



SEDIMENTDYNAMIK-STUDIE SPÖL

Abschlussbericht

30.01.2014

eQcharta GmbH

Überlandstrasse 129

8600 Dübendorf

+41 58 765 5030

Michael Döring, Christian Hossli

ZUSAMMENFASSUNG

Die Wasserkraftnutzung mittels Stauhaltung beeinflusst die Sedimentdynamik und die damit verbundenen Prozesse flussabwärts. Durch die Regulierung der Restwassermenge sind natürliche dynamische Prozesse während des Jahres nicht mehr oder nur noch begrenzt möglich. Am Spöl wurde ein experimentelles Restwasserkonzept umgesetzt, welches künstliche Flutungen verwendet um die Dynamik im System zu erhalten.

Im Zuge dieses Restwassermanagements war das erste Ziel dieser Studie, die Korngrößenverteilung zwischen Punt dal Gall und dem Zufluss Ova il Fuorn entlang des Spöls zu erheben. Die insgesamt 42 Proben (Linienzahlanalyse) zeigten einen durchschnittlichen Korngrössendurchmesser d_m von **3.9 cm** und einen d_{90} von **11.1 cm** (d.h. 90% der Körner hatte einen geringeren Durchmesser als 11.1 cm). Durch die erhaltene Korngrößenverteilung wurde es möglich den Einfluss der verschiedenen grossen Schuttkegel entlang dieser Strecke auf die Sedimentdynamik des Spöls zu untersuchen. Es zeigte sich, dass bei 7 von 11 untersuchten Schuttkegeln der d_m **nach dem Kegel kleiner war als flussaufwärts vor dem Kegel**, was darauf hinweist, dass die **Schuttkegel hauptsächlich feineres Material in den Fluss einbringen**.

Als zweites wurden mögliche Erosions- oder Depositionsprozesse entlang dieses Abschnitts, über den Zeitraum von 6 Jahren, untersucht. Hierfür wurden die Höhenmodelle aus den Jahren 2003 und 2009 verglichen. Dieser Vergleich zeigte einen **durchschnittlichen Höhenunterschied von -1.78 m zwischen 2003 und 2009**, was insgesamt auf einen Verlust von Material, **Erosion**, hindeutet. Zusätzlich wurde die totale Massenbilanz berechnet, welche ebenfalls auf einen Sedimentverlust des Systems hindeutet. Es finden sich aber auch Teile mit **Deposition**: v.a. im untersten Teil, vor Ova Spin, wurde viel Material abgelagert, aber auch im obersten Teil in der Flussmitte findet man kleine isolierte Depositionsbereiche. Dort entstanden während dieser 6 Jahre **neue Kiesbänke**.

Finales Ziel dieser Studie war schliesslich die Erstellung eines eindimensionalen Sedimenttransport-Modells für diesen Abschnitt des Spöls. Das kalibrierte Modell konnte die voran gegangenen Beobachtungen und Ergebnisse reproduzieren, was die Feststellung unterstrich, dass das Flussbett in letzter Zeit eher erodiert als aggregiert ist. Steady-state und transient-case Simulationen zeigten, dass der Spöl **im Minimum 5 m³/s Abfluss braucht um überhaupt sedimentdynamische Prozesse auszulösen, bei Flutungen mit 10-30 m³/s wird hauptsächlich Sediment bewegt**. Bei Flutungen mit über 30 m³/s stellen sich kaum noch positive Effekte ein (z.B. Bildung von neuen Kiesbänken, Pools etc.), es wird lediglich noch mehr Material aus dem System ausgewaschen. Bei einer durchschnittlichen Flutung mit einem Maximum von 30-40 m³/s, würden in etwa 1000 m³ Sediment aus dem System ausgewaschen. Dieser Wert liefert einen Anhaltspunkt zur Berechnung der Sedimentdeposition im Reservoir Ova Spin.

