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

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 112 (2020)

Heft: 3

Artikel: Erkentnisse aus physikalischen Murgangversuchen für die Planung von Schutzmassnahmen

Autor: Berger, Catherine / Bachmann, Andrea-Kristin / Speerli, Jürg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941699

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: 23.08.2025

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

Erkenntnisse aus physikalischen Murgangversuchen für die Planung von Schutzmassnahmen

Beispiel Fellbach, VS

Catherine Berger, Andrea-Kristin Bachmann, Jürg Speerli, Florian Zimmermann, Walter Clausen

Zusammenfassung

Für den Fellbach in Saas-Balen (Wallis) wurde mit Murgangmodellierungen in einem physikalischen Modell im Massstab 1:50 der Einfluss einer Wasserfallkaskade auf die Fliesseigenschaften von Murgängen untersucht. Diese Erkenntnisse wurden verwendet, um verschiedene Schutzbauwerke auf dem Schwemmkegel des Fellbachs auf ihre Funktionalität zu prüfen und hinsichtlich Standort und Geometrie zu optimieren. Basierend auf den Modellierungsergebnissen, können im Vorprojekt die weiterverfolgten Varianten detaillierter ausgearbeitet und in einer Nutzwertanalyse einander gegenübergestellt werden, um eine Bestvariante zu ermitteln.

1. Einleitung

Murgänge bedrohen insbesondere in alpinen Einzugsgebieten vielerorts Siedlungsgebiete und Infrastrukturverbindungen. Aufgrund der schnellen Fliessgeschwindigkeiten und der daraus resultierenden hohen Drücke beim Auftreffen auf Hindernisse sowie der in der Regel kurzen Vorwarnzeiten sind zum Schutz von Siedlungen primär permanente und konstruktive Massnahmen zu treffen *(Jakob und Hungr, 2005)*. Das Dorf Saas-Balen (Wallis) befindet sich auf dem Schwemmkegel des Fellbachs. Zuletzt ereigneten sich 1957, 1968 und 1970 schadenbringende Murgänge. Die Dynamik im oberen Einzugsgebiet des Fellbachs mit proglazialen Seen, Permafrost- und Gletscherprozessen ist ausserordentlich hoch und komplex. In Kombination mit der daran anschliessenden Wildbachstrecke sind daher auch in Zukunft und unter dem Einfluss des Klimawandels grosse Murgänge zu erwarten.

Auf dem Schwemmkegel befinden sich rund 20 Gebäude im Bereich erheblicher Gefährdung, weshalb die Gemeinde Saas-Balen beschlossen hat, Schutzmassnahmen gegen die Murganggefährdung aus dem Fellbach zu ergreifen. Im Rahmen einer Vorstudie erfolgte ein breit angelegtes Variantenstudium, wobei schliesslich drei Konzepte im Bereich des Schwemmkegels favorisiert wurden. Die Kaskade dreier Wasserfälle mit Höhen von bis zu 70 m direkt oberhalb des Schwemmkegels verursachten allerdings grosse Unsicherheiten bezüglich des Fliessverhaltens von Murgängen und den daraus folgenden Einwirkungen auf Bauwerke. Ein abschliessender Variantenentscheid und die weitere konstruktive Ausarbeitung möglicher Schutzmassnahmen war daher nicht möglich. Mit physikalischen Modellversuchen wurden deshalb der Einfluss der Wasserfälle auf das Fliessverhalten von Murgängen, die resultierenden Fliessparameter sowie die Funktionalität der favorisierten Schutzbauwerke untersucht. Basierend auf den Modellierungsergebnissen können im Vorprojekt die weiter verfolgten Varianten detaillierter ausgearbeitet und in einer Nutzwertanalyse einander gegenübergestellt werden, sodass eine Bestvariante ermittelt werden kann.

1.1 Einzugsgebiet des Fellbachs

Das Einzugsgebiet des Fellbachs wird durch seinen alpinen Charakter geprägt und erstreckt sich über 8,8 km² vom Fletschhorn auf 3982 m ü. M. bis zum Schwemmkegelhals auf 1540 m ü. M. *(vgl. Bild 1)*. Bis auf eine Höhe von 2767 m ü. M wird der obere Teil des Einzugsgebiets durch den Grüebugletscher (20 % der Einzugsgebietsfläche) sowie steile Felswände, mehrere proglaziale Seen, mächtige Moränenablagerungen und Blockgletscher dominiert. Der Klimawandel verursacht einen rasanten Rückzug des Grüebugletschers, und daher verhalten sich das System und insbesondere die proglazialen Seen mit dem Fellsee an der Bastionsmoräne räumlich und zeitlich stark variabel. Im Anschluss an diese Bastionsmoräne prägen typische Wildbachprozesse mit mehreren Abfolgen an Erosions- und Ablagerungsstrecken das Gerinne, bevor der Fellbach über drei Wasserfälle mit Höhen von 25 bis 70 m auf den Schwemmkegel trifft. Anschliessend fliesst der Fellbach in einer künstlichen Bachschale durch das Siedlungsgebiet und mündet auf 1475 m ü. M. in die Saaservispa.

In den letzten 200 Jahren ereigneten sich mehrere grosse Murgangereignisse im Fellbach. Mit über 100 000 m³ Geschiebeablagerungen am Kegelhals richteten sie teils grosse Schäden im Siedlungsgebiet an. Mehrere Murgänge wurden durch Seeausbrüche im obersten Bereich des Einzugsgebiets ausgelöst. Im Anschluss an das letzte grosse Ereignis 1970 wurde der Auslauf des Fellsees künstlich stabilisiert. Es ist jedoch weiterhin von zum Teil grossen Murgängen auszugehen, und dies insbesondere unter Berücksichtigung von Prozessverkettungen. So ist zum Beispiel gemäss Gefahrenkarte *(geo7 AG, 2017)* zu erwarten, dass ein Aufstauen des Fellsees durch Wächtenbildung mit nachfolgendem plötzlichem Ausbrechen auch in Zukunft Murgänge aus den unterliegenden Erosionsstrecken auslösen kann.

2. Schutzkonzepte

Basierend auf der Gefahrenkarte *(geo7 AG, 2017)*, weiteren Feldbegehungen und einer Risikoanalyse zur Gefährdung des Dorfes Saas-Balen durch Murgänge aus dem Fellbach, wurde ein breit angelegtes Variantenstudium durchgeführt. Aufgrund der geringen Vorwarnzeit und der Heftigkeit von Murgängen sind permanente Massnahmen notwendig. Um das Siedlungsgebiet auf dem Schwemmkegel zu schützen, kristallisierten sich zum Ende der Vorstudie die drei Hauptkonzepte Durchleitung, Umleitung und Ausleitung heraus *(vgl. Bild 2)*. Für das Murgangschutzkonzept Fellbach wurde das 300-jährliche Murgangszenario als massgebendes Ereignis definiert.

