Störfall vom 30. März 2013 bei der Stauamauer Punt da Gall

Autor(en): **De Cesare, Giovanni / Altnekirch, Nora / Schleiss, Anton**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **107 (2015)**

Heft 1

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-941831

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Störfall vom 30. März 2013 bei der Staumauer Punt dal Gall

Giovanni De Cesare, Nora Altenkirch, Anton Schleiss, Michael Roth, Peter Molinari, Marcel Michel

Zusammenfassung

Am Osterwochenende 2013 kam die Restwasserdotierung im Spöl, einem Gebirgsbach im Schweizerischen Nationalpark, unerwartet zum Erliegen. Die daraufhin eingeleitete Öffnung des Grundablasses der Stauanlage Punt dal Gall der Engadiner Kraftwerken AG, (EKW), führte zwar zu einer Wiederbenetzung des Bachbettes, zeitgleich wurden aber auch enorme Mengen an Feinsedimenten in den Spöl eingetragen. Diese beiden Vorfälle im Bereich der Stauanlage führten zu einer massiven Beeinträchtigung der aquatischen Lebensgemeinschaft im Spöl.

Als unmittelbare Massnahmen wurden der Turbinenbetrieb in Ova Spin eingestellt, der ungewöhnlich tiefe Wasserstand des Stausees Livigno angehoben und der Spöl mit erhöhten und variierenden Dotierwassermengen beschickt. Zudem wurde eine Task-Force für die weitere Lagebeurteilung und unmittelbare Zustandserhebung einberufen.

Eine erste Begutachtung des Spöls zeigte, dass der Umweltunfall zu einem starken Eintrag von Feinsedimenten in das Bachbett geführt hatte. Insbesondere im oberen Drittel des betroffenen Gewässerabschnitts wurden die Benthosbesiedlung und der Fischbestand erheblich geschädigt. Ein anfänglich kommunizierter «ökologischer Gau» bzw. Totalausfall beim Fischbestand konnte allerdings nicht festgestellt werden.

Die allmähliche Erholung der Gewässerökologie konnte in den Folgeuntersuchungen vom Herbst 2013 und Frühjahr 2014 bestätigt werden. Die untersuchten Fische waren bei sehr guter Kondition, und hatten wieder die gesamte Länge des oberen Spöl besiedelt. Die Präsenz von natürlich aufkommenden Jungfischen lässt die Hoffnung zu, dass sich der Fischbestand, der derzeit bei rund 50% des Ausgangszustands liegt, in den nächsten Jahren gänzlich erholen wird.

Die EPFL in Lausanne hat die möglichen Ursachen ergründet, welche zum Umweltereignis geführt haben. Die Studie ist zum Schluss gekommen, dass der ausserordentlich tiefe Seestand, der jedoch noch 18 m über dem konzessionierten Absenkziel lag, zur Freilegung grosser Flächen an abgelagerten Sedimenten führte. Durch sogenannte Trübeströme gelangten, auch auf Grund des normalen Weiterbetriebs der Anlage, grosse Sedimentfrachten entlang des Seegrunds innerhalb kürzester Zeit bis zum Grundablass und zur Dotierfassung. Dieser Vorgang führte zu ersten, grösseren Einträgen von Feinsedimenten über die Dotiervorrichtung in den Spöl und zur zeitweisen Verstopfung derselben, ohne dass dies die installierte Abflussmessung registrierte.

Folge war die Trockenlegung des Spöls unterhalb der Staumauer. Die Feststellung dieser unzulässigen Situation führte zum Entscheid, den Grundablass zu öffnen. Aus betriebstechnischer Sicht war dieser Entscheid korrekt und notwendig, um die Sicherheit der Anlage zu garantieren, sowie die Dotiereinrichtung vom blockierenden Material wieder zu befreien. Der zuvor erwähnte weitere Austritt von Feinsedimenten in

Résumé

Le weekend de Pâques 2013, le débit résiduel dans le Spöl, le cours d'eau principal du Parc National Suisse s'est tarit soudainement. L'ouverture consécutive de la vidange de fond du barrage de Punt dal Gall des Forces Motrices d'Engadine SA EKW a permis de rétablir l'écoulement dans le lit du cours d'eau, mais a introduit en même temps de grandes quantités de sédiments fins dans le Spöl. Ces deux évènements ont provoqué une atteinte massive à la faune et la flore aquatique du Spöl en aval du barrage.

Comme mesures immédiates, le turbinage à la centrale de l'Ova Spin a été interrompu, le niveau inhabituellement bas du réservoir de Livigno a été rehaussé et le débit résiduel dans le Spöl a été augmenté et modulé. En outre, un groupe de travail a été constitué pour une évaluation plus approfondie de la situation et pour un relevé de l'état de la rivière.

Une première évaluation de l'état du Spöl a montré que l'accident écologique a conduit à un colmatage important du lit de la rivière. La faune benthique ainsi que la population piscicole ont subi des dégâts considérables particulièrement dans le tiers supérieur du tronçon de cours d'eau touché. La méga-catastrophe écologique, respectivement l'anéantissement complète de la population piscicole, initialement communiquée n'a cependant pu être constatée.

La régénération écologique progressive du système aquatique a également été confirmée dans les études ultérieures effectuées à l'automne 2013 et au printemps 2014. Les poissons examinés ont été en très bonnes conditions physiques et leur présence était confirmée sur toute la longueur du Spöl supérieur. La présence de juvéniles, émergents naturellement, permet d'espérer que la population piscicole, qui s'élève actuellement à environ 50% de l'état initial, va récupérer intégralement dans les années à venir.

L'EPFL à Lausanne a examiné les causes potentielles qui ont conduit à l'accident écologique. En conclusion, c'est le niveau d'eau exceptionnellement bas du réservoir de Livigno, toutefois encore 18 m plus haut que le niveau minimal d'exploitation selon la concession, qui a permis d'exposer des grandes surfaces de dépôts de sédiments; cela dans des conditions d'exploitation normale de l'aménagement hydroélectrique. Des courants de turbidité ont pu transporter en très peu de temps des grandes quantités de sédiments fins le long du talweg jusqu'à la vidange de fond et l'entrée de la dotation. Cette dernière déversait dans un premier temps de grandes quantités de matières fines dans le Spöl, pour ensuite s'obstruer temporairement sans que cela ait été détecté par l'instrumentation de mesure du débit en place.

