

Messungen von Strömungsfeld und suspendierten Sedimenten an Entsandern von Wasserkraftanlagen

Christopher Paschmann, João Fernandes, David F. Vetsch und Robert Boes

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die Messung von Strömungsfeld und suspendierten Sedimenten an drei schweizerischen Entsandern von Wasserkraftanlagen vorgestellt. Die untersuchten Anlagen weisen verschiedene Geometrien sowie Zu- und Auslaufbedingungen auf. Die Messungen wurden derart konzipiert, dass Fließgeschwindigkeiten und Schwebstoffkonzentration (SSC) in den Absetzbecken der Anlagen aufgezeichnet bzw. charakterisiert werden konnten. Die Messtechnik umfasste *Acoustic Doppler Velocimeter* (ADV) und Trübungssonden. Für die zeitlich und örtlich auf die ADV-Messungen abgestimmte Wasserprobenentnahme an zahlreichen Beckenpositionen wurde eine mobile Pumpe eingesetzt. Von den Wasserproben wurde im Labor die gravimetrische SSC und Korngrößenverteilung der suspendierten Partikel bestimmt. Es wurden lineare Korrelationen zwischen Trübung und Schwebstoffkonzentration erstellt. Zur Charakterisierung anlagenspezifischer Absetzmuster wurden ergänzende Proben der abgesetzten Sedimente entnommen und ebenfalls hinsichtlich Korngrößenverteilung untersucht.

Jede der untersuchten Anlagen weist im ersten Beckendrittel ausgeprägt inhomogene Strömungsverhältnisse auf. Dies ist einerseits auf die nicht homogene Zuströmung zum Becken, andererseits auf die vorhandenen Beruhigungsrechen zurückzuführen. Erst in den letzten Messquerschnitten lassen sich gleichmässige Strömungsverhältnisse über den Fließquerschnitt feststellen. Für eine der Anlagen konnte aufgrund der geringen absoluten SSC und deren kleiner Varianz keine zufriedenstellende Korrelation von Trübung und SSC gefunden werden. In den anderen Fällen ermöglichten belastbare Korrelationen die Berechnung von querschnittweisen Sedimentmassenströmen. Diese erlauben vereinfachte Abschätzungen zum anlagenspezifischen Transport suspendierter Sedimente. Der verwendete Messaufbau erwies sich als geeignet zur Messung der Fließgeschwindigkeiten und SSC an Entsandern. Es konnten dadurch wertvolle anlagenspezifische Erkenntnisse zum Strömungsbild und zum Transport suspendierter Sedimente gewonnen werden.

1 Einleitung

Der Betrieb alpiner Mittel- und Hochdruckwasserkraftanlagen kann Turbinen- und Stahlwasserbauteile aufgrund mineralischer Feststoffe im Triebwasser hydro-abrasivem Verschleiss aussetzen, was zur Minderung des Wirkungsgrads führen kann (Padhy *et al.*, 2011, Winkler *et al.*, 2011). Die mit dem Klimawandel einhergehende Gletscherschmelze in der Schweiz (Paul *et al.*, 2013) führt dazu, dass künftig ein erhöhter Feststoffeintrag in die für Wasserkrafterzeugung genutzten Gewässer mit glazialen Einzugsgebiet zu erwarten ist (Zepp, 2013 bzw. Haeberli *et al.*, 2013). Zur Reduzierung mineralischer Feststoffe im Triebwasser werden Entsander eingesetzt, in welchen die Strömung beruhigt und damit das Absetzen der suspendierten Sedimente begünstigt wird. An der Beckensohle angeordnete Spülsysteme dienen zum Entfernen der Sedimente aus der Anlage.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes soll ein Ansatz zur Verbesserung der Absetzleistung von Entsandern entwickelt werden. Das Optimierungspotential wird basierend auf einem hybri-

den Ansatz aus Feldmessungen und numerischer Simulation der Fliess- und Absetzvorgänge untersucht. Die Feldmessdaten dienen der Kalibrierung und Validierung des verwendeten numerischen Modells.

Im vorliegenden Beitrag werden die Haupteigenschaften der an drei schweizerischen Entsandern durchgeführten Feldmesskampagne dargelegt. Die untersuchten Anlagen weisen verschiedene Geometrien sowie Zu- und Auslaufbedingungen auf. Die Messungen wurden derart konzipiert, dass Fliessgeschwindigkeiten und Schwebstoffkonzentration (SSC, *Suspended Sediment Concentration*) in den Absetzbecken der Anlagen aufgezeichnet bzw. charakterisiert werden konnten. Das Messraster bestand aus durchschnittlich 600 Einzelpunkten pro Anlage. Zudem wurden Wasser- und Sedimentproben entnommen und hinsichtlich SSC bzw. Korngrößenverteilung im Labor ausgewertet.

An jeder der Anlagen betrug die Dauer zur Aufzeichnung der Messdaten maximal fünf Tage. Für diesen Zeitraum wurde jeweils angenommen, dass:

- das Strömungsbild innerhalb des Entsanders konstant ist, solange eine Beaufschlagung mit der Ausbauwassermenge vorliegt;
- die mineralogische Zusammensetzung, die Form und die Korngrößenverteilung der auftretenden Sedimentpartikel konstant sind, falls kein aussergewöhnliches Abflussereignis auftritt.