Bild 1: Impressionen Fellbach mit a) oberem Einzugsgebiet mit proglazialem See und Grüebugletscher, b) Fellsee oberhalb der Bastionsmoräne, c) Einzugsgebiet ab Fellsee mit Bastionsmoräne und Transitstrecke unterhalb, d) Übersicht Schwemmkegel mit Dorf Saas-Balen, e) Einmündung Fellbach in die Saaservispa mit den Wasserfällen im Hintergrund.

2.1 Durchleitung

Bei der Durchleitung werden Murgänge und geschiebeführende Hochwasser entlang des bestehenden Gerinnes über den Schwemmkegel geführt und anschliessend in die Saaservispa eingeleitet. Um im Ereignisfall ein kritisches Verklausen der Saaservispa durch konzentrierten Geschiebeeintrag aus dem Fellbach zu reduzieren, ist unterhalb der Häuser auf der orografisch rechten Gerinneseite ein Entlastungskorridor vorgesehen. Dieser hat zum Ziel, dass ein Murgang oder geschiebeführendes Hochwasser noch vor Erreichen der Saaservispa einen Teil des Geschiebes ablagern kann. Eine Verbreiterung und Stabilisation der bestehenden Bachschale ab dem Schwemmkegelhals bis zur Mündung in die Saaservispa ist zwingend, da die heutige Bachschale weder die Kapazität zur Bewältigung der erwarteten Murgangabflussspitzen noch die erforderliche Stabilität gegen Erosion aufweist. Allerdings limitieren einerseits die Gebäude entlang des Gerinnes die Möglichkeiten zur Verbreiterung der Schale, und andererseits ist die Dimensionierung auf das massgebende Szenario kritisch. Zusätzlich bergen die Brücken über das Gerinne auch bei einer Verbreiterung ein erhebliches Verklausungsrisiko und die Gefällsabnahme im unteren Drittel der Bachschale bildet eine weitere Schwachstelle. Schliesslich muss trotz Entlastungskorridor von einem massiven Rückstau der Saaservispa und nachfolgender Überschwemmung des Talbodens ausgegangen werden. Die Robustheit ist aus diesen Gründen sowie aufgrund der Tatsache, dass der gesamte Gefahrenprozess weiterhin mitten durch das Siedlungsgebiet geführt wird, als problematisch einzustufen. Bei diesem Konzept sind die erforderlichen Bauwerke im Bereich des Kolkbeckens beim Wasserfall weniger prägnant als bei den Varianten Umleitung und Ausleitung. Hingegen gehen entlang der heutigen Bachschale Nutzflächen verloren.

2.2 Umleitung

Das zweite Konzept besteht aus einem Umleitbauwerk am Schwemmkegelhals unterhalb der Wasserfälle und einem neuen Gerinne über die orografisch rechte Schwemmkegelseite mit Einmündung des Fellbachs in die Saaservispa weiter flussabwärts. Ein massiver, befestigter Umleitdamm sowie ein auf die Murgangabflussspitze ausgelegtes Gerinne sind notwendig, damit Murgänge zuverlässig am Schwemmkegelhals umgeleitet werden. Nach Umfliessen des Siedlungsgebiets ist wiederum ein Entlastungskorridor vor-

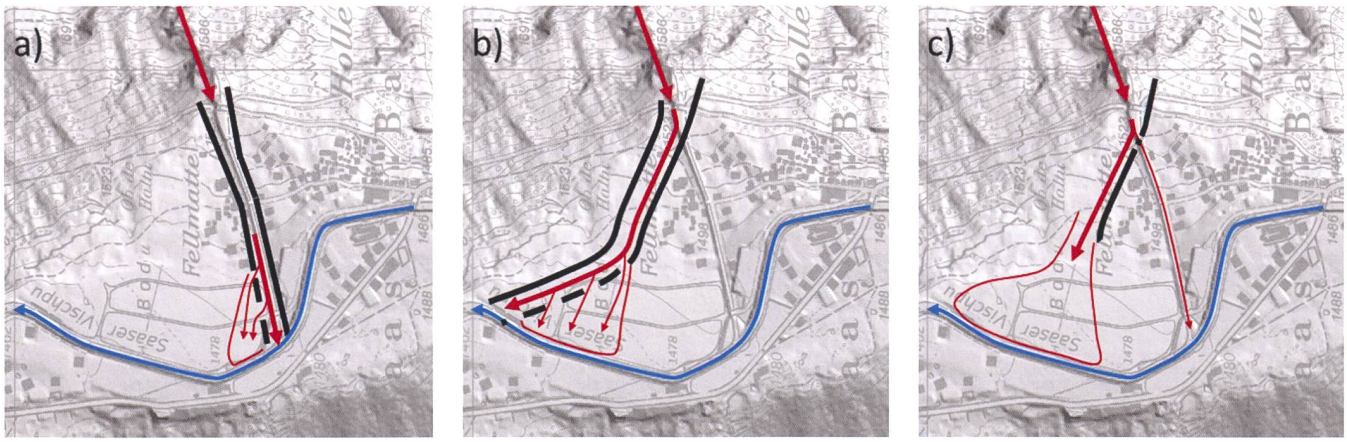


Bild 2 : Schematische Darstellung der drei Hauptkonzepte a) Durchleitung, b) Umleitung und c) Ausleitung.

gesehen, um grosse Murgänge noch im Bereich des Schwemmkegels zur Ablagerung zu bringen und das Risiko eines Rückstaus der Saaservispa zu reduzieren. Eine Schwierigkeit bei diesem Schutzkonzept stellt die Integration der vorhandenen Strassenbrücke direkt unterhalb der Wasserfälle sowie die damit verbundene Verklausungsgefahr dar. Ein Vorteil ist hingegen die Möglichkeit für einen naturnahen Wasserbau und eine ökologische Aufwertung des Gerinnes auf dem Schwemmkegel im Vergleich zum heutigen Zustand. Zudem ist diese Variante bei entsprechender Dimensionierung der Umleitdämme als robust zu beurteilen.