Le résultat était un tarissement du Spöl en aval du barrage. Le constat de cette situation inadmissible a conduit à la décision de l'ouverture de la vidange de fond. Du point de vue technique et d'exploitation, cette décision était correcte et nécessaire afin de garantir la sécurité de l'aménagement et de libérer la

den Spöl war jedoch die Konsequenz. Folgende Massnahmen wurden definiert, um zukünftig ähnliche Ereignisse verhindern zu können:

- *Verzicht auf ein Absenken des Wasserstands im Stausee Livigno unter 1735 m ü.M.*
- *Weiterführung der bisherigen künstlichen Hochwasser*
- *Installation eines redundanten Abflussmesssystems in der Dotiereinrichtung mit kontinuierlicher Trübemessung*
- *Höhersetzung des Einlaufs zum Dotiersystem*

dotation de son obstruction. Le déversement supplémentaire de grandes quantités de matières fines dans le Spöl a été la conséquence.
Les mesures suivantes ont été définies afin d'éviter de futurs événements similaires :

- *Renonciation d'abaisser le niveau du réservoir de Livigno en-dessous de 1735 m s.m.*
- *Poursuite des lâchés de crues artificielles*
- *Installation d'un système redondant de mesure du débit avec évaluation de la turbidité en continu*
- *Surélévation de la prise d'eau de dotation*

1. Ausgangslage

Am Samstag, den 30. März 2013 ist es im Bereich der Stauanlage Punt dal Gall im Schweizerischen Nationalpark (SNP) zu einem Zwischenfall bei der Engadiner Kraftwerke AG (EKW) mit gravierenden ökologischen Folgen gekommen.

Das Dotierwasser war mit grossen Mengen von Feinsedimenten belastet, welche im Spölbett unterhalb der Staumauer abgelagert wurden und schliesslich zur Verstopfung der Dotieranlage und zum Erliegen der Restwasserabgabe führten. Die nachfolgende Öffnung des Grundablasses führte auf der Restwasserstrecke zwischen Punt dal Gall und dem Ausgleichsbecken Ova Spin im Schweizerischen Nationalpark zu einem zusätzlichen Eintrag von sehr feinen Sedimenten. Durch die hohe Sedimentfracht wurde die aquatische Lebensgemeinschaft im Spöl stark in Mitleidenschaft gezogen. Das Ereignis schlug hohe Wellen in der Öffentlichkeit.

1.1 Stausee Livigno – Staumauer Punt dal Gall

Das imposanteste EKW-Bauwerk ist ohne Zweifel die doppelt gekrümmte 130 m hohe Bogenstaumauer Punt dal Gall mit einer Kronenlänge von 540 m. Die Hälfte der Mauer und der grösste Teil des Stausees Livigno liegen auf italienischem Staatsge-

FISCHDRAMA

DIE SÜDOSTSCHWEIZ | DIENSTAG, 2. APRIL 2013 3

«Tragischer Vorfall»: Der kantonale Fischereiaufseher Nicola Gaudenz zeigt auf das fast leere Staubecken der Anlage Punt dal Gall.

Bilder Rolf Canal und Schweizerischer Nationalpark

Eine ganze Population ausgelöscht: Rund 11 000 Fische mussten ihr Leben lassen – Nationalparkdirektor Heinrich Haller ist erschüttert.

Verschlammt: Nachdem der Spöl am Samstag noch einer «dreckigen Brühe» glich, hat sich das Wasser inzwischen etwas geklärt.

«Schlimmster Fall» für Nationalpark

Bild 1. Mediendarbietung des Störfalles am Beispiel der «Südostschweiz» vom 2. April 2013.

biet. Der See erstreckt sich beim Stauziel von 1804.7 m ü.M. auf 9 km Länge im Val di Livigno gegen das Dorf Santa Maria di Livigno und auf 4.5 km Länge ins Val del Gallo und verfügt über einen Nutzinhalt von 164 Mio. m^3. Die Hauptaufgabe des Stausees ist die Speicherung der im Sommer anfallenden Wassermassen, sodass in den Wintermonaten die gespeicherten Wassermengen für die Stromproduktion genutzt werden können. Ein Dotierkraftwerk mit zwei Francis Turbinen und einer installierten Leistung von 2.4 MW am Fuss der Mauer nutzt das Restwasser vor der Rückgabe in den Unterlauf des Spöl.

Das gespeicherte Wasser des Stausees Livigno wird der Zentrale Ova Spin, die an der Luftseite der gleichnamigen Staumauer liegt, durch einen 7.6 km langen Druckstollen zugeführt. Mit den beiden Maschinengruppen, die als Turbinen wie auch als Pumpen funktionieren, können bis zu 32 m^3 Wasser pro Sekunde mit einer Gesamtleistung von rund 50 MW turbiniert bzw. gepumpt werden. Das nutzbare Gefälle beträgt je nach Seestand zwischen 105 und 205 m. Die mittlere Jahresenergieproduktion beträgt 100 GWh. Dank dem grossen Nutzvolumen und der Möglichkeit die hohen Sommerzuflüsse des Inn von Ova Spin nach Livigno zu pumpen, trägt EKW wesentlich dazu bei, im Sommer anfallende erneuerbare Energie für das Winterhalbjahr zwischenzuspeichern.

1.2 Der Spöl im Schweizerischen Nationalpark

Der Spöl ist das Hauptgewässer des Schweizerischen Nationalparks. Seine Quellbäche liegen grösstenteils auf italienischem Gebiet zwischen der Forcola di Livigno und dem Valle di Fraèle. Bei Livigno speisen der Alto Spöl und die Acqua del Gallo den 4.7 km^2 grossen Livigno-Stausee, den sie als «Oberer Spöl» durch die Dotieranlage an der Staumauer Punt dal Gall wieder verlassen. Von hier aus durchfliesst der Bach ein tief eingeschnittenes Tal bis zum EKW-Ausgleichsbecken in Ova Spin. Unterhalb der Staumauer Ova Spin verläuft der «Untere Spöl» nochmals in einer Schluchtstrecke, bevor er in Zernez in den Inn fliesst. Durch die Wasserkraftnutzung hatte der Spöl an Dynamik verloren; das gesetzliche Restwasser erlaubte es nicht mehr, Geschiebe bedeutend zu mobilisieren. Die Gewässersohle verdichtete sich durch Abpflästerung. In den 1990er-Jahren kam die Forschungskommission des Nationalparks auf die Idee, mit künstlichen Hochwassern die Ökologie des Spöls, insbesondere die Geschiebedynamik, zu verbessern. Nach einem mehrere Jahre dauernden Prozess der Annäherung zwischen der Elektrizitätswirtschaft und dem Naturschutz wurde schliesslich mit EKW vereinbart, den Spöl ab dem Jahr 2000 zwei- bis dreimal jährlich mit einer grösseren Menge des im Stausee-Livigno gespeicherten Wassers durchzuspülen (*Scheurer* und *Molinari*, 2003).

