

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

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

Einfluss der Fellbach-Wasserfälle auf das Fliessverhalten von Murgängen und auf mögliche Schutzmassnahmen

VAW Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108405>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Bachmann, Andrea-Kristin; Speerli, Jürg; Berger, Catherine; Zimmermann, Florian; Clausen, Walter (2021): Einfluss der Fellbach-Wasserfälle auf das Fliessverhalten von Murgängen und auf mögliche Schutzmassnahmen. In: Boes, Robert (Hg.): Wasserbau-Symposium 2021. Wasserbau in Zeiten von Energiewende, Gewässerschutz und Klimawandel. Band 1. VAW Mitteilungen 262. Zürich: ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. S. 193-201.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.

Verwertungsrechte: CC BY 4.0



Einfluss der Fellbach-Wasserfälle auf das Fließverhalten von Murgängen und auf mögliche Schutzmassnahmen

*Influence of the Fellbach cascade on the flow behavior of debris
flows and on protection measures*

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

Kurzfassung

Mit einer Murgangmodellierung in einem physikalischen Modell im Massstab 1:50 wurde der Einfluss einer Wasserfallkaskade auf die Fliesseigenschaften von Murgängen unterhalb der Wasserfälle untersucht. Verschiedene Schutzbauwerke auf dem Schwemmkegel des Fellbachs im Siedlungsgebiet von Saas-Balen wurden überprüft, hinsichtlich Standort und Geometrie optimiert und die Funktionalität nachgewiesen.

Abstract

The influence of a waterfall cascade on the flow behaviour of debris flows below the cascade was investigated in a physical model with a scale of 1:50. Various protection measures on the fan apex of the Fellbach in the settlement area of Saas-Balen were examined, optimised in terms of location and geometry and their functionality was verified.

1 Einleitung und Situation

Die Dynamik im Einzugsgebiet des Fellbachs (Gemeinde Saas-Balen, Kanton Wallis, Schweiz) ist wegen proglazialen Seen, Permafrost-, Gletscher- und Wildbachprozessen ausserordentlich gross. Schadenbringende Murgänge ereigneten sich zuletzt 1957, 1968 und 1970. Entlang des Fellbachs gibt es mehrere Wasserfälle, und im unteren Teil folgt eine Kaskade dreier Wasserfälle mit Höhen von 55 m, 25 m und 70 m. Unterstrom des untersten Wasserfalls fliesst der Fellbach zuerst in einem natürlichen Gerinne und dann in einer Wildbachschale durch das Dorf Saas-Balen und mündet im Anschluss in die Saaservispa. Das Dorf liegt auf dem Schwemmkegel des Fellbachs, über 20 Gebäude befinden sich im Bereich mit erheblicher Gefährdung, weshalb Schutzmassnahmen notwendig sind und abgeklärt werden.

2 Schutzmassnahmen

In einer Vorstudie wurden Massnahmenvarianten skizziert. Dabei zeigte sich, dass die favorisierten Lösungen im Bereich des Schwemmkegels liegen und die Konzepte Durchleitung, Umleitung und Ausleitung umfassen (Abb. 1).

Für die Projektierung von Schutzbauwerken ist entscheidend zu wissen, ob und wie die Wasserfälle die Abflussspitze, die Fliessgeschwindigkeit und die Abflusstiefe von Murgängen unterstrom der Kaskade beeinflussen. Mit einer physikalischen Murgangmodellierung soll dies geklärt werden. Für die Varianten Durchleitung, Umleitung und Ausleitung soll der Nachweis der Funktionalität erbracht und soweit möglich optimiert werden.