2.3 Ausleitung

Das dritte Konzept setzt sich aus einer Kombination der ersten beiden zusammen. Das bestehende Gerinne führt weiterhin normale Abflüsse und kleinere Hochwasser ab. Überschreitet der Abfluss eines Murgangs die Gerinnekapazität, wird dieser am Kegelhals unterhalb der Wasserfälle mittels Ausleitbauwerk und Dämmen an der Siedlung vorbei auf die orografisch rechte Seite des Schwemmkegels ausgeleitet. Im Gegensatz zum Konzept der Umleitung wird der Prozess nicht in einem definierten Gerinne bis zur Saaservispa abgeleitet, sondern unterhalb der Gebäude offen zur Ablagerung gebracht. Das Ausleitbauwerk besteht aus einer Betonmauer mit Grundöffnung. Deren Geometrie wird so ausgelegt, dass Murgänge zuverlässig verklausen und ausgeleitet werden. Normale Abflüsse und kleinere fluviale Hochwasser mit Geschiebetransport sollen jedoch weiterhin durch die bestehende Bachschale abfliessen. Bei dieser Variante stellen die geometrische Anordnung des Ausleitbauwerks, die Dimensionierung der Grundöffnung und die Integration der bestehenden Strassenbrücke die grössten Herausforderungen dar.

Bei allen drei Varianten spielt der Einfluss der Fellbachkaskade auf das Fliessverhalten der Murgänge und deren Fliessgeschwindigkeit und Fliesstiefe am Kegelhals eine entscheidende Rolle für die Ausgestaltung und Dimensionierung der Schutzbauwerke. Ziel der physikalischen Murgangversuche war daher, die Fellbachkaskade mit den nachfolgenden Geländeverhältnissen im Modell nachzubilden, das Prozessverhalten der Murgänge sowie die Auswirkungen auf die Fliessparameter näher zu untersuchen und die oben skizzierten Massnahmenvarianten in Bezug auf deren Funktionalität zu testen und hinsichtlich der Geometrie zu optimieren.

3. Physikalische Murgangmodellierung

Die physikalischen Murgangversuche wurden ab Sommer 2019 bis Winter 2020 an der HSR, Hochschule für Technik in Rapperswil, durchgeführt. Die für den Bau des physikalischen Modells notwendigen topografischen Daten für den Modellperimeter *(vgl. Bild 3)* wurden im Feld mittels Drohne und GPS-Gerät aufgenommen. Die Drohnenfotos erlaubten die Generierung einer Punktwolke des Geländes durch Fotogrammetrie. Durch Triangulation konnte anschliessend ein digitales Geländemodell (DOM) erstellt und über Referenzpunkte georeferenziert werden. Daraus konnten in einem nächsten Schritt die für den Bau des physikalischen Modells erforderlichen Quer- und Reliefprofile erzeugt werden *(vgl. Workflow in Bild 4)*.

Ein Modellmassstab von 1:50 wurde, basierend auf anderen durchgeführten Murgangmodellierungen an der HSR *(Speerli et al., 2008 und Berger et al., 2016)*, gewählt. Mit diesem Massstabsfaktor können die physikalischen Prozesse ausreichend genau nachgebildet werden. Basierend auf der Gefahrenkarte *(geo7 AG, 2017)*, wurden als Zielgrössen der Spitzenabfluss für ein 100- und ein 300-jährliches Ereignis sowie das Volumen der entsprechenden

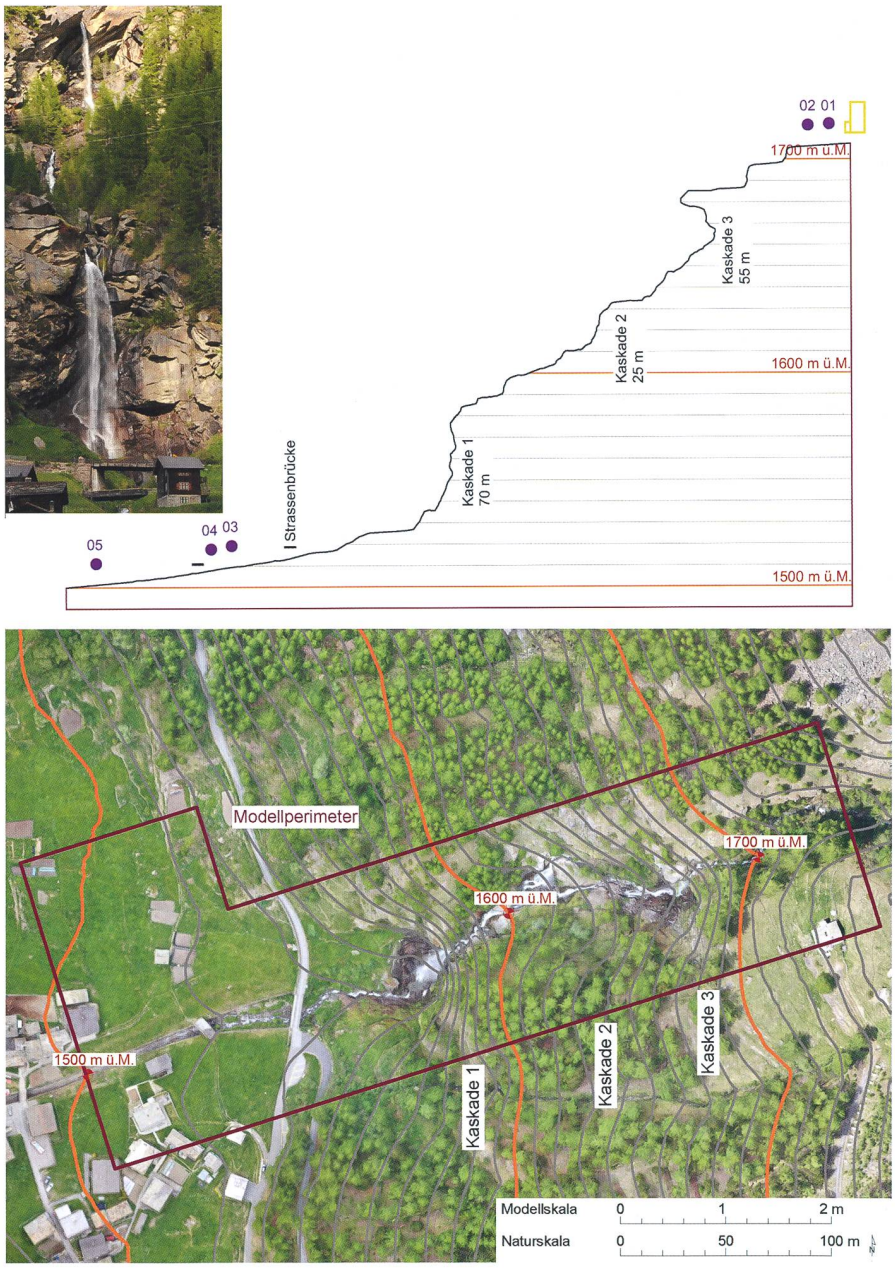


Bild 3: Modellperimeter und Längsprofil des physikalischen Modells. Der Perimeter umfasst die untersten drei Wasserfälle sowie den oberen Teil der Wildbachschale. Im Längsprofil markieren die Punkte 1 bis 5 die Messquerschnitte und das Symbol ▯ den Murgangtank.