1 AUFGABEN, ZIELE

1. Ermittlung der Korngrössentverteilung entlang des 6 km langen Abschnitts zwischen Punt dal Gall und dem Zufluss Ova il Fuorn
 - ➔ Quantifizierung des Einflusses der verschiedenen grossen Schuttkegel entlang dieser Strecke auf die Sedimentdynamik des Spöls
2. Untersuchung von möglichen Erosions- oder Depositionsprozessen (über den Zeitraum von 6 Jahren, 2003-2009)
3. Erstellung eines eindimensionalen Sedimenttransport-Modells für diesen Abschnitt des Spöls
 - ➔ Minimaler Abfluss um sedimentdynamische Prozesse auszulösen
 - ➔ Optimale Wassermenge einer Flutung, betreffend Sedimentdynamik

2 METHODIK

2.1 Untersuchungsgebiet und -datum

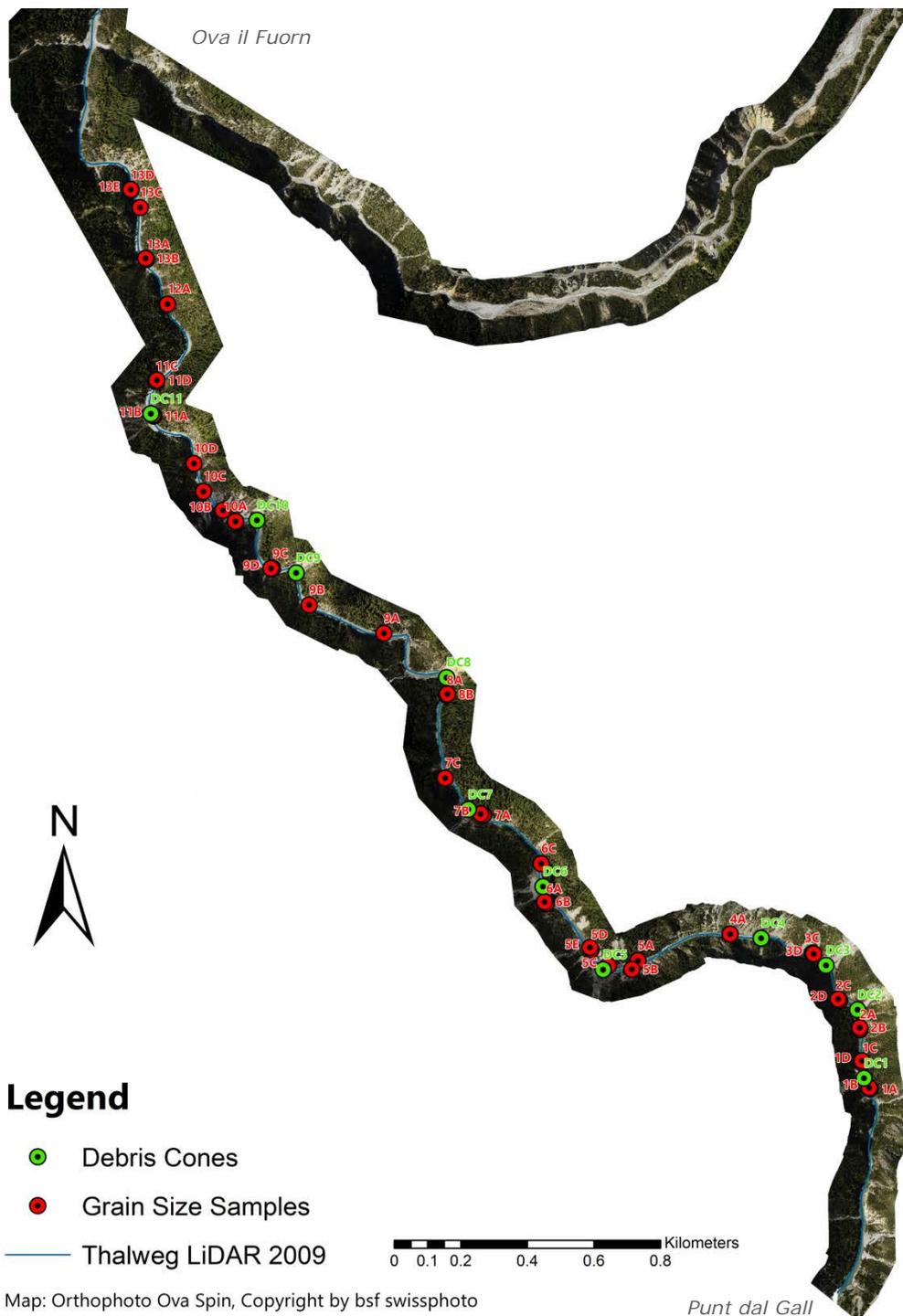


Fig. 1 Untersuchungsgebiet (Karte: Orthophoto Ova Spin, © bsf swissphoto)

Untersucht wurde der Flussabschnitt vom Staudamm Punt dal Gall bis zum Zufluss Ova il Fuorn, insgesamt ca. 6 km lang. Es wurden alle zugänglichen Kiesbänke mindestens 1x beprobt, was in 42 Proben resultierte.

