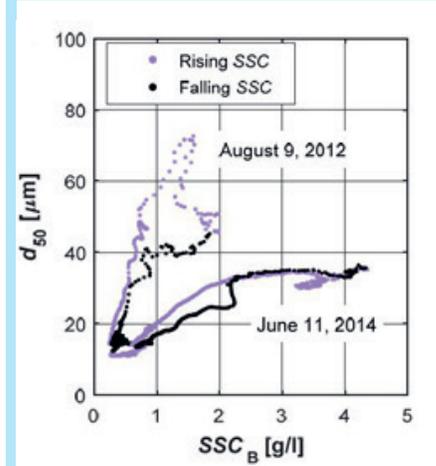


Abbildung 7: Verteilung d50 Wert während der Ereignisse im Fieschertal (Felix, 2017)

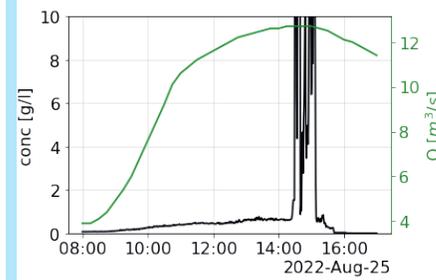


Abbildung 8: Konzentrationsereignis 25. August

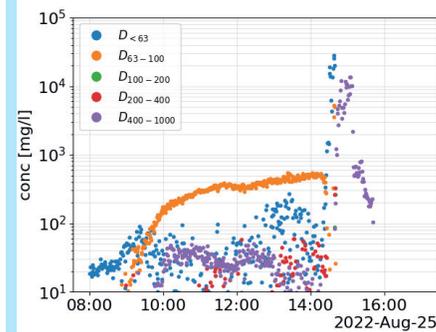


Abbildung 9: Größenklassenauflösung des Konzentrationsereignis 25. August

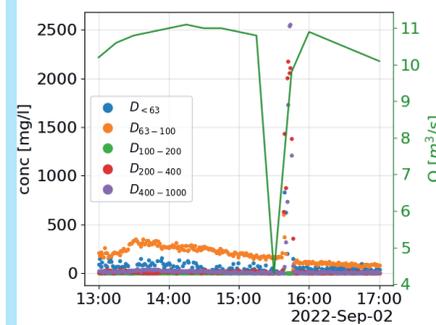


Abbildung 10: Größenklassenverteilung einer Spülung am 2. September