Murschübe definiert *(Tabelle 1)*. Im Rahmen von Vorversuchen wurde die Murgangmischung variiert, bis die Zielgrössen bestmöglich erreicht wurden.

Wiederkehrperiode	V_{Total} [m³]	V_{Schub} [m³]	$Q_{max\ Schub}$ [m³/s]
100-jährlich	25 000 – 28 000	10 000	150
300-jährlich	33 000 – 41 000	20 000	300

Tabelle 1: Murgangszenarien für verschiedene Wiederkehrperioden. V_{Total} bezeichnet das totale Murgangvolumen. Für den maximalen Murschub sind das entsprechende Volumen V_{Schub} sowie der Frontabfluss $Q_{max\ Schub}$ angegeben.

Der Murgang wird von einem Tank aus *(vgl. Längenprofil in Bild 3)* durch rasches und vollständiges Öffnen des Kugelhahns ins Modell eingeleitet. Über die gemessene zeitliche Änderung des Murgangpegels im Tank kann der maximale und mittlere Murgangabfluss aus dem Tank, respektive ins Modell bestimmt werden. Mit Ultraschall- und Lasermessgeräten werden im Modell die Murganghöhe und die Durchflusszeit messtechnisch erfasst. Aus der mittleren Fliessgeschwindigkeit zwischen zwei Messprofilen, der Abflusshöhe und der Geometrie der Messprofile kann der Murgangabfluss an verschiedenen Positionen im Modell rechnerisch bestimmt werden. Detaillierte Informationen zu verwendeten Messgeräten, Messtechnik und Datenauswertung sind in *Speerli et al. (2010)* aufgeführt.

Bild 4: Workflow vom Drohnenbild (unten) zum physikalischen Modell im Massstab 1:50 (oben).

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurde für ein besseres Prozessverständnis untersucht, wie bei unterschiedlichen Murgangmischungen die Fellbachkaskade das Fliessverhalten und die Fliessparameter (Geschwindigkeit, Abflusstiefe) beeinflussen. Basierend auf diesen Ergebnissen, wurden die Schutzbauwerke hinsichtlich Funktionalität und geometrischer Anordnung optimiert. Die Umrechnung der gemessenen Modellwerte auf Naturwerte erfolgt gemäss dem Froude'schen Ähnlichkeitsgesetz. Im Folgenden sind alle Zahlenwerte als Naturwerte aufgeführt. Insgesamt wurden 93 Versuche mit den folgenden Parametervariationen durchgeführt:

- Variation des Wassergehalts der Murgangmischung: 22 % (dickflüssig) – 30 % (dünnflüssig).
  Es ist zu beachten, dass bereits eine geringfügige Änderung des Wassergehalts die viskosen Fliessverhältnisse des Modellmurgangs stärker beeinflusst als eine vergleichbare Änderung in natura.
- Variation des Volumen eines Murschubs:
  10 000 m³ (100-jährliches Ereignis) und 20 000 m³ (300-jährliches Ereignis)
- Variation des Grösstkorns der Murgangmischung: 0,4 m – 1,6 m, wobei vier verschiedene Murgangmischungen A – D mit folgenden Bereichen verwendet wurden:
  A: < 0,4 m; B: < 0,8 m; C: < 1,0 m; D: < 1,6 m
- Versuche ohne und mit Schwemmholz
- Versuche mit Reinwasser
- Versuche mit den entsprechenden Schutzbauwerken für die Varianten Durchleitung, Umleitung und Ausleitung

4. Resultate Modellversuche

Die Vorversuche und Sensitivitätsversuche zeigten, dass die Fliessgeschwindigkeiten mit grösseren Murgangvolumen zunehmen. Auch ein höherer Wasseranteil führt tendenziell zu höheren Fliessgeschwindigkeiten. Die Zusammensetzung der Murgangmischung scheint hingegen keinen massgebenden Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit auszuüben, ein grösseres Grösstkorn führt jedoch zu tendenziell grösseren Fronthöhen. Diese Effekte traten beim grösseren Murgangszenario deutlicher hervor. Weiter zeigte sich, dass die Fliessgeschwindigkeiten in der Wildbachschale nahezu unabhängig von den Fliessbedingungen oberhalb der Wasserfallkaskade

