

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 115 (2023)
Heft: 1

Artikel: Neue Schwebstoffkonzentrationsmessung mit integrierter
Grössenklassenerkennung
Autor: Scheffler, Sebastian / Kibrom, Asmorom
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1043742>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Neue Schwebstoffkonzentrationsmessung mit integrierter Grössenklassenerkennung

Sebastian Scheffler, Asmorom Kibrom

Zusammenfassung

Die diesjährige massive Gletscherschmelze hat uns deutlich aufgezeigt, welche 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 (Abgottsson 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 (Abgottsson et al. 2016).

Résumé

La fonte massive des glaciers cette année nous a clairement montré les grands changements auxquels font face les zones glaciaires dans les hautes Alpes. Le recul des glaciers met à nu des surfaces alpines de plus en plus grandes, dont les précipitations entraînent des sédiments dans les cours d'eau et donc dans les prises d'eau des centrales hydrauliques. Ces matières minérales en suspension dans l'eau motrice des centrales hydroélectriques provoquent une usure hydro-abrasive massive des composants exposés des turbines. Une diminution de l'efficacité des turbines et une augmentation des coûts d'exploitation due à des travaux de révision plus fréquents et plus importants en sont les conséquences (Abgottsson et al., 2022). Pour être en mesure de minimiser ces dégâts, il est nécessaire de mettre en place un monitoring des matières en suspension qui consiste non seulement à mesurer la concentration des matières en suspension, mais aussi à fournir des informations sur la répartition de la taille des matières en suspension (Abgottsson et al. 2016).

Die Kraftwerke Mattmark AG betreibt in Stalden VS/Schweiz ein Wasserkraftwerk mit zwei Maschinensträngen, welche aus jeweils zwei Peltonturbinen bestehen und eine Gesamtleistung von 185 000 kW erreicht. Das Einzugsgebiet des Kraftwerks 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.

Messmethodik und Messbereich

Das dem Multifrequenz-Echo-Verfahren zugrundeliegende Messprinzip basiert auf der Rückstreuung und Dämpfung von Ultraschallwellen an in fließenden Medien mitgeführten Partikeln. Dazu wird im Puls-Echo-Verfahren ein akustischer Puls in das

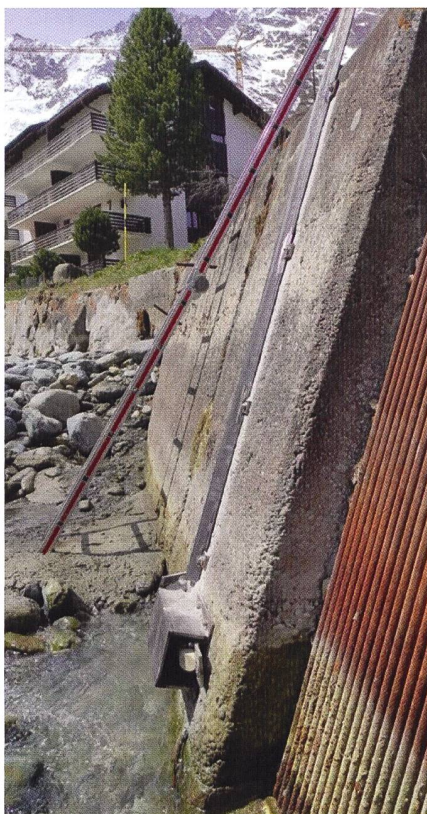


Bild 1: Installation des Sensors (Foto: Kraftwerke Mattmark AG).

Medium gesendet und die Intensität des rückgestreuten Signals gemessen. Dieser Prozess wird mit verschiedenen Frequenzen, welche durch insgesamt vier Schallwandler emittiert werden (Bild 2), wiederholt, um Streusignale von Partikeln unterschiedlicher Grösse zu erhalten. Ziel ist es, hierbei den Mittelwert und die Standardabweichung für den Rückstreckkoeffizienten und die effektive Dämpfung des Ultraschallpulses durch das Medium zu erhalten. Die Partikelkonzentration und Grössenklassenverteilung wird dann aus diesen Daten mit Hilfe komplexer mathematischer Gleichungen ermittelt.

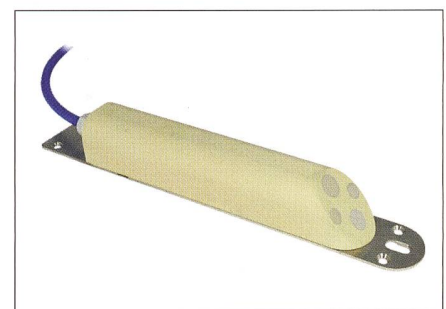


Bild 2: Sensor des Konzentrationsmesssystems (Foto: Nivus GmbH).