Diese künstlichen Hochwasser beleben inzwischen zwei- bis dreimal pro Jahr den Spöl und gelten gemäss Verfügung der Konzessionsbehörde aus dem Jahr 2011 als Sanierung der Wasserfassung Punt dal Gall gemäss GSchG Art. 80 ff. Seither hat der Fluss wieder die Dynamik eines Gebirgsflusses, auch die für ein alpines Gewässer typischen Lebewesen kehrten wieder zurück (*Robinson* und *Doering*, 2013). Das ökologische Vorzeigeprojekt am Spöl galt und gilt weiterhin als Paradebeispiel dafür, dass Ökologie und Wasserkraftnutzung gemeinsam möglich sind.

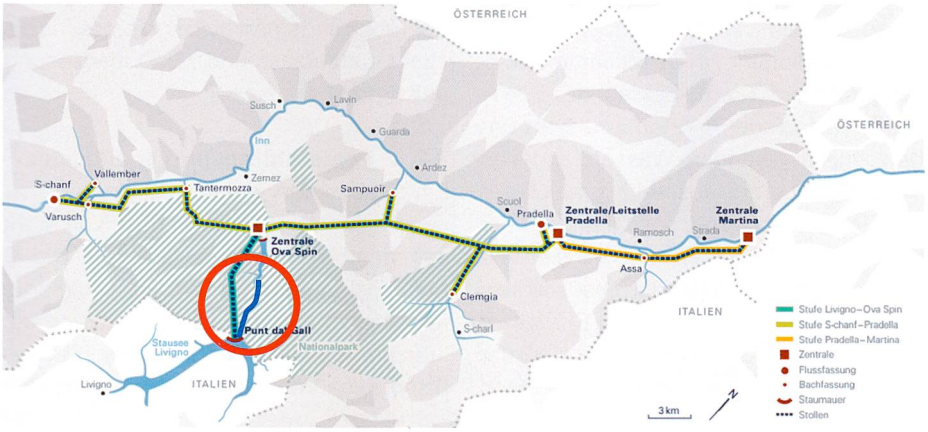

Bild 2. Übersicht der Anlagen der Engadiner Kraftwerke AG, die Restwasserstrecke des Spöls führt vom Stausee-Livigno bis zum Ausgleichsbecken Ova Spin (rot markiert) durch den Schweizerischen Nationalpark (schraffiert).

2. Zeitliche Abfolge der Vorkommnisse von Ende März 2013

In der Nacht vom 29. zum 30. März kam es zum Ausfall der Dotierwasserabgabe aus dem Stausees-Livigno bei Punt dal Gall in den Spöl. Hohe Konzentrationen von Feinsedimenten führten zur Abgabe von mit hohem Feststoffanteil belastetem Wasser in den Spöl. In Kombination mit

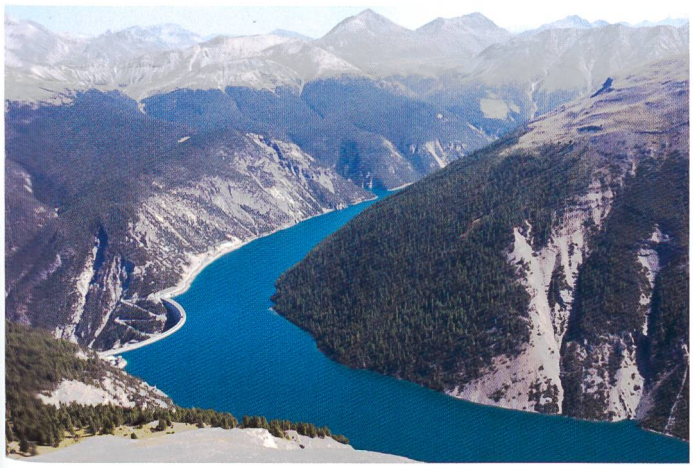

Bild 3. Luftbild des unteren Teils des Stausees-Livigno mit der Staumauer Punt dal Gall (Foto: Ruedi Haller, Schweizerischer Nationalpark).

Bild 4. Der Spöl im Schweizerischen Nationalpark, dank künstlichen Hochwassern ein relativ dynamischer Bergbach (Foto: Hans Lozza, Schweizerischer Nationalpark).

Geschwemmsel führte dies schliesslich zur zeitweiligen Verstopfung der Dotieranlage. Es konnte folgende zeitliche Abfolge belegt werden:

- 30.03.13: Vormittag: Tote Fische im BAusgleichsbecken Ova Spin
- 30.03.13: Vormittag: Nationalpark meldet, dass kein Restwasser im Spöl unterhalb Punt dal Gall fliesst
- 30.03.13: Mittag: Öffnung des Grundablasses, mit grossem Sedimentaustrag als Folge
- 31.03.13: (Ostern): Amt für Jagd und Fischerei, Nationalpark und EKW entscheiden, eine gemeinsame Medienmitteilung auszusenden
- 01.04.13: Gemeinsame Medienkonferenz

Mit der am 30.03.13 durchgeführten Öffnung des Grundablasses wurde die Anlage freigespült und somit wieder betriebsbereit gemacht. Dabei wurde allerdings zusätzlich zu den bereits über die Restwasserabgabe eingetragenen Sedimenten eine grosse Menge an Feinsedimenten in den Spöl eingebracht, was dort erhebliche Ablagerungen mit einer starken Beeinträchtigung des Gewässerökosystems verursachte. Das Zusammenspiel des Sedimentdurchganges durch die Dotiereinrichtung, deren Ausfallen und die nachfolgende Öffnung des Grundablasses wurde in den Medien als «Öko-Unfall am Stausee Punt dal Gall» bezeichnet.

Die Abflussmessung in der Dotiereinrichtung erfolgte kontinuierlich nach dem Venturi-Prinzip, was dem Stand der Technik entspricht. Diese Messtechnik zeigte nach der Verstopfung der Dotiereinrichtung weiterhin einen «Abfluss» in der vorgegebenen Grössenordnung an, sodass der Ausfall des Dotiersystems in der Leitzentrale nicht ohne Weiteres bemerkt werden konnte.