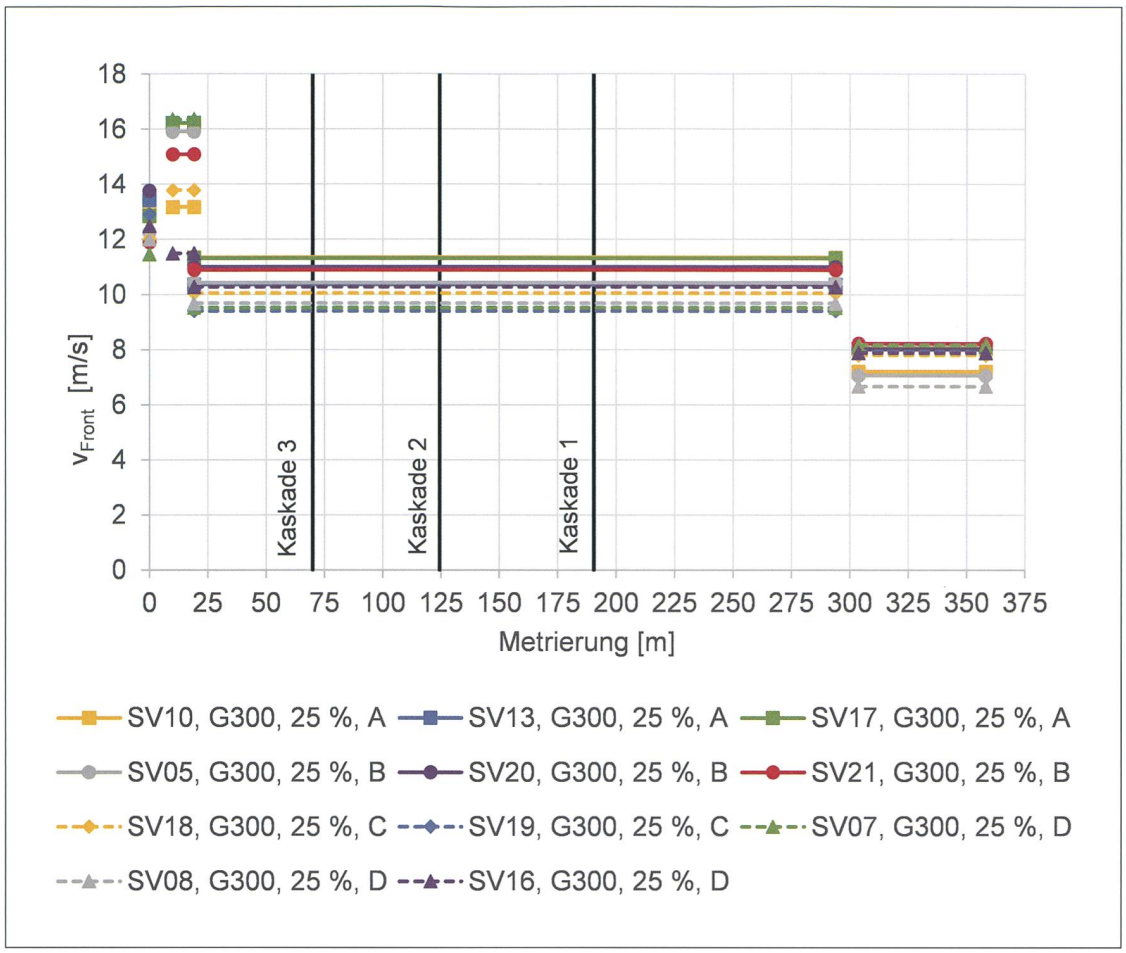


Bild 5: Mittlere Fliessgeschwindigkeit der Murgangfront (v_{Front}) von einem Messquerschnitt zum nächsten für ein 300-jährliches Ereignis (G300) mit einem Wassergehalt von 25 % für vier verschiedene Murgangmischungen: A: < 0,4 m; B: < 0,8 m; C: < 1,0 m; D: < 1,6 m.

sind. Am Fuss des untersten Wasserfalls befindet sich ein kleiner Pool, der die Wirkung eines Tosbeckens hat. Dort wird der Murgang infolge Energieabsorbtion abgebremst und muss sich neu aufbauen, bevor er weiterfliesst. Dieses Verhalten ist aufgrund des felsigen Untergrundes im Kolkbecken unterhalb des Wasserfalls unabhängig von der Zusammensetzung des Modellmurgangs (Wasseranteil, Grösstkorn). Diese Faktoren beeinflussen den Murgang erst wieder im Verlauf des Abfliessens im nachfolgenden Gerinne, wo je nach Zusammensetzung Geschwindigkeiten von 6,5 bis 8 m/s erreicht werden *(vgl. Bild 5)*. Die Fliessbedingungen unterhalb der Wasserfälle scheinen somit entkoppelt zu sein von den Bedingungen oberhalb. Die Abflussspitzen wurden durch die Wasserfälle hingegen nicht massgeblich beeinflusst.

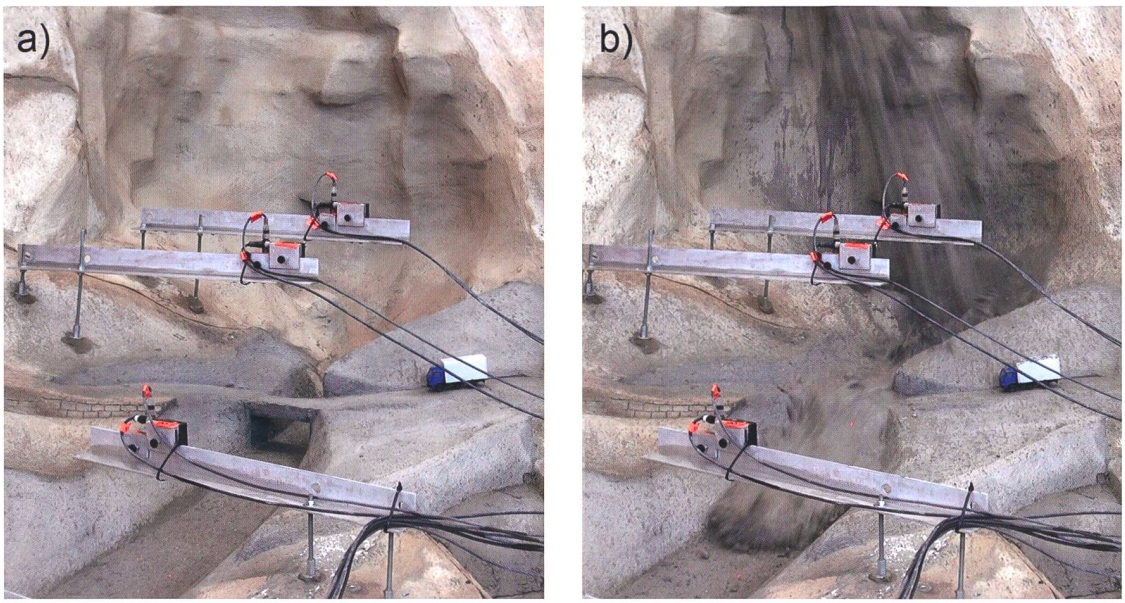
Die Gefahr einer Verklausung der Strassenbrücke *(Bild 4)* direkt unterhalb der Wasserfälle wurde während der Vor- und Sensitivitätsversuche als hoch eingestuft. Als Konsequenz daraus wurden für die weiteren Versuche das Umleit- sowie das Ausleitbauwerk oberhalb dieser Strassenbrücke angeordnet. Um das Problem der Brückenverklausung im Falle der Umleitung zu lösen, wurde die Strassenbrücke oder der daran anschliessende Bereich als im Ereignisfall überströmbare Furt ausgestaltet. Bei der Ausleitung wird der Murgang bereits oberhalb der Brücke auf die rechte Seite des Schwemmkegels ausgeleitet.