2 Feldmesskampagne

2.1 Kurzbeschreibung Prototypen

Alle drei untersuchten Entsander befinden sich im Kanton *Wallis* in der Schweiz. Die Wasserauffassung besteht jeweils aus einer seitlichen Entnahme an einem Stauwehr. Das gefasste Wasser wird über einen Zulaufkanal im Freispiegelabfluss zu den Absetzbecken geleitet. Die Linienführung der Zulaufkanäle unterscheidet sich deutlich voneinander. Zwischen Zulaufkanal und Becken befindet sich ein Übergangsbereich, welcher mit unterschiedlichen Beruhigungsrechen ausgestattet ist. Es wurde jeweils das orografisch linke Becken der Entsander untersucht.

Abb. 1 zeigt eine Übersicht des Beckenbereichs der jeweiligen Anlage, dessen Querschnittsgeometrie sowie ein Luftbild der Entsander. In Tab. 1 sind die Ausbauwassermenge, die Beckenabmessungen, die über den gesamten Messzeitraum gemittelte Fliesstiefe, die Linienführung des Zulaufkanals sowie die eingebauten Beruhigungsrechen für jeden der untersuchten Entsander aufgelistet.

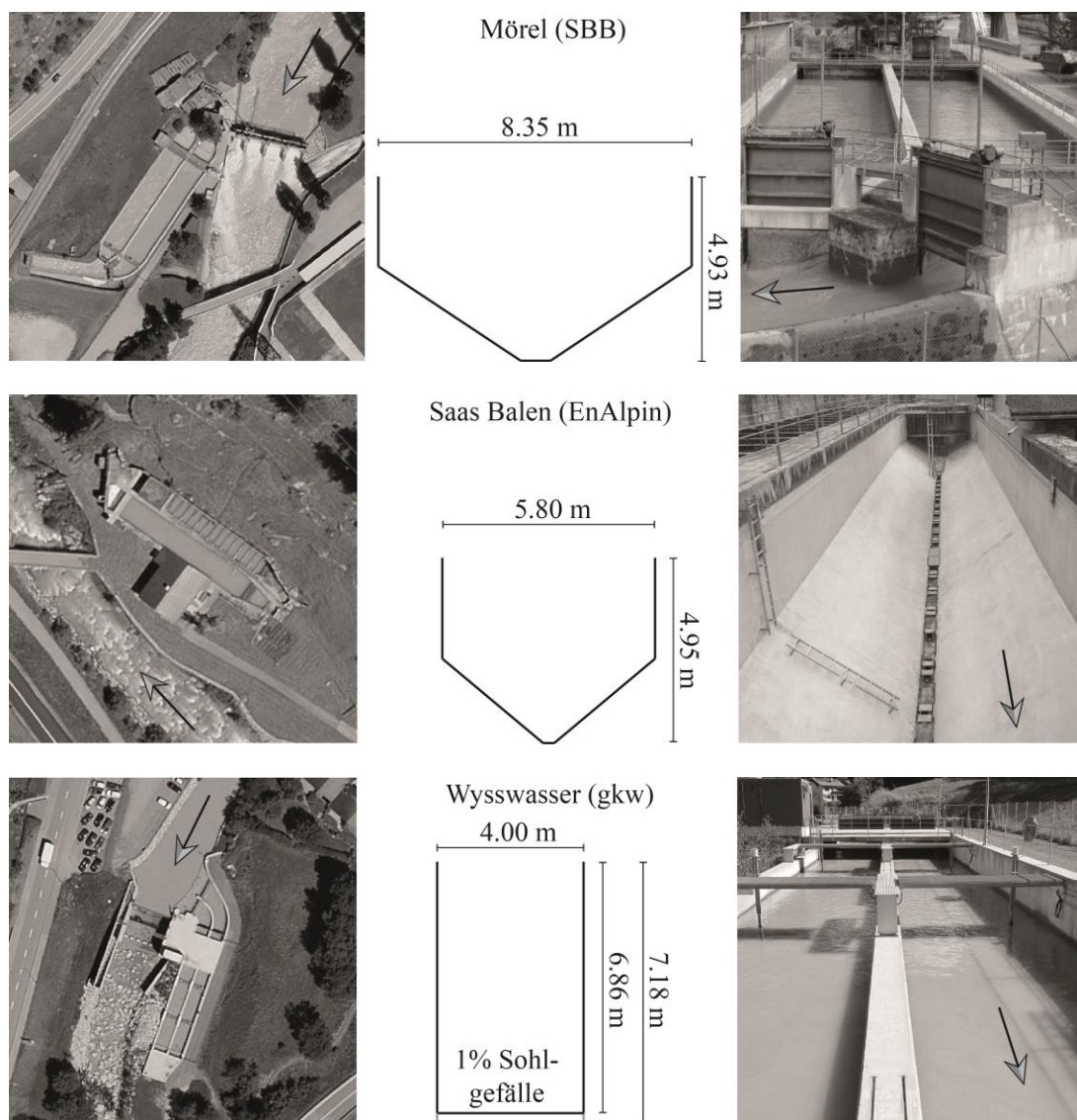


Abb. 1 Anlagen-Luftbild (*links*), Querschnittsgeometrie des Beckenbereichs (*Mitte*) und Beckenansicht (*rechts*); Pfeile zeigen Fließrichtung. Reproduziert mit Einwilligung von swisstopo (JA100120).