Aufgenommen wurden die Daten am 16.-18. Oktober 2013.

2.2 Datenerhebung

Die Korngrößenverteilung entlang dieses Abschnitts wurde mittels der Linienzahl-Methode im Feld aufgenommen. Hierbei wurden auf den Kiesbänken entlang des Spöls jeweils mindestens 150 Steine vermessen (b-Achse) und daraus dann der d_m (durchschnittlicher Korngrösse) und d_{90} (90% der beprobten Körner sind kleiner als dieser Durchmesser) berechnet. Anschliessend wurden diese Werte für Kiesbänke vor und nach Schuttkegeln miteinander verglichen um zu sehen ob und wenn ja wie sie sich durch diese Kegel verändern.

Für die Untersuchung möglicher Erosions- bzw. Depositionsprozesse wurden die Höhenmodelle (DTM-AV, LiDAR 2009 SNP) aus den Jahren 2003 und 2009 verglichen. Dabei wurden zum einen die Thalwege (niedrigste Punkte entlang eines Flussverlaufs) verglichen, es wurden aber auch die Veränderungen des gesamten Flussbetts untersucht mittels DEM-Subtraktion. Diese Daten über Höhenveränderungen resp. Erosions- und Depositionsmuster wurden mit ArcGIS verarbeitet und räumlich dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass sich die beiden Höhenmodelle in Auflösung und Genauigkeit unterscheiden, was Auswirkungen auf die Analyse hat.

Für die Erstellung des eindimensionalen Sedimenttransport-Modells (uniforme Fliessgeschwindigkeit und Sedimentverteilung in jedem Abschnitt) wurde die Software Basement V2.3 (entwickelt von der VAW, ETH Zürich) und das darin enthaltene Modul BASEchain benutzt.

Für eine detaillierte Beschreibung der Methoden, siehe Arbeit von Matthias Pfäffli.

eQcharta war zuständig für die Feldaufnahme, die Berechnung der Korngrößenverteilung, die Untersuchung des Einflusses von Schuttkegeln auf die Sedimentverteilung sowie möglicher Erosions- bzw. Depositionsprozesse entlang dieses Abschnitts des Spöls. Zusätzlich wurde im Rahmen einer Projektarbeit an der ETH Zürich (von Matthias Pfäffli) aus diesen Daten ein 1D-Modell für den Sedimenttransport erstellt (in Zusammenarbeit mit der VAW, eQcharta und der EAWAG).

3 RESULTATE

3.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung entlang des untersuchten 6 km langen Abschnitts sieht wie folgt aus:

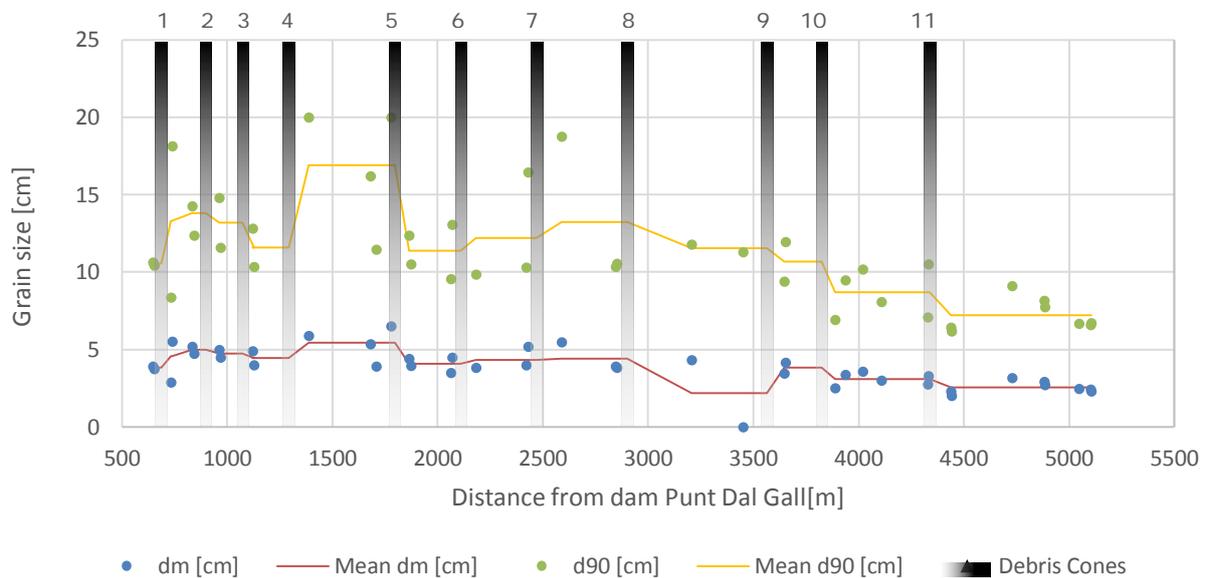


Fig. 2 Korngrößenverteilung entlang des Flussabschnitts resultierend aus Linienzahlproben. Die Punkte beschreiben die einzelnen Probewerte, die Linien stehen für den durchschnittl. Wert der ersten Probe nach einem Schuttkegel bis zum nächsten Kegel. Die Kegel sind durch die schwarzen Balken dargestellt (siehe auch Tab. 1).

Anhand Figur 2 sieht man, dass sich die Korngrößenverteilung nach jedem Schuttkegel ändert. In 7 von 11 Fällen steigt der Anteil an feinerem Material nach einem Schuttkegel an (d_m wird kleiner, siehe Tab. 1), was darauf hindeutet, dass Schuttkegel die Korngrößenverteilung des Spöls beeinflussen, indem sie vorwiegend feineres Material einbringen.

Tabelle 1 Relative Veränderung der durchschnittlichen Korngrösse d_m nach jedem Schuttkegel

Schuttkegel Veränderung [%]

1	19.2
2	-6.3
3	-7.7
4	25.2
5	-34.2
6	6.5
7	1.4
8	-8.6
9	-6.2
10	-18.9
11	-14.0

3.2 Erosions- bzw. Depositionsmuster

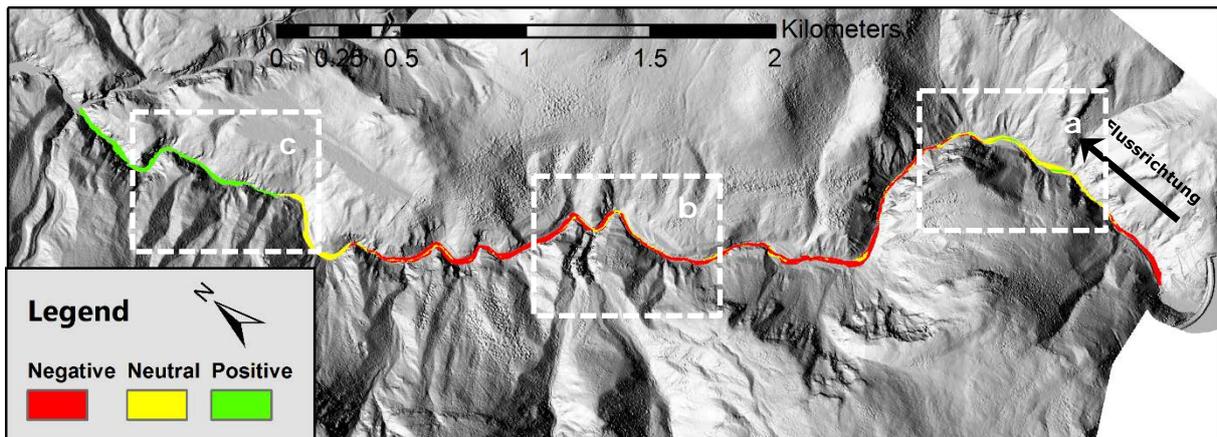


Fig. 3 Höhenveränderungen des untersuchten Flussabschnitts zwischen 2003 und 2009. Rot = Erosion, gelb = keine Veränderung, grün = Deposition (Karten: LiDAR 2009 © bfs swissphoto, DMT-AV © Swisstopo). Für Close-ups der verschiedenen Teile siehe Fig. 4.