Das System kann bis zu einer maximalen Schwebstoffkonzentration von 6000 mg/l kalibrationsfrei messen. Konzentrationen > 6000 mg/l werden zwar erkannt, können jedoch auf Grund der dann eintretenden Mehrfachstreuung nicht mehr genau ermittelt werden. Somit kann bei Schwebstoffkonzentrationen > 6000 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 µm, 63–100 µm, 100–200 µm, 200–400 µm und 400–1000 µm.

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 Wasserefassung im Gerinne des Gebirgsbaches Saaser Vispa installiert (Bild 1). Damit kann bei Überschreitung eines Schwellenwertes von 4000 bis 6000 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

Vorteile des Systems:

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

auf die Messung. Im 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 bis 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 Wasserkraftwerks Stalden mitein-

bezogen. In diesem Zeitraum kam es zu 14 Ereignissen mit einer Schwebstoffkonzentration > 4000 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 mit einer Zu- und Abnahme der Schwebstoffkonzentration einhergehen (Bilder 3 und 5). Der Transport von größeren Partikeln (Feinsand und Mittelsand) nimmt dabei mit zunehmender Fliessgeschwindigkeit zu (vgl. Bilder 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. Bild 6).

Am 25. August wurden über einen Zeitraum von ca. 41 Minuten Sedimentkonzentrationen deutlich über 6000 mg/l ge-

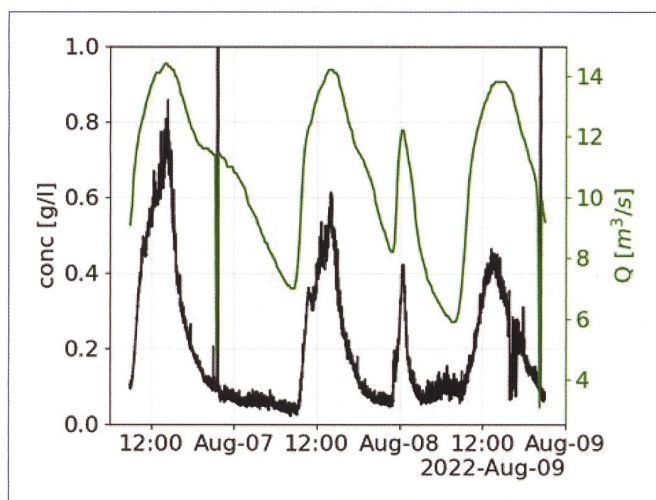


Bild 3: Tagesverlauf bei hohem Durchfluss.

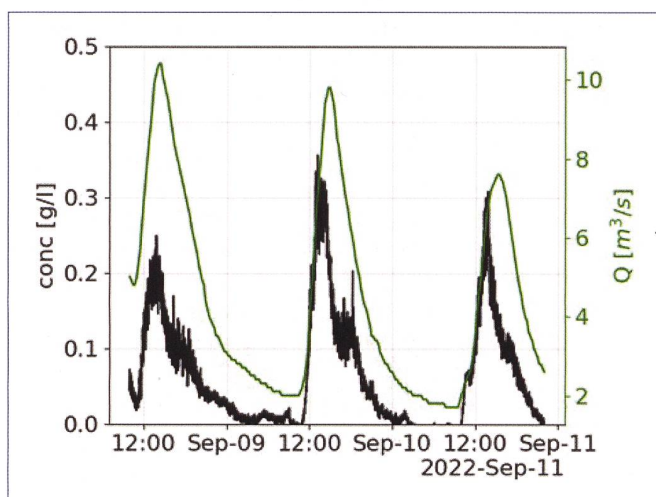


Bild 4: Grössenklassenverteilung bei hohem Durchfluss.

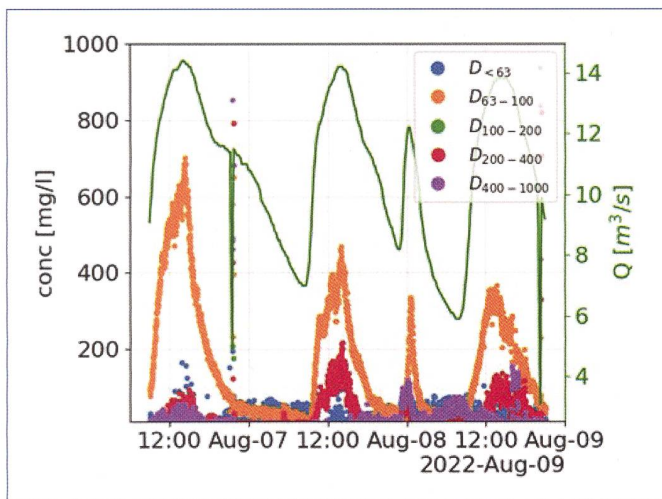


Bild 5:
Tagesverlauf
bei niedrigem
Durchfluss.