Tab. 1 Übersicht zu Ausbauwassermenge, Abmessungen des Beckens, Fliesstiefe, Linienführung des Zulaufkanals und eingebauten Beruhigungsrechen der untersuchten Anlagen

Entsander	Q_A	L	B	h_m	l_s	Zulaufkanal	Rechen
[-]	[m^3/s]	[m]	[m]	[m]	[%]	[-]	[-]
Mörel	10.8	43.0	8.35	4.11	-	leichte LK, $L_{abg} \approx 12$ m	grob (vier Reihen), fein (eine Reihe)
Saas Balen	2.2	35.0	5.80	4.32	-	gestreckt u. leichte LK $L_{abg} \approx 68$ m	grob (drei Reihen)
Wysswasser	5.0	32.0	4.00	5.08	1.0	starke RK, $L_{abg} \approx 18$ m	grob (drei Reihen)
<p>Q_A: Ausbauwassermenge; L: Beckenlänge; B: Beckenbreite; h_m: mittlere Fliesstiefe im gesamten Messzeitraum; l_s: Sohlgefälle in Längsrichtung; L_{abg}: abgewinkelte Länge; LK: Linkskurve; RK: Rechtskurve</p>							

2.2 Messaufbau und Messtechnik

An den untersuchten Entsandern wurde ein modulares Traversensystem für die Messtechnik verwendet (Abb. 2). Dieses bestand im Grundsatz aus einem Horizontalträger, einem Rollwagen und einer motorisierten, vertikalen Lineareinheit. Dieser Aufbau ermöglichte es, die Messtechnik in Längs- (x) und Querrichtung (y), sowie über die Tiefe (z) der Becken zu bewegen.

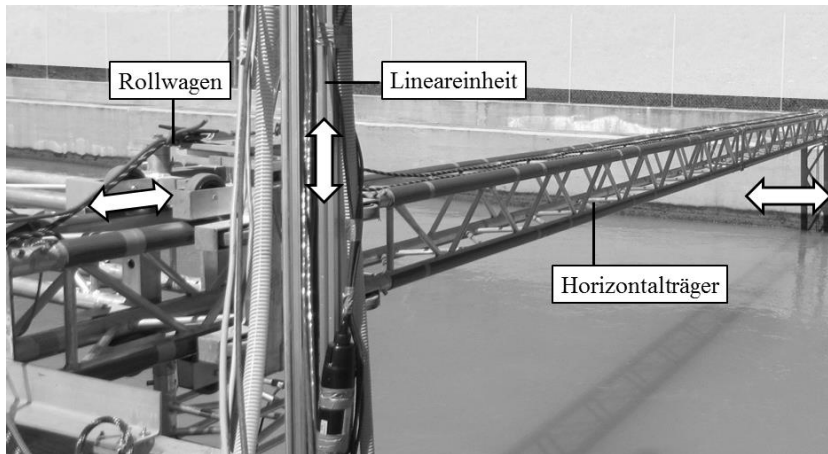


Abb. 2 Modulares Traversensystem für die Messtechnik. Pfeile zeigen die möglichen Bewegungsrichtungen. Quelle: VAW

Es wurden vier *Nortek Vectrino+* ADV-Sonden (*Acoustic Doppler Velocimeter*) mit seitwärts gerichtetem Sondenkopf für die Messung der Fließgeschwindigkeiten verwendet. Diese wurden in gleichem Abstand untereinander auf der Lineareinheit befestigt. Zusätzlich wurde ein Trichter auf gleicher Höhe wie die unterste ADV-Sonde an der Lineareinheit befestigt. Dieser wurde mit einem Saugschlauch und einer mobilen Kleinpumpe verbunden. Dieser Aufbau ermöglichte die Inline-Trübungsmessung mit einer *CUS52D* Trübungssonde von *Endress+Hauser*. Durch Anpassung der Querschnittsfläche des Trichters wurde eine quasi-isokinetische Wasserprobenentnahme ermöglicht. Ein Radar diente der Wassertiefenmessung.

Zudem wurden – je nach untersuchtem Entsander – im Zulaufkanal und am Beckenauslauf zwei zusätzliche Trübungssonden *CUS52D* sowie ein automatischer Wasserprobennehmer *3700 Full-Size Portable Sampler* von *Teledyne Isco* installiert. Abbildung Abb. 3 zeigt eine zusammenfassende, schematische Übersicht des Messaufbaus.