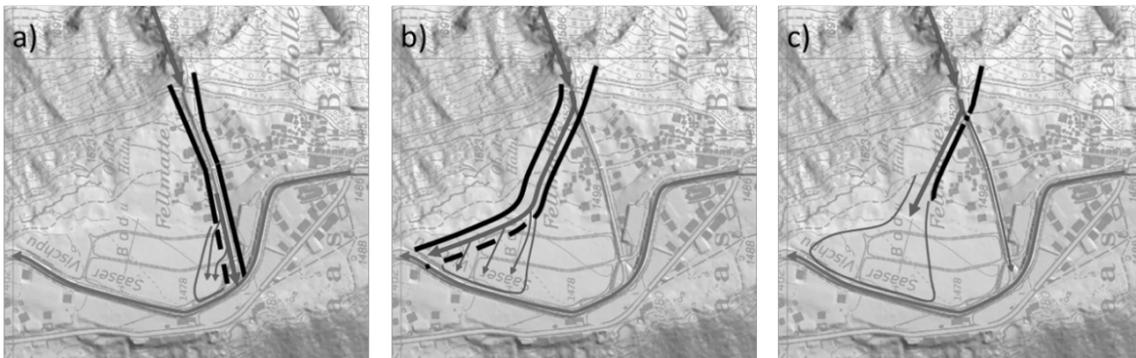


Abb. 1: Mögliche Schutzmassnahmen auf dem Kegelhal des Fellbachs mit a) Durchleitung mit ausgebauter Wildbachschale, b) Umleitung mit neuem Gerinne und c) Ausleitung auf das Ablagerungsgebiet bei Murgangereignissen.

Die Überprüfung und Auslegung der Schutzbauwerke erfolgt für Murgangereignisse mit Wiederkehrperioden von 100 und 300 Jahren.

Tab. 1: Murgang-Szenarien für verschiedene Wiederkehrperioden. V_{Total} bezeichnet das totale Murgangvolumen, V_{Schub} das maximale Murgangvolumen für einen Schub und $Q_{\text{max Schub}}$ der maximale Murgangabfluss bei einem Schub.

Wiederkehrperiode	V_{Total} [m ³]	V_{Schub} [m ³]	$Q_{\text{max Schub}}$ [m ³ /s]
100-jährlich	25'000 – 28'000	10'000	150
300-jährlich	33'000 – 41'000	20'000	300

3 Digitale Grundlegendaten

Für den Bau des physikalischen Modells wurden die notwendigen topografischen Daten im Feld mit einer Drohne und einem GPS-Gerät aufgenommen. Mit den Drohnen-Fotos wurde mittels Photogrammetrie eine Punktwolke des Geländes

generiert. Durch Triangulation der Punktwolke wurde das digitale Geländemodell (DOM) erstellt. Über den ganzen Untersuchungsperimeter wurden Referenzpunkte markiert und mit einem GPS-Gerät vermessen. Die Referenzpunkte sind auf den Drohnen-Fotos erkennbar, wodurch das DOM georeferenziert werden konnte. Aus dem DOM wurde in einem nächsten Schritt ein Gitter erstellt, aus welchem die erforderlichen Quer- und Reliefprofile für den Bau des physikalischen Modells erzeugt wurden.