Die weitere Bewältigung des Ereignisses kann wie folgt zusammengefasst werden (Task-Force Spöl, 2014):

- Bildung einer Task-Force Spöl (Behörden, Nationalpark, Forschung und EKW)
- Ökologische Schadensaufnahme im Spöl
- Spülung des Spöl mit künstlichem Hochwasser am 9. Juli 2013
- Klärung der technischen Ursachen, Auftrag an die EPFL
- Verfolgung der Flora- und Fauna-Entwicklung
- Eröffnung und spätere Einstellung einer Strafuntersuchung
- Zustandsaufnahme nach einem Jahr

3. Ursachenklärung

Die Aufarbeitung des Unfalls zeigt die mutmassliche Abfolge von wahrscheinlichen Ereignissen, welche im Stausee Livigno stattgefunden und zu den Problemen am Grundablass und Dotierwassereinlauf geführt haben. Doch zuerst werden im Folgenden die beteiligten Faktoren beschrieben und diskutiert.

3.1 Externe Umstände

Die Untersuchung der meteorologischen und betrieblichen Randbedingungen vor und während dem Ereignis zeigte keinen direkten kausalen Zusammenhang mit dem Zwischenfall am Stausee Livigo. Ein einzelnes hydrologisches Ereignis wie ein Hochwasser, starke Temperaturschwankungen, Schneeschmelze oder starker Niederschlag konnten als Auslöser ausgeschlossen werden.

Die Auswertung der Betriebsdaten zeigte ebenfalls kein gleichzeitiges betriebliches Ereignis (Anfahren, respektive Abstellen der Turbinen oder Pumpen, Fehlmanipulation) als Auslöser auf.

Der kalte und lange Winter 2012–13 ging bis weit in die letzten Märztage. Diese damals vorherrschenden klimatischen Bedingungen in Zusammenwirkung mit den Normalbetrieb der EKW-Kraftwerksanlagen führten zu einem ungewöhnlich niedrigen Wasserstand von 1718 m ü.M. im Stausee-Livigno. Dieser Wert lag jedoch immer noch deutlich über dem konzessionierten Absenkziel von 1700 m ü.M. Gemäss der Statistik des Bundesamtes für Energie (BFE) war im langjährigen Vergleich Ende März 2013 der Füllungsgrad der Schweizer Speicherseen mit knapp 10% auf dem tiefsten je beobachteten Stand.

Insbesondere der geringe natürliche Wasserzufluss, welcher auf den schwachen Niederschlag und die verspätete Tauperiode zurückzuführen ist, beschleunigte das Absinken des Wasserstands im Stausee Livigno, wodurch abgelagerte Sedimente frei gelegt wurden. Der Zufluss von ca. 1 m^3/s je Seearm war gering. Es war insofern nicht möglich, in kurzer Zeit eine grössere Menge an Sedimenten bis zur Staumauer und dem Grundablass zu transportieren, also über eine Distanz von mehr als einem Kilometer im verbleibenden Stausee. Dies jedoch wäre eine Voraussetzung für eine rasche Verstopfung der Dotiereinrichtung gewesen.

Somit wurden im Rahmen der Untersuchung plausible Szenarien ermittelt, welche zu erklären vermochten, wie grössere Sediment- und Wassermengen schubartig in den verbleibenden Stausee eingetragen wurden. Als wahrscheinlichstes Szenario stehen stark konzentrierte Unterwasserlawinen, sogenannte Trübeströme, im Vordergrund, welche entlang des Seegrunds innerhalb kürzester Zeit bis zum Grundablass und zur Dotierfassung gelangten.

3.2 Feststofftransport im Stausee

Ein Trübestrom entspricht einem lawinenartigen Unterwasserabfluss von stark sedimenthaltigen Wassermassen. Die in Suspension befindlichen Feinsedimente mit einer maximalen Korngrösse von ca. 100 µm erhöhen dabei die Dichte des Stroms im Vergleich zum umgebenden

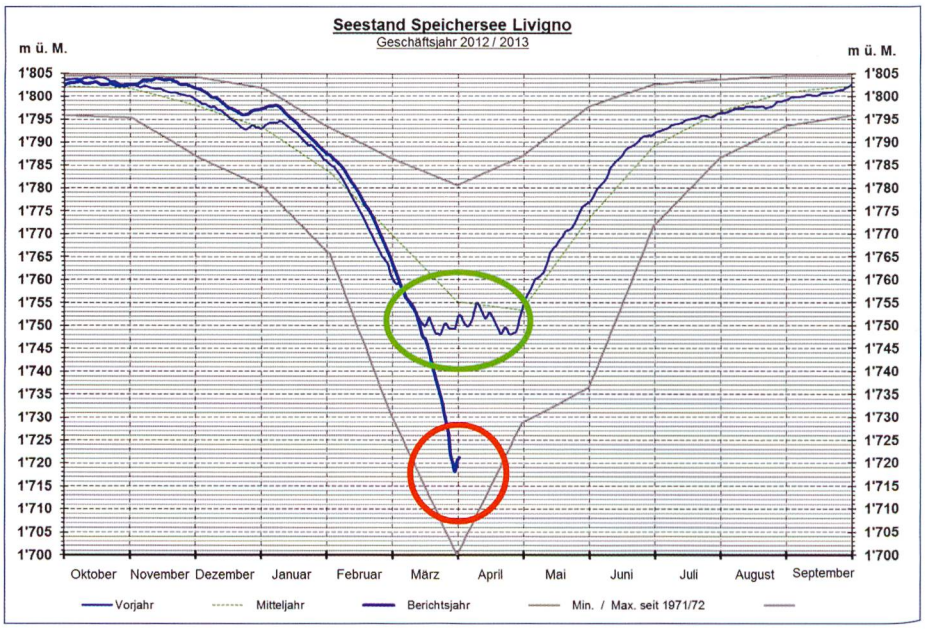

Bild 5. Der Ende März 2013 festgestellte tiefe Seestand (rot markiert) im Vergleich zum vorjährigen und mittleren Seestand (grün markiert).

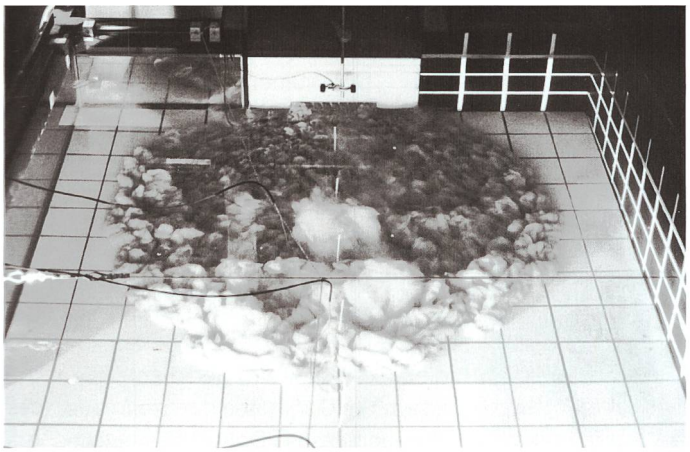

Bild 6. Trübestrom im Labor (Foto: Giovanni De Cesare, EPFL-LCH).