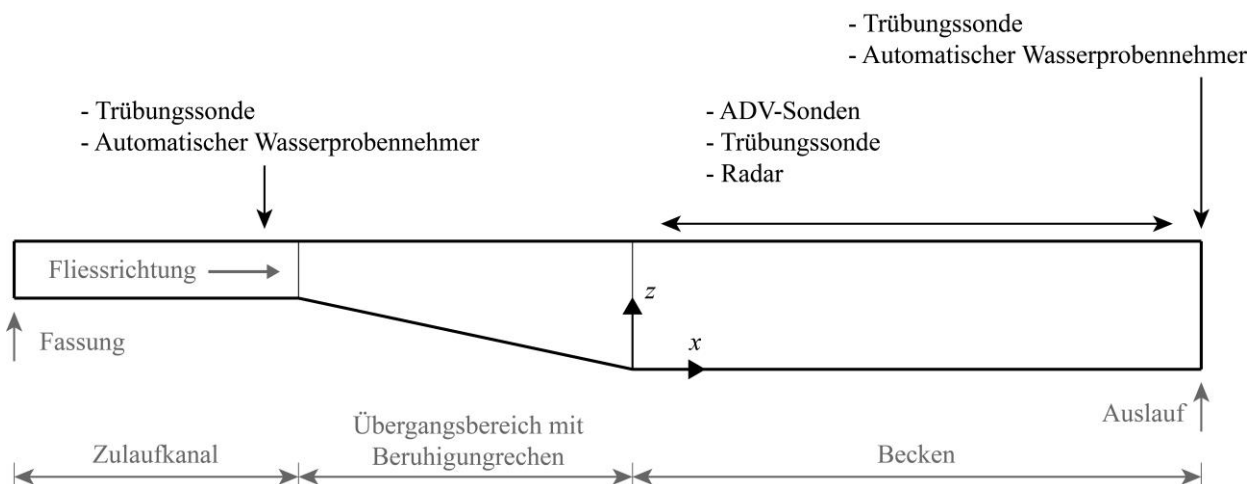


Abb. 3 Schematische Übersicht des verwendeten Messaufbaus.

2.2.1 Messroutine

Innerhalb des Beckens wurden Messquerschnitte im Abstand von wenigen Metern realisiert. Jeder Messquerschnitt umfasste durchschnittlich ca. 70 Einzelmesspunkte der Fließgeschwindigkeit. An 25% der Messpunkte wurde zusätzlich die Trübung gemessen. An den Seitenwänden sowie der Sohle der Becken konnten je nach örtlichen Gegebenheiten und aufgrund des verwendeten Traversensystems Bereiche von einigen Dezimetern Breite nicht mit Messungen abgedeckt werden.

Die Messdauer an jedem Messpunkt wurde zu 90 s gewählt. Für die ADV-Sonden, die Trübungssonde und das Radar wurde eine Aufzeichnungsfrequenz von 100 Hz gewählt. Die Wasserproben wurden in verschiedenen Fliesstiefen entlang der Mittelachse der Becken entnommen und anschliessend zur Verhinderung von Algenwachstum kühl und dunkel gelagert. Zusätzlich wurde die Trübung während der gesamten Dauer der Messkampagne im Zulaufkanal sowie im Beckenauslauf aufgezeichnet.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemein

Die ADV-Daten wurden zur Bestimmung der gemittelten Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung in jedem Messpunkt verwendet. Die Längskoordinate x wurde jeweils mit der Beckenlänge L zu $X = x/L$, die lokale Fließgeschwindigkeit mit der mittleren Beckenfließgeschwindigkeit normiert. Die gemessene Trübung (Messgrösse FNU, *Formazine Nephelometric Units*) wurde mit der im Labor bestimmten gravimetrischen SSC der entnommenen Wasserproben linear korreliert. Zur Beurteilung der Korrelationsgüte wurde das Bestimmtheitsmass R^2 verwendet. Für die verschiedenen Messpositionen (Zulaufkanal, Becken und Auslauf) und Entsander wurden Korrelationen mit unterschiedlicher Güte gefunden. Abb. 4 stellt am Beispiel des Beckenbereichs des Entsanders *Saas Balen* eine der durchgeführten Korrelationen dar. Der funktionale Zusammenhang erlaubt die Abschätzung der SSC basierend auf der gemessenen Trübung.

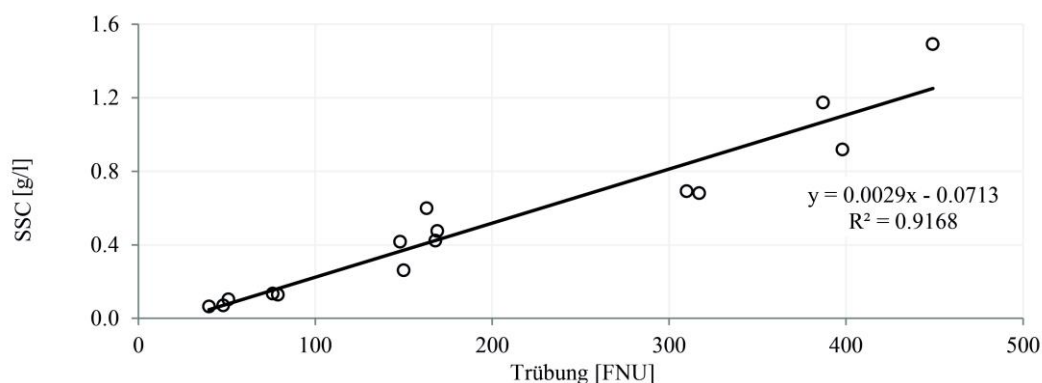


Abb. 4. Exemplarische Darstellung einer durchgeführten linearen Korrelation von gemessener Trübung und SSC am Beispiel des Beckenbereichs des Entsanders *Saas Balen*.