Oben (Fig. 3) sieht man eine Übersichtskarte des untersuchten Flussabschnitts mit eingezeichneten Höhenunterschieden zwischen den Höhenmodellen von 2003 und 2009. Rot bezeichnet Abschnitte mit Erosion, während grün für Abschnitte mit Depositionsprozessen steht (gelb = neutral, keine Veränderung). Es ist klar ersichtlich, dass im oberen und mittleren Teil über die 6 Jahre tendentiell Material erodiert ist (siehe Fig 4a und 4b), welches sich anschliessend im untersten Teil wieder abgelagert hat (Fig 4c).

Schaut man sich den oberen Teil (Fig. 4a) genauer an, so findet man isolierte, grüne Abschnitte (Deposition) in der Mitte des Flussbetts. Dies deutet darauf hin, dass sich über diese 6 Jahre in der Mitte des Flusses neue Kiesbänke entwickelt haben.

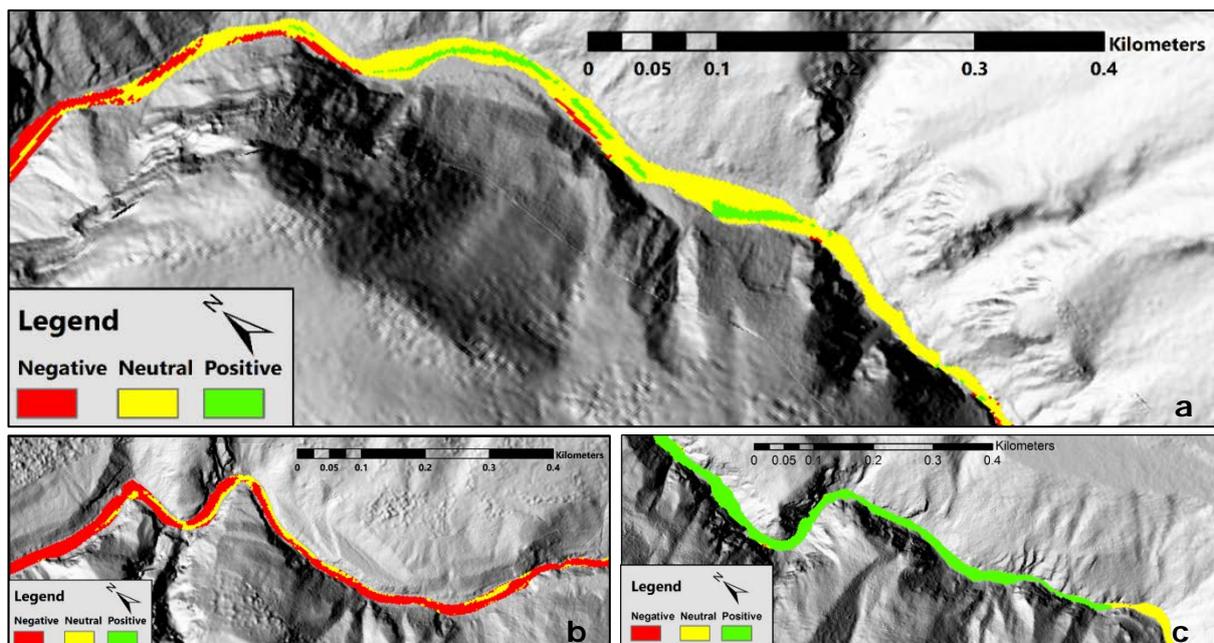
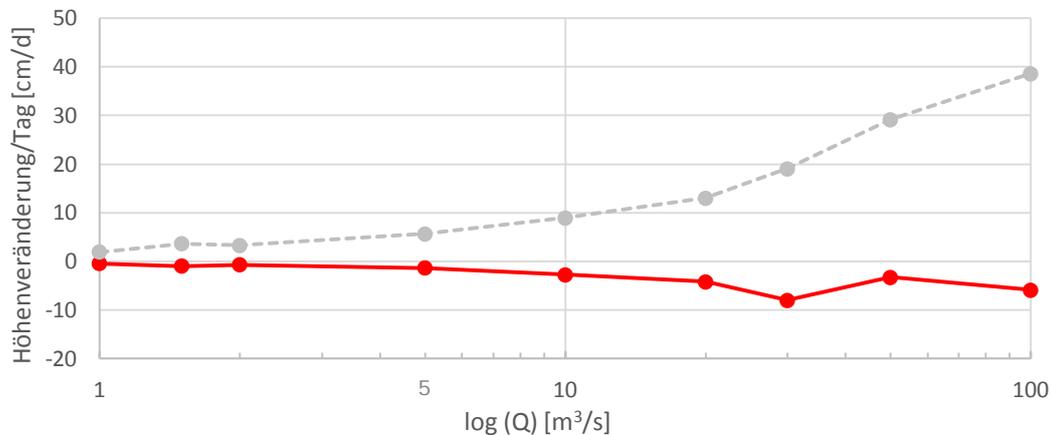