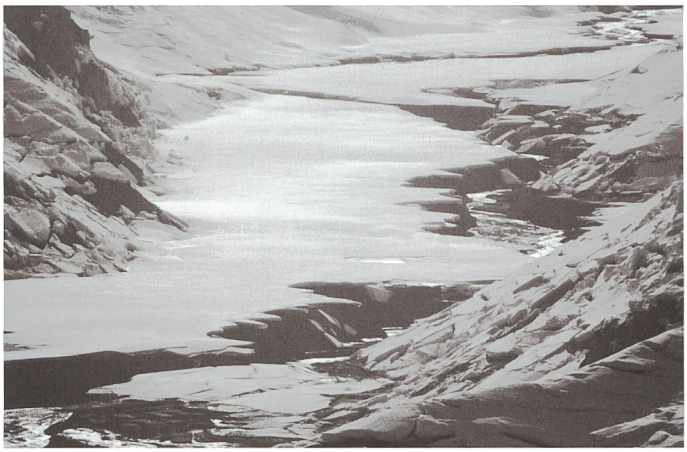

Bild 7. Freigelegtes Sediment oberhalb 1720 m ü.M. im Gallo Zufluss, das Wasser formte ein schluchtartiges Gerinne durch die Sedimente (Foto: EKW Anfang April 2013.)

Wasser und beschleunigen diesen so (*De Cesare*, 1998). Trübeströme sind normalerweise von der Wasseroberfläche her kaum sichtbar.

Dieses natürliche Phänomen der Trübeströme in Stauseen konnte anhand einer numerischen 3D-Simulation nachvollzogen werden. Doch musste zuerst ermittelt werden, wie überhaupt die Sedimente in grossen Mengen eingetragen wurden.

Die Tatsache, dass der Wasserstand am 29. März 2013 auf den niedrigen Stand von 1720 m ü.M. gefallen war, führte zu der Freilegung von feinen abgelagerten Sedimenten oberhalb dieses Stauspiegels. Der geringe Zufluss von ca. 1–2 m^3/s aus dem Gallo- und Spölarm zusammen reichte jedoch nicht aus, um die Sedimentablagerungen massiv zu erodieren und weiter zu transportieren. Es bildeten sich tiefe Rinnen in die mit Schnee und Eis bedeckten Sedimentschichten, welche sehr gut in *Bild 7* zu sehen sind. Da die Temperaturen zu diesem Zeitpunkt mit einem Minimum von ca. -5° C nicht sehr tief waren, konnten die sehr rasch freigelegten Sedimentablagerungen nicht gefrieren und somit stabile Böschungen bilden. Aufgrund von Beobachtungen in ähnlichen Fällen ist bekannt, dass die steilen, seitlichen Abhänge dieser Einschnitte einstürzen und lokale Rutschungen verursachen können. Solche Phänomene lassen sich auf *Bild 7* ebenfalls erahnen.

Diese Erkenntnisse führten zusammen mit dem vorliegenden Datenmaterial zu der Vermutung, dass eine oder mehrere solcher Rutschungen zu einer lokalen Aufschüttung resp. Dammbildung und in der Folge zu einer Anstauung von Wasser in den natürlich gebildeten Gräben führten. Wenn nun der durch seitliche Einbrüche gebildete Damm bricht und sich das dahinter angestaute Wasser schwallartig entlädt, können die angesammelten Sedimente mitgerissen werden. Diese Gräben wiesen eine durch Seegrundaufnahmen (*Métrailler*, 2013) erfasste, geschätzte Tiefe von ca. 2 bis 4 m auf, mit einer Breite von ca. 5 bis 20 m auf einer Länge von über 1 km im Galloarm, respektive ca. 2 km im Spölarm. Dadurch ergab sich ein geschätztes erodiertes Volumen von ca. 12 000 m^3 pro Seearm. Da der Aufwand einer 3D-numerischen Simulation mit Sedimenttransport relativ gross ist, wurden die Modellierungen lediglich für den Galloarm vorgenommen. Die folgenden Ausführungen basieren auf diesen Untersuchungen. Eine Modellierung für den Spölarm würde keine davon abweichenden Erkenntnisse bringen.

Es wurden verschieden Szenarien entworfen, welche eine realistische Abschätzung der sprunghaft mobilisierten Wasser- und Sedimentmenge erlauben. Die Topographie des Seebodens spielt eine wichtige Rolle für die Auswahl der Szenarien, da sie entscheidenden Einfluss auf die Dimensionen eines potenziellen, durch Rutschungen entstandenen Dammes und das dahinter aufgestaute Volumen hat.

Für jede potenzielle Bruchstelle wurde das aufgestaute Volumen berechnet. Zusammen mit den Kenngrössen des gebildeten Dammes konnte in Folge eine Ganglinie für jede Sedimentfracht fallweise ermittelt werden. Für die Berechnung wurden die Gleichungen von *Froehlich* (1995a, b, 2008) und des Bureau of Reclamation (1982) benutzt, welche für den Fall gelten, dass ein Damm an einer Stelle durch Breschenbildung erodiert und es zum Durchbruch kommt. Als Resultat ergibt sich die Bruchformationszeit T_f (time to failure), die Durchschnittsbruchbreite B_{ave} (average breach) sowie der maximale Abfluss Q_p (peak discharge) (*Xu* and *Zhang*, 2009; *Wahl*, 2004).

Somit konnte als obere Randbedingung des numerischen Modells eine Reihe von Wasser- und Feststoffganglinien definiert werden. Diejenigen mit dem grössten Sedimentvolumen respektive grössten Abfluss wurden für die numerische Simulation weiterverwendet.