Die Sedimentmassenströme F_s wurden als Produkt der berechneten SSC und des vorliegenden Abflusses bestimmt. Für den Beckenbereich wurde dazu jedem realisierten Messpunkt eine Teilfließfläche zugeordnet und der entsprechende Teilabfluss als Produkt von Teilfließfläche und gemessener Fließgeschwindigkeit in Längsrichtung berechnet. Der querschnittweise Sedimentmassenstrom $F_{s,x}$ ergibt sich als Summe der auf diese Weise ermittelten Teilmas-

senströme. Zur Ermittlung des im Zulaufkanal vorliegenden Sedimentmassenstroms $F_{s, \text{ein}}$ wurde die dort gemessene SSC mit dem augenblicklichen Abfluss multipliziert.

Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse der Messkampagne zum Strömungsbild und zum Massenstrom suspendierter Sedimente präsentiert. Zusätzliche und ergänzende Ergebnisse können Paschmann *et al.* (2016) entnommen werden.

3.1.1 Mörel

Die Linkskrümmung des Zulaufkanals wirkt sich deutlich auf die Fliessgeschwindigkeitsverteilung im ersten Drittel des Beckens aus (Abb. 5). Orografisch links stellen sich tendenziell verringerte, orografisch rechts erhöhte Fliessgeschwindigkeiten ein. Allerdings konnten dort während der Messungen zudem Rückströmungen an der Wasseroberfläche festgestellt werden, welche andeutungsweise in den Messdaten zu erkennen sind. Im weiteren Verlauf des Beckens wird das Strömungsbild zunehmend homogener und die Fliessgeschwindigkeiten schwanken innerhalb des Fliessquerschnitts um ca. $\pm 20\%$ um die mittlere Beckenfliessgeschwindigkeit.

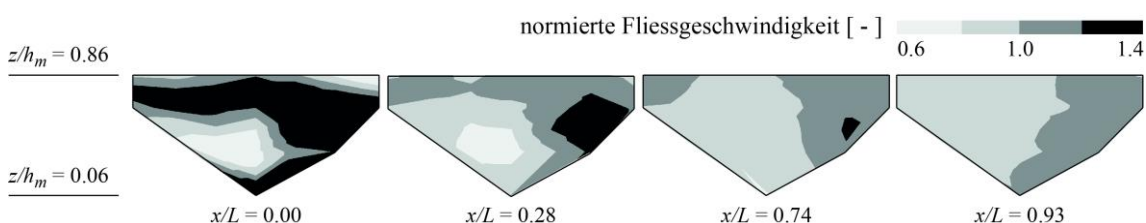


Abb. 5 Strömungsverhältnisse in ausgewählten Messquerschnitten der Anlage *Mörel*. Fliessgeschwindigkeit normiert mit mittlerer Beckenfliessgeschwindigkeit. Blick in Fliessrichtung.

Aufgrund der während des Messzeitraums sehr geringen und zudem quasi konstanten SSC (≈ 0.1 g/l) konnten keine brauchbaren Korrelationen von Trübung und SSC gefunden werden.

3.1.2 Saas Balen

Das Strömungsbild wird stark durch die vorhandenen Beruhigungsrechen geprägt (Abb. 6). In den Zwischenräumen zwischen Beckenrand und äusserstem Rechenstab, bzw. zwischen Beckensohle und den Stabenden ist die Strömung stark beschleunigt. Dahingegen ist der Bereich im Strömungsschatten der Rechen durch sehr geringe Fliessgeschwindigkeiten gekennzeichnet, bereichsweise stellen sich Rückströmungen ein.

Auf den ersten zwei Dritteln der Beckenlänge lassen sich erhöhte Fliessgeschwindigkeiten im unteren Bereich des Fliessquerschnitts und am orografisch linken Beckenrand feststellen. Das Strömungsbild ist deutlich inhomogen. Erst im letzten Drittel des Beckens wird die Strömung gleichmässiger, so dass nahezu im gesamten Fliessquerschnitt eine homogene Verteilung vorliegt.

Abb. 7 zeigt die mit zum jeweiligen Zeitraum der Messung im Zulaufkanal vorliegenden normierten querschnittswisen Sedimentmassenströme $F_{s,x} / F_{s,\text{ein}}$ und den querschnittswisen Median des Korndurchmessers d_{50} an der Anlage *Saas Balen*. Die Normierung verdeutlicht, dass sich ca. 30% der suspendierten Sedimente oberstrom $X = 0$ und damit im Übergangsbereich absetzen. Während im Bereich $X = 0.26 - 0.51$ eine Zunahme der Massenströme festgestellt werden kann (hierauf wird im Rahmen der Schlussfolgerungen näher eingegangen), ist der Bereich $X = 0.69 - 0.94$ durch eine deutliche Reduktion auf ca. $0.5 F_{s,\text{ein}}$ geprägt. Diese

Beobachtung deckt sich mit dem Vorliegen eines zunehmend gleichmässigeren Strömungsbildes im letzten Beckendrittel.