Fig. 4 Close-ups der Höhenveränderungen des Untersuchungsgebiets zwischen 2003 und 2009. Rot = Erosion, gelb = keine Veränderung, grün = Deposition (Karten: LiDAR 2009 © bfs swissphoto, DMT-AV © Swisstopo).

3.3 1D-Modell

Steady-state (konstante Abflussmengen pro simuliertes Ereigniss)



Transient-case (Variable Abflussmengen pro simuliertes Ereignis entlang eines Hydrographen der Flutungen)

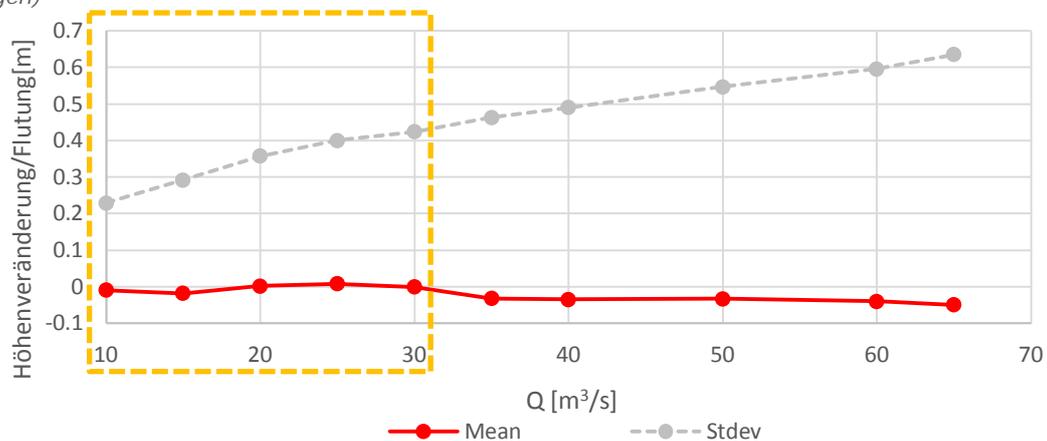


Fig. 5 Durchschnittliche Höhenveränderung pro Tag (Mean, rot) und Standardabweichung für einen stationären (steady-state) Abfluss (oben), sowie für verschiedene Flutungsmengen (unten). Q = Abfluss.

Anhand der Resultate aus den steady-state Simulationen kann man sagen, dass unter „normalen“ Bedingungen bis zu einem Abfluss (Q) von $\sim 5 \text{ m}^3/\text{s}$ so gut wie kein Sedimenttransport einsetzt (siehe Fig. 5, oben), das Flussbett bleibt grösstenteils stabil. Ab $5 \text{ m}^3/\text{s}$ setzen leichte Erosionsprozesse ein (der durchschnittl. Höhenunterschied „Mean“, rot, wird negativ).

Aus den transient-case Simulationen für gelegentliche Flutungen sieht man, dass bei Flutungsmengen von $10\text{-}30 \text{ m}^3/\text{s}$ Sedimenttransport stattfindet (siehe Fig. 5, unten, oranges Rechteck). Künstliche Flutungen mit über $30 \text{ m}^3/\text{s}$ scheinen keinen positiven Effekt auf die Sedimentdynamik des Spöls zu haben, wie z.B. die Bildung von neuen Kiesbänken, Pools oder ähnlichem, sie waschen bloss mehr Material aus dem System aus. Bei einer Flutung mit einem Maximum von $30\text{-}40 \text{ m}^3/\text{s}$ werden ca. 1000 m^3 Sediment aus dem System gewaschen bzw. im Reservoir Ova Spin abgelagert.