Anhand der Versuche mit Schutzbauwerken konnten wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Geometrie und Anordnung der Bauwerke gewonnen werden. So zeigte sich, dass die Grundöffnung im Ausleitbauwerk mit einem Stababstand vom 1,5-Fachen des Grösstkorns und einer Höhe von 3 m ausgelegt werden muss, um ein Verklausen bei Murgangereignissen mit einem Grösstkorn von 0,4 m zu gewährleisten. Grössere Blöcke, die zum Verklausen der Grundöffnung führen, lagern sich hauptsächlich an der Basis der Grundöffnung ab, während der obere Bereich frei bleibt. Bei grösseren Stababständen und Öffnungshöhen konnte in den Versuchen das Verklausen der Grundöffnung deshalb nicht immer beobachtet werden. Zudem zeigte sich, dass die Verklausung mit vertikalen Stäben zuverlässiger erfolgt als mit horizontaler Anordnung bei gleicher Öffnungsgrösse. Neben diesen Erkenntnissen zur Ausgestaltung und Position der Bauwerke wurde mit den Versuchen auch die Robustheit der Schutzkonzepte geprüft. So konnte gezeigt werden, dass die Schutzkonzepte auch bei aufeinander folgenden Murschüben mit einer starken Auflandung im Bereich des Um- bzw. Ausleitbauwerks oder einer veränderten Anströmung des Murgangs über den untersten Wasserfall (Abbruch des markanten Felsvorsprungs) zuverlässig funktionieren.

5. Erkenntnisse für die Planung von Schutzmassnahmen

5.1 Durchleitung

Murgänge können mit einer verbreiterten Wildbachschale durch das Dorf geleitet werden. Die benötigte Kapazität kann mit einer Verbreiterung auf 10 m erreicht werden. Die Brücken über die Wildbachschale stellen aber aufgrund der Verklausungsgefahr kritische Stellen dar. Im unteren Bereich nimmt zudem das Gefälle ab, weshalb die Durchflusskapazität zusätzlich reduziert wird. Aufgrund des begrenzten Modellperimeters konnte dieser kritische Bereich der Schale nicht mittels Murgangversuchen untersucht werden, lässt sich aber numerisch dimensionieren. Die Einleitung des Fellbachs in die Saaservispa muss dabei zwingend berücksichtigt werden.



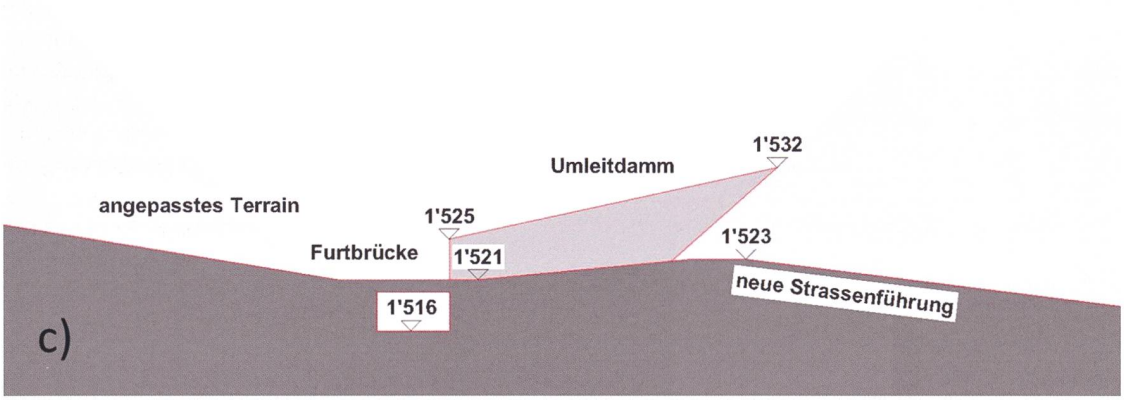


Bild 6: Variante Umleitung: a) vor und b) während eines 100-jährlichen Murgangereignisses und c) angepasste vertikale Strassenführung unterhalb des Umleitdamms (Blick entgegen der Fliessrichtung). Die Dammhöhen sind abhängig von der Strassenführung.

5.2 Umleitung

Um den Murgang im Anschluss an das Kolkbecken umzuleiten, wird zuerst ein Umleitdamm auf der orografisch linken Seite benötigt. Dieser lenkt den Murgang unterhalb der Wasserfälle so um, dass er im neuen Gerinne abfliessen kann. Die bestehende Strassenbrücke wird durch eine «Furtbrücke» ersetzt, um die Verklausungsproblematik zu lösen *(vgl. Bild 6)*. Dazu wird die Strasse auf der orografisch linken Seite angehoben (Kote 1523), um einen Rückfluss zur Siedlung zu verhindern. Der Tiefpunkt der neuen Furtbrücke liegt auf der orografisch rechten Seite (Kote 1521). Die Öffnungsgrösse unterhalb der Brücke wird grösstmöglich dimensioniert. Kommt es bei grösseren Ereignissen dennoch zu einem Verklausen der Grundöffnung, wird die Furtbrücke überströmt. Das Umleitgerinne muss im Bereich direkt nach der Furtbrücke eine Kapazität für das 300-jährliche Ereignis und eine Neigung vor und nach der Brücke von etwa 15 % aufweisen, um ein Weiterfliessen des Murgangs zu gewährleisten und ein Ablagern zu verhindern. Das anschliessende Umleitungsgerinne soll so gestaltet werden, dass es sich optimal und naturnah in die Umgebung einpasst und der Murgangbelastung stand hält. Zusätzlich schützt unterhalb der Furt ein linksseitiger Damm die Siedlung vor übergeschwapptem Murgangmaterial.

5.3 Ausleitung

Ähnlich zum Umleitdamm der Variante Umleitung lenkt eine gewölbte Mauer den Murgang auf die orografisch rechte Seite in Richtung des Ausleitkorridors ab. Dies verhindert, dass der Murgang nach dem Auftreffen im Tosbecken direkt auf die Grundöffnung der Ausleitmauer trifft. So kann gewährleistet werden, dass diese im Ereignisfall zuverlässig verklaust. Die Höhe der Bauwerke ist so zu wählen, dass es bei einem 300-jährlichen Ereignis nicht zu einem Überfliessen kommt. Die Geometrie der Grundöffnung wird auf ein Grösstkorn von 0,4 m ausgelegt (Breite 3,3 m, Höhe 3,0 m und drei vertikale Stäbe mit einem Abstand von 0,6 m und einem Durchmesser von 0,3 m). Ziel dieser Öffnungsgeometrie ist das sichere Verklausen bei Murgängen, welche ein relativ kleines Grösstkorn aufweisen. Zudem erfolgt mit dieser Geometrie auch die Dosierung bei geschiebeführenden Hochwassern in die bestehende Bachschale. Um die Verklausungsproblematik bei der bestehenden Brücke zu lösen, wird die anschliessende Strasse mit einer Furt ausgebildet *(vgl. Bild 7)*. Die Furt soll dabei möglichst breit sein, um einen Rückstau des Murgangs und somit ein Überfliessen der Ausleitmauer zu verhindern. Unterhalb der Furt verhindern zwei Leitmauern bzw. -dämme einen Rückfluss des Murgangs in Richtung Siedlungsgebiet.