Die im Übergangsbereich und am Beckenende entnommenen Sedimentproben zeigen eine Reduktion von d_{50} von 367 auf 121 μm . Darauf basierend kann eine Verfeinerung der vorliegenden Korndurchmesser gefolgert werden, welche einer der beabsichtigten Effekte eines Entsanders entspricht.

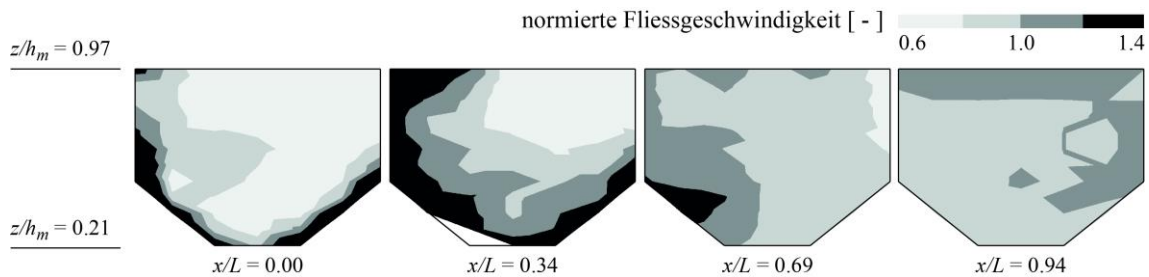


Abb. 6 Strömungsverhältnisse in ausgewählten Messquerschnitten der Anlage *Saas Balen*. Fließgeschwindigkeit normiert mit mittlerer Beckenfließgeschwindigkeit. Blick in Fließrichtung.

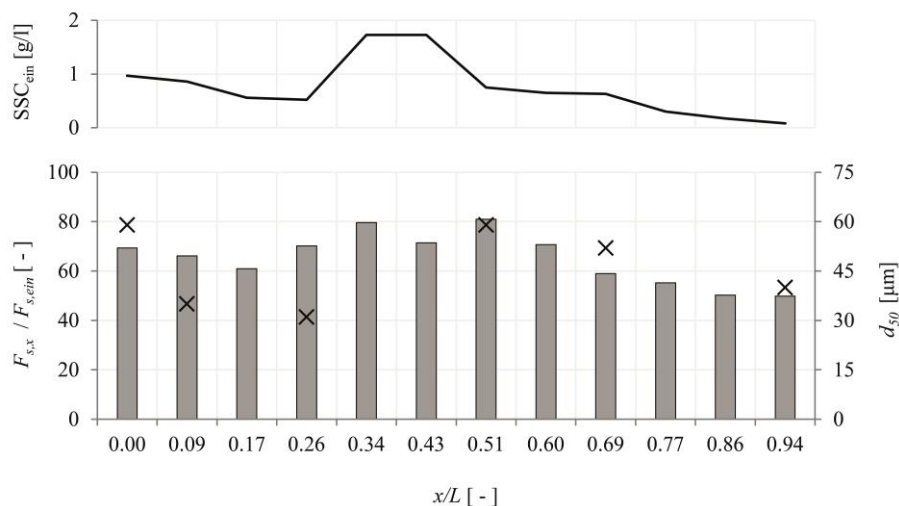


Abb. 7 Normierte querschnittsweise Sedimentmassenströme $F_{s,x} / F_{s,ein}$ (Balken), Median des Korndurchmessers d_{50} der suspendierten Partikel (Kreuze) und jeweils mittlere SSC im Einlauf (Linie), *Saas Balen*.

3.1.3 Wysswasser

Der erste realisierte Messquerschnitt befindet sich aufgrund der örtlichen Gegebenheiten einige Meter nach dem Ende des Übergangsbereichs. Ein möglicher Einfluss des gekrümmten Zulaufkanals auf das Strömungsbild im Becken ist nicht auszumachen (Abb. 8). Es lässt sich generell eine fast gleichmässige Strömung über die Beckenbreite feststellen.

Allerdings weist das Strömungsbild im unteren Messbereich ausgeprägt höhere Fließgeschwindigkeiten auf. Ein Grund dafür ist möglicherweise die Geometrie des Übergangsbereichs, welcher nicht als kontinuierliche Aufweitung in der Tiefe, sondern als kurze Rampe mit anschließender Sohlstufe ausgebildet ist. Eine weitere Ursache könnten die kurz vor der Stufe verbauten Beruhigungsrechen darstellen, an welchen zwischen Stabenden und Sohle ein deutlicher Zwischenraum von bis zu mehreren Dezimetern vorzufinden ist. Ähnlich zu der Anlage *Saas Balen* wird die Strömung in diesem Zwischenraum stark beschleunigt, während sie hinter

den Rechen deutlich verlangsamt ist. Der Effekt dieser Zuströmbedingung zeigt sich nahezu im gesamten Beckenbereich der Anlage.