Grundsätzlich gilt zu beachten, dass es sich bei diesen Werten um Resultate aus einem 1D Modell handelt. Das bedeutet, dass alle Werte jeweils über die ganze Strecke des modellierten Abschnitts gemittelt werden. Beispielsweise wird angenommen, dass der Abfluss über die gesamte Strecke konstant gleich ist – was natürlich nicht mit der Realität übereinstimmt. Um solche lokalen Effekte (wie z.B. Rückflüsse) miteinbeziehen zu können, wäre die Erstellung eines 2D-Modells nötig. Hierfür wäre dann allerdings auch ein besseres Höhenmodell Voraussetzung, eines das bei niedrigem Abfluss aufgenommen wurde.

4 AUSBLICK

Korngrößenverteilung, Einfluss von Schuttkegeln

Für weitere Untersuchungen wäre es interessant die Erosion der Schuttkegel über eine längere Zeit zu beobachten, insbesondere vor, während und nach einer Flutung. Desweiteren könnten zusätzliche Parameter wie die Steigung, die Topographie des Kanals (Verengungen, Aufweitungen) oder spezielle Fließbedingungen (Rückflüsse, hydraulische Sprünge etc.) mitberücksichtigt werden. Eine Möglichkeit hierzu wäre die Aufnahme weiterer Geländemodelle oder 3D Oberflächenberechnung über Fotos (image matching), um die Volumina der einzelnen Schuttkegel zu verschiedenen Zeitpunkten, vor und nach einer Flutung, zu erfassen. Darüber hinaus sollte der Sedimenteintrag über die seitlichen Zuflüsse im Spöl untersucht werden.

Vergleichen von Höhenmodellen, Erosions- bzw. Depositionsmuster,

Beide Höhenmodelle (DTM-AV und LiDAR) zeigen Unterschiede in ihrer Auflösung und Höhengenaugigkeit. Essentiell für weitere Studien wäre allerdings, dass sie jeweils zu ähnlichen Bedingungen (niedriger Abfluss, keine Schneebedeckung) und gleichen Genauigkeiten geflogen wurden, ansonsten ist es schwierig Vergleiche zu ziehen. Ausserdem sollte wenn möglich parallel ein Orthophoto aufgenommen worden sein, um die Oberflächenbeschaffenheit zu verifizieren. Betreffend der generellen Erosionstendenz dieses Gebiets wäre es evtl. interessant zu untersuchen, wie sich das auf das Reservoir Ova Spin auswirkt (Reservoirmanagement).

Modellierung

Als nächster Schritt in der Modellierung sollte die Erstellung eines 2D-Modells in Betracht gezogen werden. Hiermit könnte man dann lokale Begebenheiten wie Rückflüsse, Aufweitungen oder ähnliches miteinbeziehen. Ausserdem sollte man dann die Zuflüsse, zumindest die wichtigsten (Val d'Acqua und Ova il Fuorn), dem Modell hinzufügen. Damit würde sich die Aussagekraft deutlich erhöhen und man könnte dann z.B. sagen ab welchem Abfluss welche Gesteinsfraktionen wo bewegt werden. Generell wären regelmässige(re) Messungen sehr hilfreich um

die Modelle besser kalibrieren zu können (die Zeitspanne für die Kalibration sollte nicht Jahre, wie im Fall der Höhenmodelle, sondern eher ein Flutungsevent oder eine lange Periode von niedrigem Abfluss sein) und, wie bereits erwähnt, als Grundlage ein solides Höhenmodell, dass während Niedrigwasser aufgenommen wurde.

Auswirkungen auf die Ökologie

Die vorliegenden Daten über die Sedimentdynamik am Spöl erlauben es gezielt ökologische Studien hinsichtlich der Auswirkungen von Erosion und Depositionsmustern auf Habitatbedingungen, Lebensgemeinschaften (Makrozoobenthos, Fische etc.), Prozesse (z. B. Respiration) oder den Wasser-austausch zwischen Oberfläche und Sediment zu untersuchen. Beispielsweise ob und wie sich die Artenzusammensetzungen zwischen mittlerem Teil (vorwiegend Erosion) und unterem Teil (vorwiegend Deposition) unterscheiden.