3.3 Numerische Simulation

Die numerische Modellierung wurde mit der Strömungssimulationssoftware Flow-3D durchgeführt. Flow-3D basiert auf einem strukturierten Berechnungsgitter (Finite Differenzen) und dem Volume of Fluid-(VOF-)Verfahren und bietet eine

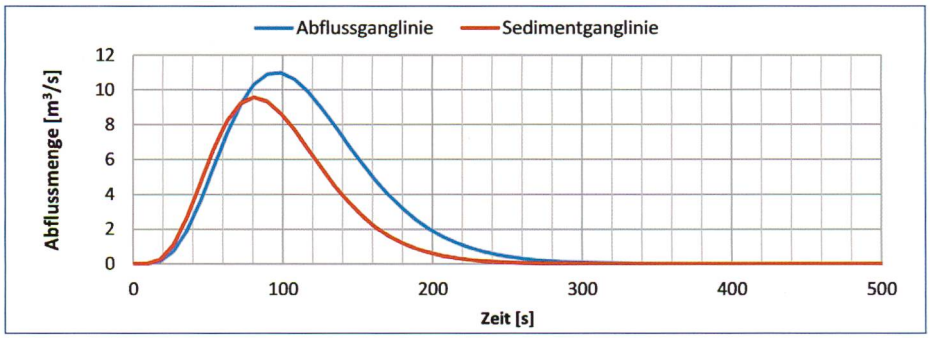

Bild 8. Beispiel eines Zufluss-Szenarios für Wasser ($V = 1009\ m^3$) und Sediment ($V_S = 878\ m^3$).

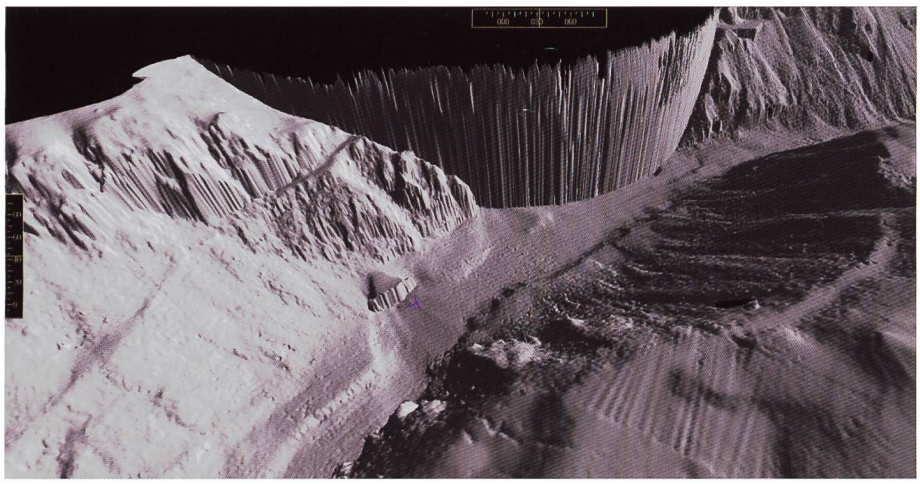

Bild 9. Bild der Seegrundaufnahmen mittels eines Fächerecholots von Hydro-Exploitation im Bereich der Staumauer (Métrailler, 2013).

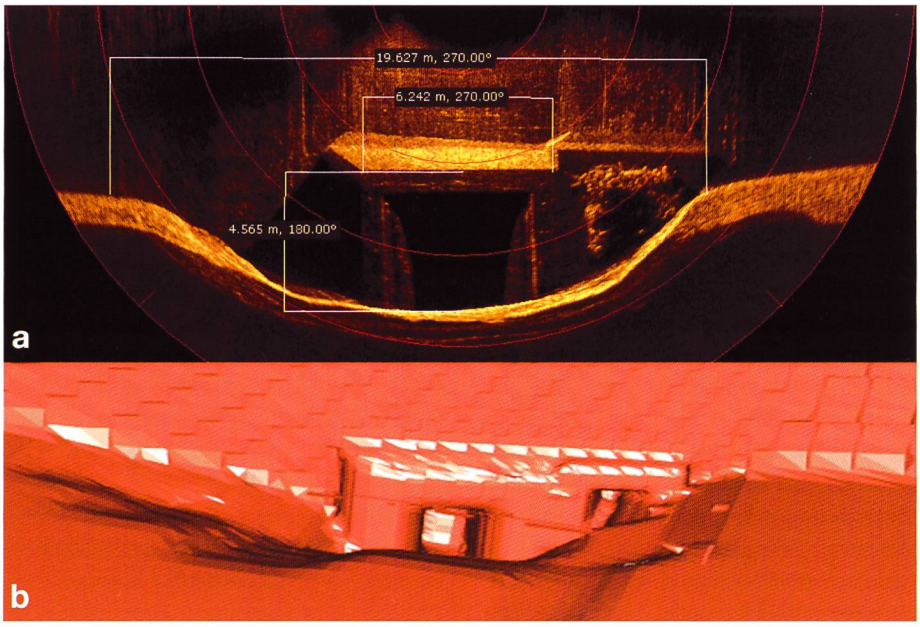

Bild 10. Bild der Unterwasseraufnahme (Sonarbild) des Grundablasses und Dotiereinlaufes (a) sowie deren Integration im numerischen Modell (b).

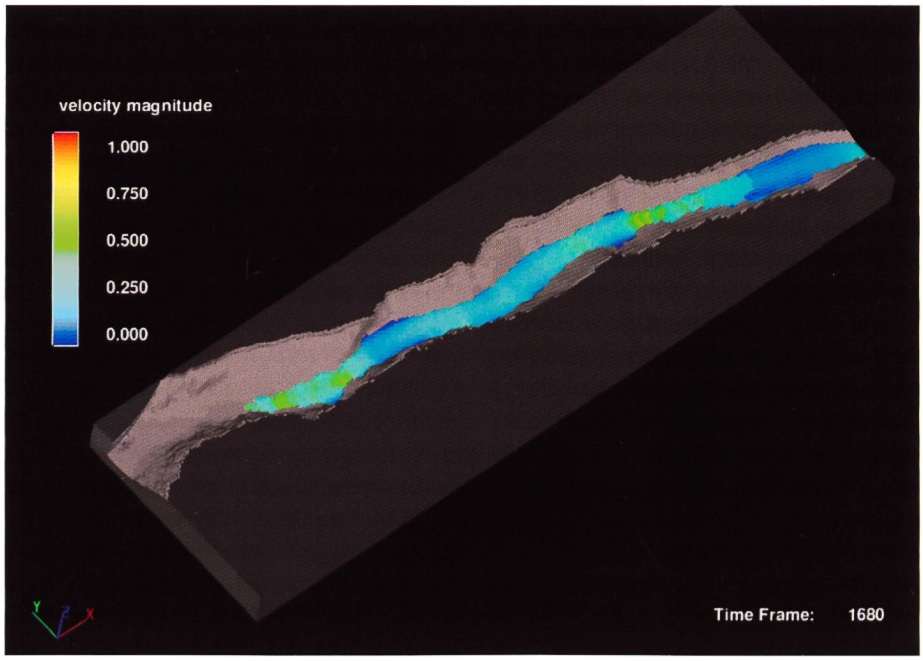

Bild 11. Bild des Trübestroms am Grund des Gallo-Arms, eingefärbt mit der mittleren Fliessgeschwindigkeit.

breite Palette an Simulationsmöglichkeiten.