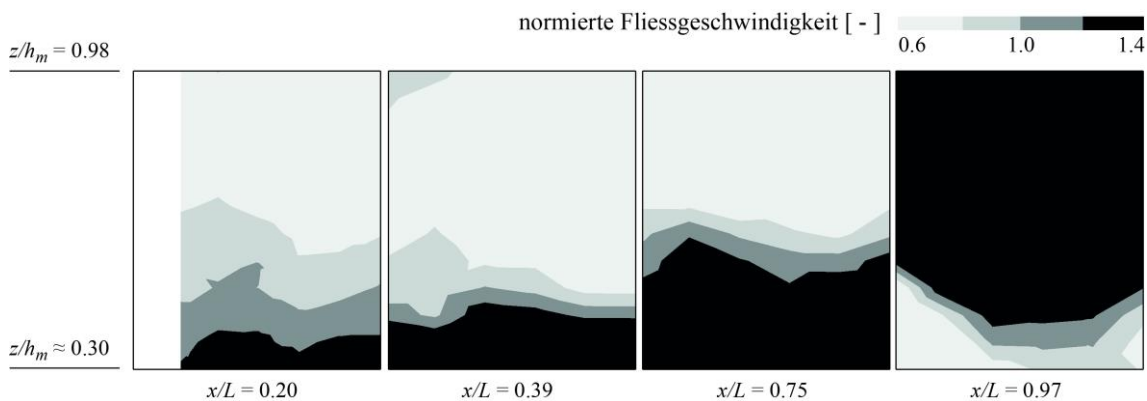


Abb. 8 Strömungsverhältnisse in ausgewählten Messquerschnitten der Anlage Wysswasser. Fließgeschwindigkeit normiert mit mittlerer Beckenfließgeschwindigkeit. Blick in Fließrichtung.

Im letzten Viertel des Beckens lassen sich veränderte Strömungsverhältnisse feststellen, welche auf das Wehr am Beckenende zurückzuführen sind. In den oberen ca. 50% des Fließquerschnitts stellen sich hohe, stark nach oben gerichtete Fließgeschwindigkeiten ein, während im unteren Messbereich sehr niedrige Fließgeschwindigkeiten und Rückströmungen vorliegen.

Die in Abb. 9 analog zu Abb. 7 dargestellten normierten Sedimentmassenströme nehmen bis einschliesslich $X = 0.28$ um ca. $0.1 F_{s, \text{ein}}$ ab. Dahingegen lassen sich im Bereich $X = 0.39 - 0.66$ deutlich über dem Niveau im Zulaufkanal liegende Massenströme feststellen. Hierauf wird im Rahmen der Schlussfolgerungen näher eingegangen. Zwischen $X = 0.75$ und dem Beckenende nimmt $F_{s,x} / F_{s, \text{ein}}$ geringfügig auf etwas weniger als 90% ab. Die Auswertung der an Position $X = 0.20$ und 0.91 entnommenen Sedimentproben zeigt eine Reduktion von $2'405$ auf $165 \mu\text{m}$ bzgl. des Medians des Korndurchmessers. Bei $X = 0.72$ konnte eine Zunahme auf $370 \mu\text{m}$ festgestellt werden.

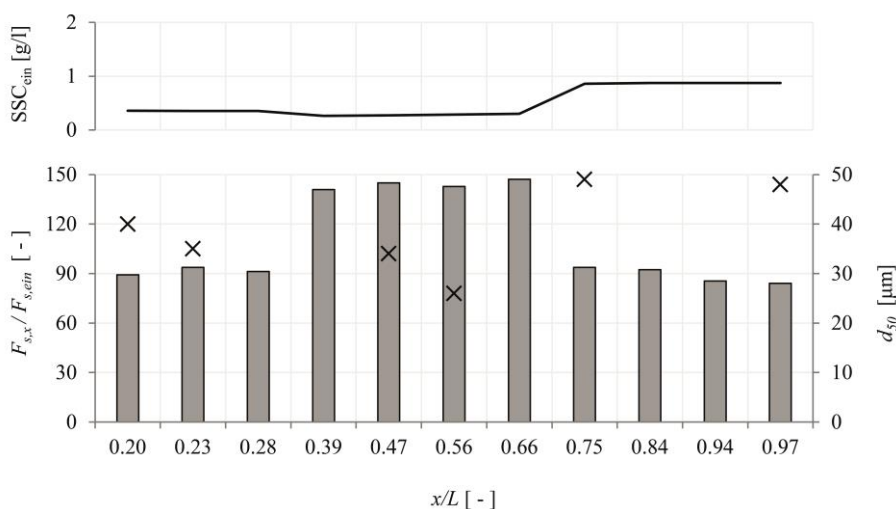


Abb. 9 Normierte querschnittsweise Sedimentmassenströme $F_{s,x} / F_{s, \text{ein}}$ (Balken), Median des Korndurchmessers d_{50} der suspendierten Partikel (Kreuze) und jeweils mittlere SSC im Einlauf (Linie), Wysswasser.

4 Schlussfolgerungen

Das Strömungsfeld und die suspendierten Sedimente konnten erfolgreich unter Einsatz verschiedener Messtechnik an drei Entsandern gemessen werden. Die eingesetzten ADV-Sonden zeigten sich für die zeitlich und räumlich hochaufgelöste Aufzeichnung von Fliessgeschwindigkeiten als sehr geeignet. Das realisierte Messraster erlaubt einen wertvollen Einblick in die anlagenspezifischen Strömungsfelder. Beispielsweise konnte der Einfluss der Beruhigungsrechen auf das Strömungsbild der Anlage *Saas Balen* deutlich identifiziert werden. Grosse Bereiche des Beckens weisen Strömungsinhomogenitäten auf, was sich vermutlich negativ auf das Absetzen von suspendierten Partikeln auswirkt.