6. Schlussfolgerung

Mit den physikalischen Modellversuchen konnte der Einfluss der Wasserfallkaskade auf das Fliessverhalten von Murgängen untersucht werden. Die Fliessgeschwindigkeit der Murgangfront entlang der Wildbachschale unterhalb der Wasserfälle zeigte sich als praktisch unabhängig von den Fliessbedingungen oberhalb der Fellbachkaskade. Durch den Absturz des Murgangs über die Kaskade muss sich dieser beim Ausfliessen aus dem Kolkbecken neu aufbauen, bevor er in der Wildbachschale wiederum auf 6,5 bis 8 m/s beschleunigt.

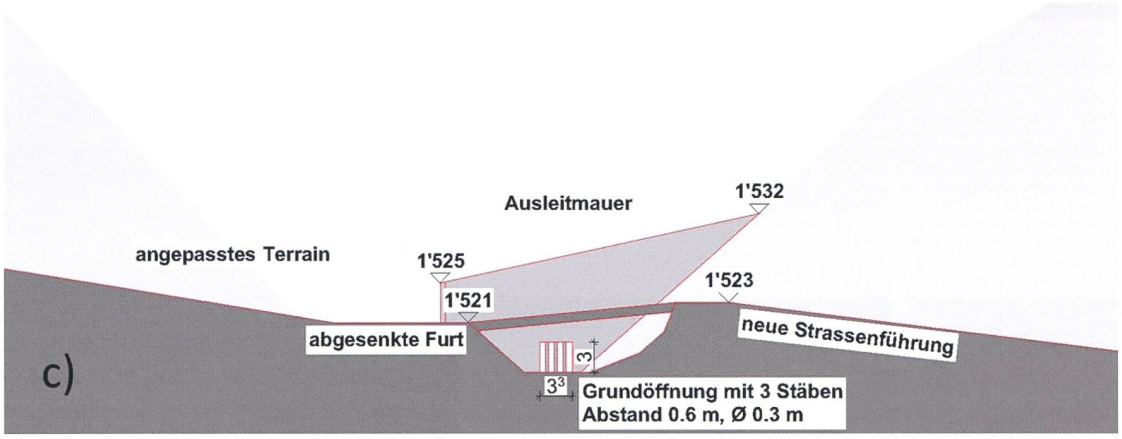
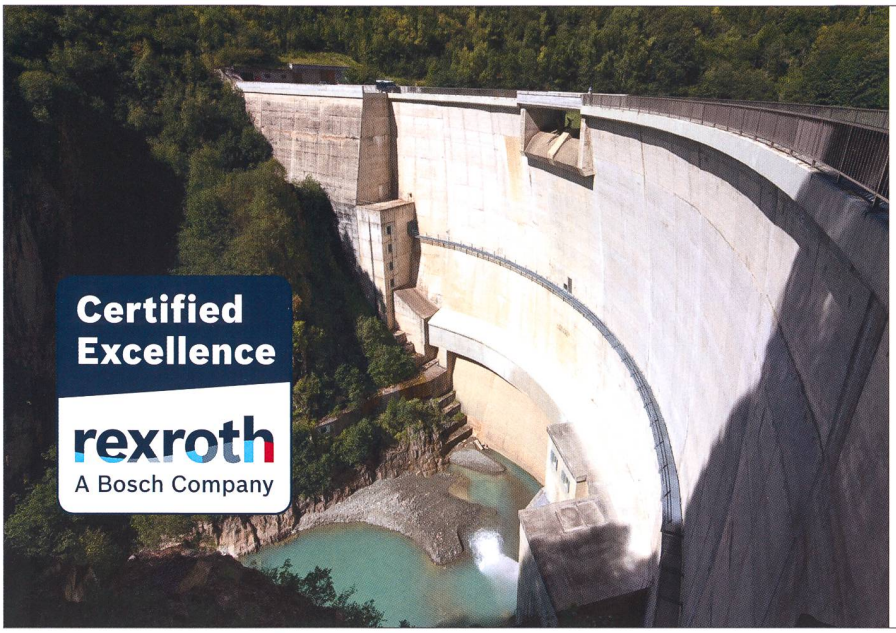


Bild 7: Variante Ausleitung: a) vor und b) nach einem 100-jährlichen Murgangereigniss und c) angepasste Strassenführung unterhalb der Ausleitmauer (Blick entgegen der Fliessrichtung). Die Mauerhöhen sind abhängig von der Strassenführung.

Die Remobilisierung unterhalb der Wasserfälle geschieht dabei unabhängig von der Zusammensetzung des Murgangs (Wassergehalt, Kornzusammensetzung). Erst beim Beschleunigen entlang der Wildbachschale beeinflussen diese Faktoren die Fliessgeschwindigkeiten und Abflusstiefen. Für die weitere Projektierung der Schutzbauwerke ist insbesondere entscheidend, dass Aufgrund der Entkoppelung des Murgangprozesses von den Bedingungen oberhalb zur Situation unterhalb der Wasserfälle am Kegelhals eine geringere Bandbreite an Fliessgeschwindigkeiten resultiert. Weiter konnten der Nachweis über die Funktionalität der einzelnen Schutzkonzepte erbracht und Optimierungen an den Bauwerken bezüglich Geometrie und Positionierung für die verschiedenen Varianten vorgenommen werden. Hier zeigte sich zum Beispiel, dass sich bei der Ausleitung das Grösstkorn bzw. die Murgangmischung entscheidend auf die erforderliche Grösse der Grundöffnung und den Stababstand auswirkt. Um die Verklausungsgefahr an der Strassenbrücke auszuschliessen, wird das Umleit- bzw. Ausleitbauwerk oberhalb der Strassenbrücke angeordnet. Mit den Erkenntnissen aus den physikalischen Modellversuchen können die unterschiedlichen Schutzkonzepte im Vorprojekt weiter ausgearbeitet und einander gegenübergestellt werden.