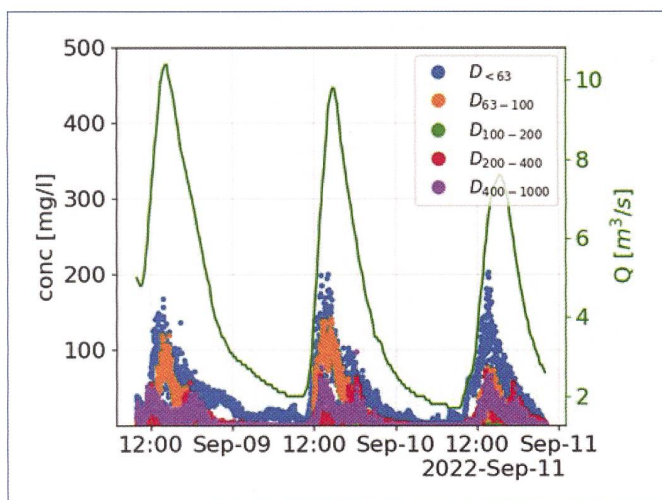


Bild 6: Grössen-
klassenverteilung
bei niedrigem
Durchfluss.

messen (Bild 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 ($>6000 \text{ mg/l}$) gehandelt hat. Eine nähere Betrachtung der Partikelgrössenverteilung für dieses Ereignis (Bild 9) zeigt die zeitliche Abfolge der einzelnen Grössenklassen, beginnend mit Silt, gefolgt von Feinsand bis $100 \mu\text{m}$, geringe Konzentra-

tionen von Fein- und Mittelsand bis $400 \mu\text{m}$ und ein in Relation grosser Anteil von Sand bis $1000 \mu\text{m}$. Diese Aneinanderreihung der einzelnen Grössenklassen und auch die Unterrepräsentation der Grössenklassen bis $200 \mu\text{m}$ und $400 \mu\text{m}$ ist in allen Ereignissen wiederzufinden. Davon abweichend wurde am 27. August für Grössenklasse bis $400 \mu\text{m}$ ein Fraktionsanteil von 20 Prozent und bis $200 \mu\text{m}$ von immerhin 6 Prozent detektiert.

Diese Abfolge der Grössenfraktionsanteile innerhalb eines Ereignisses steht im Gegensatz zu den Beobachtungen einer langjährigen Studie zum hydro-abrasiven Verschleiss an Peltonturbinen im Kraftwerk Fieschertal (ca. 40km Luftlinie von Saas-Fee entfernt). In dieser Studie wurde der d_{50} -Parameter der Grössensummenverteilungskurve bestimmt. Die Ergebnisse aus dieser Studie zeigten, dass der d_{50} -Wert zu Beginn der Ereignisse (ansteigender Ast der Konzentrationsganglinie) höher war als bei Ereignisende (absteigender Ast der Konzentrationsganglinie, vgl. Bild 7). Der Grund hierfür ist, dass für diese Studie die Messsysteme nach dem Speicherstollen installiert waren. Dadurch wird die Schweb-

stoffkonzentration durch Absetz- und Resuspensionsprozesse bei unterschiedlichen Wasserständen während des Betriebes des Speicherstollens beeinflusst (Felix, 2017).

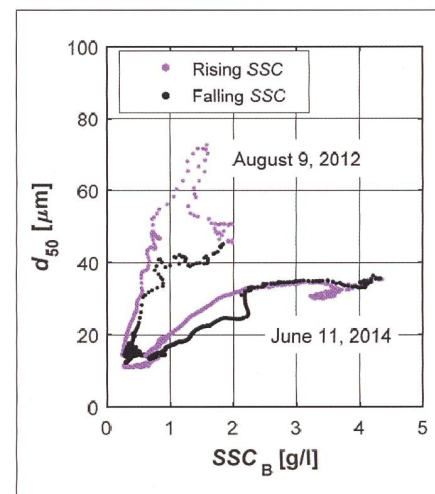


Bild 7: Verteilung d_{50} -Wert während der Ereignisse im Fieschertal (Felix, 2017).