Das numerische Modell des Geländebodens wurde auf Basis der Seegrundaufnahmen vom Mai 2013 (*Métrailler*, 2013, *Bild 9*) und denen aus dem Jahr 1971 (Digitalisierter Höhenlinienplan im Massstab 1:2000) erstellt. Der ältere Seeboden wurde während der Simulation als untere, feste Grenze verwendet, während der darüber liegende Seeboden von 2013 die Mächtigkeit der Sedimentschicht definiert. Die Geometrie der Staumauer, des Grundablasses, Dotierablasses und der Seegrundtopographie wurde mithilfe von AutoCad 3D in Flow-3D als Stereolithographie Dateien importiert. Die Geometrie der Bauwerke basiert auf den Ausführungsplänen (Grundriss im Massstab 1:100). Sie wurden zusätzlich zum Seegrund im Modell einfügt.

2010 wurden Bodenproben vom Seegrund des Stausees entnommen und im Labor analysiert (*UniBern*, 2010). Eine Probe wurde jeweils im Spölarm, vor der Staumauer und aus dem Galloarm entnommen. Die durchschnittliche Grösse der Sedimentkörner der Ablagerungen im Galloarm beträgt d_m = 0.013 mm. Es wurde eine Dichte von 1712 kg/m^3 ermittelt. Die Wassertemperatur wurde mit 4° C angenommen und die entsprechenden Eigenschaften wie Viskosität und Dichte ergänzt.

Das Berechnungsraster besteht aus einem Gitterblock (Ausmasse siehe *Bild 11*) mit 2 Abschnitten, die in verschieden definierte Zellgrössen aufgeteilt sind. Für die numerische Berechnung des Dotierabflusses müssen genügend Zellen zur Verfügung stehen, damit ein Abfluss registriert werden kann (*Gabl et al.*, 2014). Dort befinden sich die Zellen mit der kleinsten Seitenlänge (0.5 m). Sie bilden einen kleinen Block mit den Ausmassen 8 × 14 × 20 m^3 (Höhe, Breite, Tiefe). Der Grundablass und die Dotieranlage sowie ein grosser Teil des Halbtrichters liegen innerhalb dieses Blocks und haben somit eine genauere Auflösung. Von diesem inneren Block aus werden die Zellen gleichmässig grösser, bis sie am Rasterrand bei 1000 m in X-Richtung eine Seitenlänge von fast 10 m erreichen. Das Gitter hat insgesamt 2.8 Millionen Zellen, von denen nur 285 000 aktive Zellen für die Berechnung benötigt werden. Die verbleibenden Zellen liegen, aufgrund der rechteckigen Form des Gitters, ausserhalb des Reservoirs. Die Simulationsdauer beträgt jeweils 3600 und 5000 s.

Um den Sedimenttransport entlang

des Reservoirs nachverfolgen zu können, wurden 11 freie Durchflussflächen, sogenannte Flux-Baffles, eingefügt. Diese liegen innerhalb des Dotiereinlaufs, um den Halbtrichter beim Grundablass, und alle 100 m im Galloarm, sowie bei der Stauwurzel, wo das Volumen an Wasser und Sedimenten eingeleitet wird. Baffles sind zweidimensionale Flächen, die als durch- oder undurchlässig definiert werden können. Sie dienen dazu, an festgelegten Koordinaten, den Durchfluss und weitere Grössen zu «messen».

Der gebildete Trübestrom fliesst mit max. 1 m/s den Talweg entlang zur Mauer. Die Abflusshöhe in Mauernähe beträgt ca. 5 bis 8 m. Es können sehr hohe Feststoffkonzentrationen beim oberen Rasterrand von über 100 kg/m^3 festgestellt werden, bis zur Mauer reduziert sich die Konzentration durch Eintrag und Vermischung mit klarem Seewasser auf ca. 20 kg/m^3. Der Trübestrom trifft nach etwa einer halben Stunde auf die Mauer, und dessen Abflussspitze wird etwa nach einer Stunde erreicht. Infolgedessen wird der Grundablasseinlauf durch Ablagerung verfüllt und weitere Sedimente beim Dotiereinlauf abgelagert. Da dieser zum Zeitpunkt noch in Betrieb war, wurde vor dem Verstopfen des Dotiereinlaufes eine grosse Menge Feinsedimente in den Spöl weitergeleitet.

4. Empfehlungen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass ein aussergewöhnlicher Eintrag von Feinsedimenten zuerst in den Stausee, danach durch Trübeströme weiter bis zur Staumauer auftrat. Anschliessend wurden die Feinsedimente durch die Dotiereinrichtung und durch den Grundablass nach dessen Öffnung in den Spöl weitergegeben. Es ist nun das Ziel, alle Aspekte, welche zu diesem Zwischenfall beigetragen haben, in Erwägung zu ziehen, um ein ähnliches Ereignis in Zukunft zu verhindern.

Folgende Empfehlungen wurden bereits umgesetzt:

EKW hat aufgrund der Vorkommnisse als Sofortmassnahme das betriebliche Absenkziel von 1700 auf 1735 m.ü.M. erhöht. Damit kann das Risiko einer erneuten Mobilisierung der bestehenden Ablagerungen minimiert werden, da diese sich immer unter Wasser befinden.

Koordiniert von der Task-Force wurde am 9. Juli 2013 der Spöl mit einem künstlichen Hochwasser gespült. Mit dieser Spülung wurden die restlichen, seit dem Unfall von Ende März 2013 im Spölbett lagernden Feinsedimente weitgehend ausgetragen. Dadurch wurden gute Voraussetzungen für die biologische Erholung des gesamten Spöls geschaffen *(Bild 12)*.