Quellen:
Berger, C., Christen, M., Speerli, J., Lauber, G., Ulrich, M., McArdell, B. W. (2016). A comparison of physical and computer-based debris flow modelling of a deflection structure at Illgraben, Switzerland. Proc. Int. Symp. Interpraevent. Lucerne, 212–220.
Geo7 AG (2017): Gefahrenbeurteilung Fellbach, Prozess Wasser. Technischer Bericht. geo7 AG (Bern) und Büro für beratende & angewandte Glaziologie (Visp).
Jakob, M., Hungr, O. (2005). Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg.
Speerli, J., Grob, M., Künzi, R., Wyss, P., Zimmermann, M., Pozzi, A. (2008). Glyssibach Brienz, Switzerland: Flood and debris flow event on August 22/23, 2005 – Protection measures against future floods and debris flows. Proc. Int. Symp. Interpraevent. Dornbirn, 384–385.
Speerli, J., Hersperger, R., Wendeler, C., Roth, A. (2010). Physical modelling of debris flows over flexible ring net barriers. In: S. M. Springman, J. Laue, L.J. Seward (eds), Proc. 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Institute for Geotechnical Engineering, ETH Zürich, 1285–1290.

Autoren:
Dr. Catherine Berger, Florian Zimmermann, geo7 AG geowissenschaftliches Büro, Neueldstrasse 5–9, CH-3012 Bern, catherine.berger@geo7.ch (korrespondierende Autorin)
Andrea-Kristin Bachmann, Prof. Dr. Jürg Speerli, HSR, Hochschule für Technik Rapperswil, IBU Institut für Bau und Umwelt, Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Walter Clausen, VWI Ingenieure AG, Kiesweg 2, CH-3904 Naters



Durch unsere **Certified Excellence Partnerschaft** profitieren Schweizer Kunden im Bereich Wasserkraft nun doppelt.
Als Certified Excellence Partner kombinieren wir innovative Produkte und Dienstleistungen von Bosch Rexroth mit dem fundierten Knowhow und den bewährten Fachkräften von BT-Hydraulik.
Eine starke Partnerschaft:
Bosch Rexroth und BT-Hydraulik
– kompetent, zuverlässig, flexibel

BTHYDRAULIK

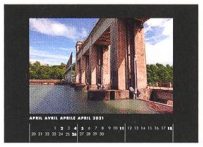
www.boschrexroth.ch
www.bt-hydraulik.ch

Ein willkommenes Geschenk

Überraschen Sie Ihre Kunden mit einem Geschenk, das Ihre Firma über das ganze Jahr 2021 täglich auf sympathische Weise in Erinnerung ruft. Kalender, herausgegeben vom Schweizerischen Talsperrenkomitee, mit Bildern der folgenden Stauanlagen: Chancy-Pougny, Luzzone, Isola, Spitalamm, Gigerwald, Zmutt, Zervreila, Punt dal Gall, les Marécottes, Schlattli, Carassina. Auf der Rückseite finden sich in der Landessprache, in welcher die Stauanlage steht, Informationen über vor kurzem durchgeführte Bauarbeiten.

Un cadeau qui plaît

Surprenez vos clients avec un cadeau qui leur rappellera votre entreprise en 2021, jour après jour, de façon sympathique. Le calendrier publié par le Comité suisse des barrages comprend, entre autres, les posters des barrages suivants: Chancy-Pougny, Luzzone, Isola, Spitalamm, Gigerwald, Zmutt, Zervreila, Punt dal Gall, les Marécottes, Schlattli, Carassina, avec au verso des informations sur des travaux effectués récemment.



Ihr Firmenlogo mit Adresse kann auf der verlängerten Kalenderrückwand aufgedruckt werden. Das Logo bleibt auch beim Umblättern sichtbar.
Votre logo et votre adresse peuvent être imprimés sur la dernière page prolongée du calendrier, afin qu'ils soient toujours visibles.

Bestellung bis spätestens am 10.09.2020*
Commande jusqu'au 10.09.2020*

Kalenderformat/*Format du calendrier*: 420 × 350 mm
Kalenderblätter/*Feuilles du calendrier*: 420 × 297 mm

Ausrüstung/*Equipement*:
Spiralbindung am Kopf mit einem Aufhänger/
Spirale, avec dispositif de suspension

Verpackung/*Emballage*: Spezielle Postversandhülle/
Enveloppe spéciale pour l'expédition

Preise/*Prix*: (plus MWSt. und Versandkosten/
plus TVA et frais d'expédition)

Anzahl Kalender: / ***Nombre de calendriers:***	Preis pro Stück / *Prix unitaire*	(verpackt) / *(avec emballage)*
1–10	CHF 29.–	(CHF 31.–)
11–25	CHF 26.–	(CHF 28.–)
26–50	CHF 23.–	(CHF 25.–)
51–100	CHF 18.–	(CHF 20.–)
101–250	CHF 12.–	(CHF 14.–)
> 250	CHF 10.–	(CHF 12.–)

Firmeneindruck zusätzlich pauschal (gratis ab 500 Kalender) CHF 450.–

Impression du logo, prix forfaitaire (offert à partir de 500 calendriers) CHF 450.–

Wir bestellen den Talsperren Kalender 2021
Nous commandons le calendrier des barrages 2021

Anzahl Kalender/*nombre de calendriers* ☐
Verpackt ☐ ja ☐ nein
Emballage carton ☐ *oui* ☐ *non*
Firmeneindruck ☐ ja* ☐ nein
Impression du logo ☐ *oui* ☐ *non*

(*Logo und Text werden spätestens bis 10.09.2020 zugesandt)
*(*Logo et texte doivent être livrés jusqu'au 10.09.2020)*

Firma/*Société*: _____
Name/*Nom*: _____
Strasse/*Rue*: _____
PLZ, Ort/*NPA, Lieu*: _____
Telefon/*Téléphone*: _____
E-Mail: _____
Datum, Unterschrift: _____
Date et signature: _____

* Kleinauflagen können noch später bestellt werden (solange Vorrat)
** De petits tirages peuvent être commandés jusqu'à épuisement du stock.*

Einsenden an/*envoyer à*:
Schweizerisches Talsperrenkomitee · Andrea Balestra · c/o Lombardi AG
Winkelriedstrasse 37 · CH-6003 Luzern · Tel. +41 41 226 40 89, bestellung_swissdams@lombardi.ch