In den Ganglinien der Konzentrationsergebnisse ist zusätzlich (z.B. Bild 3) ein periodisches Ereignis mit starkem, pulsartigem 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 $>200 \mu\text{m}$, welche sich zuvor vor der Wasserfassung abgesetzt hatten (vgl. Bild 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 ($<200 \mu\text{m}$) 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 (Abgottspon et al., 2016). Inwieweit die grossen Mengen Sand ($>400 \mu\text{m}$), wie bei dem Ereignis am 25. August aufgetreten (Bild 9), durch den

Anwendungsmöglichkeiten des Systems:

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

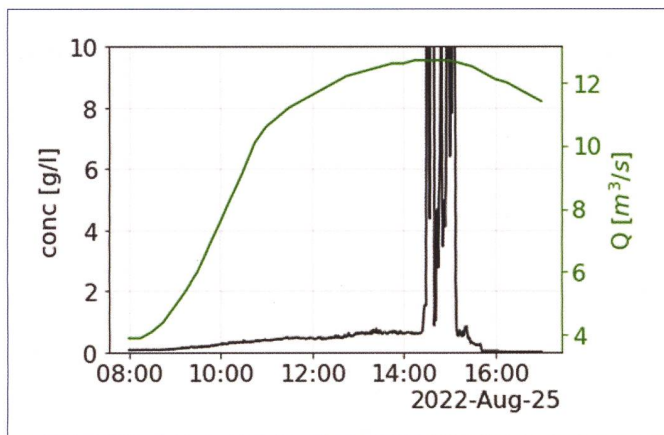


Bild 8:
Konzentrations-
ereignis
25. August.

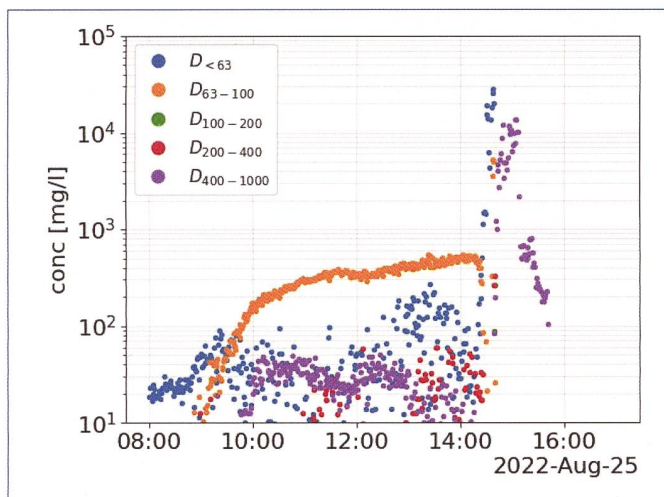


Bild 9:
Grössenklassen-
auflösung des
Konzentrations-
ereignisses
25. August.

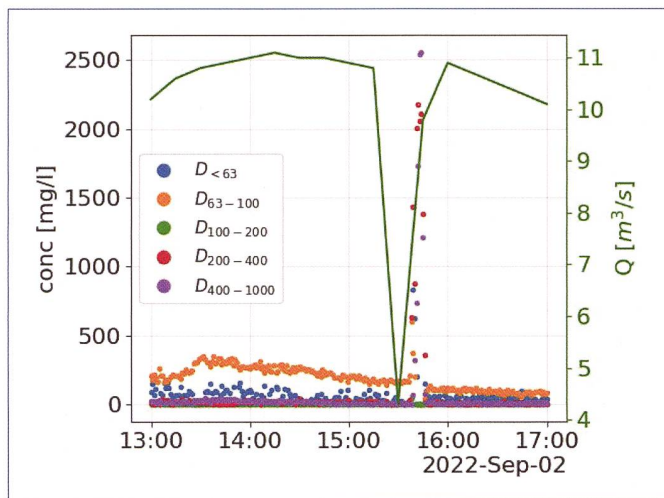


Bild 10: Grössen-
klassenverteilung
einer Spülung am
2. September.

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 des Entsanderbeckens, beim Überlauf zum Druckstollen, installieren. Auf diese Weise wird zum einen die tatsächliche Schwebstoffkonzentration und -grössenverteilung des turbinierten Wassers erfasst, welche letztendlich zu hydro-abrasivem Verschleiss an den Turbinen führt. Zum anderen erhält die Kraftwerke Mattmark AG damit Informationen über das Absetzverhalten im Becken bei unterschiedlichen Zuflussmengen.

Quellen:

Abgottspon, A., Felix, D., Boes, R., Staubli, T. (2016): Schwebstoffe, hydro-abrasiver Verschleiss und Wirkungsgradänderungen an Peltonturbinen – Ein Forschungsprojekt am KW Fieschertal. Wasser Energie Luft, 108. Jahrgang, Heft 1: 9–24.
Abgottspon, A., Felix, D., Staubli, T., Boes, R. (2022): Betriebs- und Unterhaltungsoptimierung von beschichteten Peltonturbinen mit hydro-abrasivem 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.

Autoren:

Sebastian Scheffler, Nivus GmbH, Im Täle 2, 75031 Eppingen/DE
Dr. Amorom Kibrom, Nivus GmbH, Im Täle 2, 75031 Eppingen/DE