Zudem planen die EKW technische Verbesserungen im Rahmen der im Jahr 2016 vorgesehenen Sanierung der Stauanlage. Dazu gehört die Höherlegung des Dotierwassereinlaufs, um jederzeit in der Lage zu sein, sauberes Wasser in den Spöl abzugeben. Im Weiteren soll eine redundante Restwassermessung installiert werden, um eine Fehleinschätzung der Dotierwassermenge zu vermeiden. Für die Abschätzung der zukünftigen Verlandungshöhe im Bereich der zu erhöhenden Dotierwasserfassung, wurde eine Untersuchung der Verlandung des Stausees Livigno durchgeführt (*LCH*, 2014). Die Verlandungsdaten seit 1971 erlauben einerseits die jährlichen Zuwachsraten der Ablagerungen von ca. 0.20 m zu ermitteln, sowie die Tendenz der Verlandungshöhen über die nächsten Jahre im Staumauerbereich abzuschätzen.

Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Umweltereignis werden sämtliche Sanierungsarbeiten ohne Stauseeabsenkung durchgeführt, was mit hohen Mehrkosten zu Lasten EKW verbunden ist.

5. Fazit

Mit dem Einverständnis zur Nutzung der Gewässer akzeptiert man Veränderungen im ökologischen Gefüge des betroffenen aquatischen Lebensraums. Trotz der An-

Bild 12. Oberer Spöl, ca. 800 m unterhalb der Staumauer Punt dal Gall vor (oben) sowie nach der Spülung vom 9. Juli 2013 (unten) (Foto: Uta Mürle, HYDRA-Institut für angewandte Hydrobiologie).

strengungen einer möglichst umweltverträglichen Nutzung können einzelne Vorfälle das ökologische Gleichgewicht massiv beeinträchtigen. Es gibt keine Nutzung ohne Restrisiko für die aquatische Fauna und Flora.

Die eigene Regenerationskraft der aquatischen Lebensgemeinschaft wird mitunter selbst von Fachleuten unterschätzt. Es ist erstaunlich, mit welcher Fähigkeit und Geschwindigkeit sich das aquatische Ökosystem im Spöl nach der erheblichen Störung wieder in Richtung seines ursprünglichen Zustandes entwickelt.

Die Ausgangsbedingungen und die umfassenden Ereignisse, welche zum Ausfall der Dotierung und starken Sedimenteintrag in den Spöl beigetragen haben, konnten wissenschaftlich aufgezeigt und nachgebildet werden.

Die eingesetzte Task-Force kam unter anderem zum Schluss, dass in Zukunft weitere Forschungsarbeiten im Bereich der Sedimentbewegungen gemacht werden müssen, um diese Abläufe besser zu verstehen.

Literatur

Bureau of Reclamation (1982). Guidelines for defining inundated areas downstream from dams, Reclamation Planning Instruction No. 82–11, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, 25.

De Cesare, G. (1998). Alluvionnement des retenues par courants de turbidité, EPFL Doktorarbeit n° 1820, Mitteilung des LCH n°7-

Froehlich, D. C. (1995a). Embankment dam breach parameters revisited, Proc., Water Resources Engineering, 1995 ASCE Conf. on, Water Resources Engineering, ASCE, NY, 887–891.

Froehlich, D. C. (1995b). Peak outflow from breached embankment Dam, Journal of Water Resources Planning and Management, 121_1_, 90–97.

Froehlich, D. C. (2008). Embankment Dam Breach Parameters and their Uncertainties, Journal of Hydraulic Engineering, December 2008, Vol.134:1708–1721.

Gabl, R., Gems, B., De Cesare, G., Aufleger, M. (2014). Anregungen zur Qualitätssicherung in der 3-D-numerischen Modellierung mit FLOW-3D, Wasserwirtschaft, vol. 3, p. 15–20.

LCH (2013). Öko-Unfall am Stausee Punt dal Gall – Untersuchung der Ursachen, Bericht LCH 4/2013, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL-École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

LCH (2014). Erhöhung der Dotierwasserfassung im Stausee Livigno – Auswertung der Verlandungsdaten im Bereich der Staumauer Punt dal Gall, Bericht LCH 4/2014, Laboratoire de constructions hydrauliques, EPFL-École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Métrailler, P. (2013). Unterwasser-Inspektion Punt dal Gall 2013, Bericht Hydro-Exploitation, Sion.

Robinson, C. T., Doering, M. (2013). Künstliche Hochwasser am Spöl – Ein Langzeitprojekt mit vielfältigem Nutzen, Atlas des Schweizerischen Nationalparks - Die ersten 100 Jahre. Haupt Verlag, Bern, Schweiz.

Scheurer, T., Molinari, P. (2003). Experimental floods in the River Spöl, Swiss National Park: Framework, objectives and design, Aquatic Sciences, 2003, Volume 65, Number 3, Page 183–190.

Task-Force Spöl (2014). Schlussbericht Umweltunfall Spöl 2013, Download unter: http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/ajf/dokumentation/fischerei/Seiten/Publikationen.aspx.

UniBern (2010). Staubecken Punt dal Gall – Sediment-Entnahmen, Bericht des Geologischen Institutes der Uni Bern.

Wahl, T.L. (2004). Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameter, Journal of Hydraulic Engineering, May 2004, Vol.130, pp. 398–397.

Xu, Y., Zhang, L.M. (2009). Breaching Parameter for Earth and Rockfill Dams, Journal of Hydraulic Engineering, December 2009, Vol.135: 1957–1970.

Der vorliegende Artikel wurde im Rahmen der Wasserwirtschaftstagung der 103. Hauptversammlung des SWV in Veytaux am 11. September 2014 durch *Michael Roth* mit dem Titel «Störfall an der Restwasserstrecke des Spöl», sowie im Rahmen der Hydrosuisse-Fachtagungen Wasserkraft, am 19. November 2014 durch *Giovanni De Cesare* mit dem Titel «Ursachen des Störfalls am Stausee Punt dal Gall und abgeleitete Erkenntnisse für den Betreiber» präsentiert. Die Vorträge sind auf der Webseite des SWV aufgeschaltet.

Anschrift der Verfasser
Dr. *Giovanni De Cesare*, Prof. Dr. *Anton Schleiss*
EPFL-ENAC-LCH, Station 18,
CH-1015 Lausanne
giovanni.decesare@epfl.ch
anton.schleiss@epfl.ch
Nora Altenkirch
Vormals am LCH, heute: Cottbus Brandenburg Technische Universität BTU, Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik, Lehrstuhl Environmental Informatics, Postfach 10 13 44, DE- 03013 Cottbus
altennor@tu-cottbus.de
Michael Roth, Peter Molinari
Engadiner Kraftwerke AG, EKW
CH-7530 Zernez
michael.roth@ekwstrom.ch
molinari.peter@bluewin.ch
Dr. *Marcel Michel*
Amt für Jagd und Fischerei, CH-7000 Chur
marcel.michel@ajf.gr.ch