Die Kombination von Trübungsmessung und umfangreicher Wasserprobenanalyse erlaubt es, lineare Korrelationen mit hohen Bestimmtheitsmassen zur Abschätzung der Schwebstoffkonzentration basierend auf gemessener Trübung zu erstellen. Allerdings sind dabei die natürlich vorliegenden Bedingungen wie Schwebstoffcharakteristik und Konzentrationsspektrum zum Zeitpunkt der Messungen von grosser Bedeutung (vgl. Entsander *Moere*).

Die Bestimmung der Korngrössenverteilung der suspendierten Partikel zahlreicher Wasserproben sowie von entnommenen Sedimentproben ermöglicht Rückschlüsse auf das Partikelabsetzen sowie auf zu erwartende Ablagerungsmuster an der Beckensohle. Zudem konnte die mit Entsandern unter anderem angestrebte Reduktion der mittleren Korngrösse beobachtet werden.

Basierend auf den aus den Korrelationen errechneten Schwebstoffkonzentrationen konnte durch einen Vergleich des in einer Anlage eintretenden und aus der Anlage austretenden Massenstroms die abgesetzte Sedimentmasse überschlagen werden. Andererseits konnten die querschnittswisen Sedimentmassenströme bestimmt werden. Anhand dieser können vereinfachte Rückschlüsse auf das Absetzmuster im Becken gezogen werden. Am Entsander *Wysswasser* wurden Messquerschnitte mit Sedimentmassenströmen grösser denen im Zulaufkanal festgestellt, was ein Hinweis auf Resuspension bereits abgesetzter Partikel sein könnte. Am Entsander *Saas Balen* wurde eine Zunahme des Sedimentmassenströms zwischen benachbarten Querschnitten ermittelt. Hier wird das Niveau des Sedimentmassenströms im Zulauf hingegen nicht überschritten. Dies könnte auf eine veränderte Korngrössenerteilung während der Messung an den entsprechenden Messquerschnitten zurückzuführen sei, welche möglicherweise mit der festgestellten Zunahme der mittleren SSC im Zulaufkanal einherging.

Prinzipiell ist zudem zu beachten, dass die berechneten Sedimentmassenströme vereinfachte Abschätzungen darstellen. Die Lage des tiefsten Trübungsmesspunktes befindet sich je nach Anlage einige Dezimeter oberhalb der Sohle. Unterhalb dieser Höhe transportierte Partikel wurden folglich nicht aufgezeichnet.

5 Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wird finanziell durch den *Schweizerischen Nationalfonds* (NFP70, Nr. 153861) und technisch von den *Schweizerischen Bundesbahnen (Mörel)*, *EnAlpin (Saas Balen)* und der *Gommerkraftwerke AG (Wysswasser)* unterstützt und ist in das *Swiss Competence Center for Energy Research - Supply of Electricity* (SCCER-SoE) eingebettet.

Literatur

- Padhy, M.K.; Saini, R.P. (2011). Study of silt erosion on performance of a Pelton turbine, *Energy*, 36(1), 141-147.
- Winkler, K.; Dekumbis, R.; Rentschler, M.; Parkinson, E.; Garcin, H. (2011). Understanding hydro-abrasive erosion, *Proc. Hydro 2011 – Practical solutions for a sustainable future*, Prag.
- Paul, F.; Bauder, A.; Marty, C.; Nötzli, J. (2013). Schnee, Gletscher und Permafrost 2011/2012 – Kyrosphärenbericht der Schweizer Alpen, *Die Alpen*, 89, 52-59.
- Zepp, H. (2013). *Geomorphologie – Eine Einführung*, 6. Aufl., UTB GmbH, Stuttgart.
- Haeberli, W.; Bütler, M.; Huggel, C.; Müller, H.; Schleiss, A. (2013). Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken, *Forschungsbericht des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61*.
- Ortmanns, C. (2006). Entsander an Wasserkraftanlagen, *VAW-Mitteilung 193* (ed. H.-E. Minor), VAW, ETH Zürich.
- Paschmann, C.; Fernandes J.N.; Vetsch, D.F.; Boes, R.M. (2016). Flow field and sediment flux measurements at alpine desanding facilities, *Proc. 13th International Symposium on River Sedimentation 2016*, Stuttgart (*eingereicht*).

Anschrift der Verfasser

Christopher Paschmann
 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
 Hönggerberggring 26, CH-8093 Zürich
 paschmann@vaw.baug.ethz.ch

Dr. João N. Fernandes
 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
 Hönggerberggring 26, CH-8093 Zürich
 fernandes@vaw.baug.ethz.ch

Dr. David F. Vetsch
 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
 Hönggerberggring 26, CH-8093 Zürich
 vetsch@vaw.baug.ethz.ch

Prof. Dr. Robert M. Boes
 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
 Hönggerberggring 26, CH-8093 Zürich
 boes@vaw.baug.ethz.ch