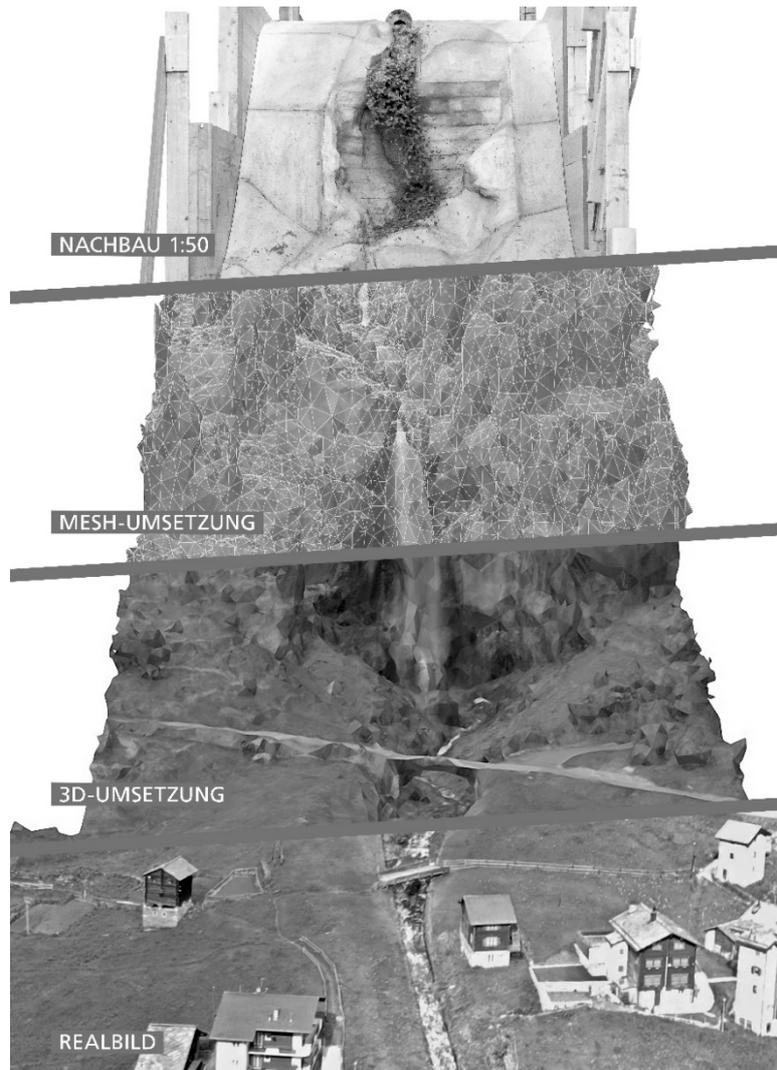


Abb. 2: Work-Flow: Vom Drohnenbild zum physikalischen Modell im Massstab 1:50.

4 Physikalische Murgangmodellierung

Ein Modellmassstab von 1:50 wurde basierend auf durchgeführten Murgangmodellierungen an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz (Speerli *et al.*, 2008; Berger *et al.*, 2016) gewählt. Mit diesem Massstabsfaktor können die physikalischen Prozesse ausreichend genau nachgebildet werden. Abbildung 3 zeigt den Modellperimeter der Murgangmodellierung.

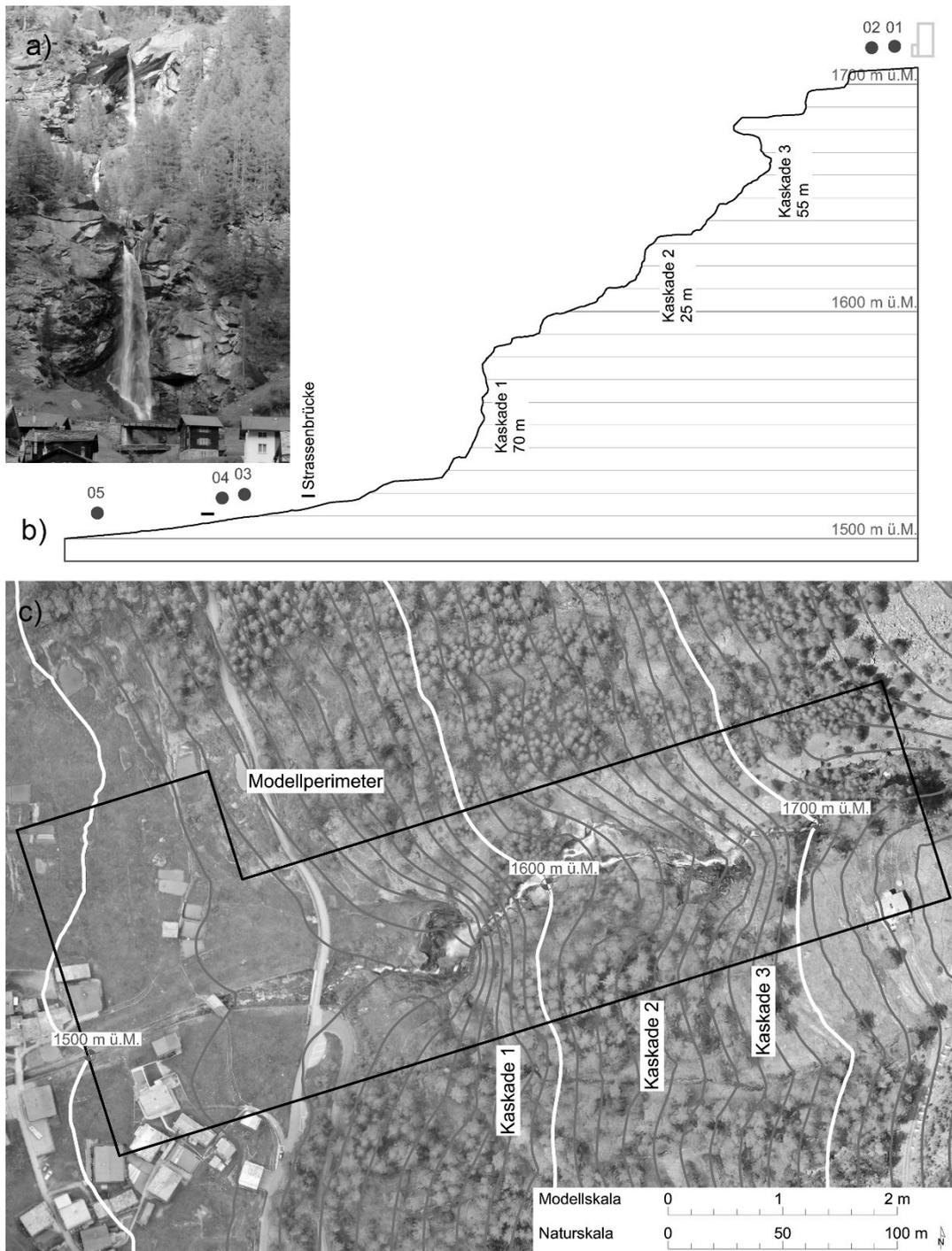


Abb. 3: Modellperimeter des physikalischen Modells. Er umfasst die untersten 3 Wasserfälle sowie den oberen Teil der Wildbachschale. a) zeigt die unteren 3 Wasserfälle in Natur, b) Längsprofil mit Murgangtank (□) aus welchem die Murgangmischung in das Modell fließt und den Messprofilen 1 bis 5, c) Orthofoto mit Höhenlinien und Modellperimeter.

Als Zielgrößen wurden für diese Untersuchung der Spitzenabfluss für ein 100- und ein 300-jährliches Ereignis sowie das Volumen der entsprechenden Murschübe definiert (Tabelle 1). Im Rahmen von Vorversuchen wurde die Murgangmischung variiert, bis die Zielgrößen bestmöglich erreicht wurden.

Mit Ultraschall- und Lasermessgeräten wurden die mittlere Fließgeschwindigkeit der Murgangfront zwischen zwei Messprofilen, die Murganghöhe und die Ablagerungshöhe messtechnisch erfasst. Der Murgangabfluss wurde mit der mittleren Fließgeschwindigkeit, der Abflusshöhe und aus der Geometrie der Messprofile rechnerisch bestimmt. Ein Ultraschallmessgerät wurde über dem Tank, aus welchem die Murgangmischung ins Modell fließt, montiert. Aufgrund der gemessenen zeitlichen Änderung des Murgangspiegels im Tank wird der maximale und mittlere Murgangabfluss aus dem Tank, respektive ins Modell bestimmt. Detaillierte Informationen zu den verwendeten Messgeräten, Messtechnik und Datenauswertung sind in Speerli *et al.* (2010) aufgeführt.

Insgesamt wurden 93 Murgangversuche durchgeführt. Die Umrechnung der gemessenen Modellwerte auf Naturwerte erfolgt gemäss dem Froudeschen Ähnlichkeitsgesetz. Alle Zahlenwerte sind hier als Naturwerte aufgeführt.

5 Ergebnisse

5.1 Sensitivitätsanalyse

Der Einfluss der Wasserfälle auf die Fliesseigenschaften eines Murgangs unterstrom des untersten Wasserfalls wurde systematisch untersucht. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurde eine Änderung eines einzelnen Parameters auf das Fließverhalten eines Murgangs überprüft. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Schutzbauwerke hinsichtlich Geometrie und Standort auslegt. Diese Versuche dienen zudem dem Prozessverständnis. Die nachfolgenden Parametervariationen wurden durchgeführt.

- Wassergehalt 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.
- Volumen eines Murschubes: 10'000 m³ (100-jährliches Ereignis) und 20'000 m³ (300-jährliches Ereignis).
- Grösstkorn der Murgangmischung: 0.4 m – 1.6 m, wobei vier verschiedene Murgangmischungen mit folgenden Bereichen verwendet wurden: A: 0 – 0.4 m; B: 0 – 0.8 m; C: 0 – 1.0 m und D: 0 – 1.6 m.
- Versuche ohne und mit Schwemmholz.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit der Murgangfront für ein 300-jährliches Ereignis und verschiedene Murgangmischungen ist als Beispiel in Abbildung 4 dargestellt. Die Werte bei Metrierung 0 m zeigen die Austrittsgeschwindigkeiten der Murgänge aus dem Tank. Die Werte im Bereich der Metrierung 0-25 m geben die

mittleren Fließgeschwindigkeiten der Murgangfront zwischen den Profilen 1 bis 2 (Abb. 3), gefolgt von den mittleren Fließgeschwindigkeiten über die drei Wasserfälle (Profile 2 bis 3) und schliesslich die entsprechenden Werte in der Wildbachschale (Profile 4 bis 5) an. Analoge Grafiken wurden auch für die Höhe der Murgangfront und den Murgangabfluss erstellt.

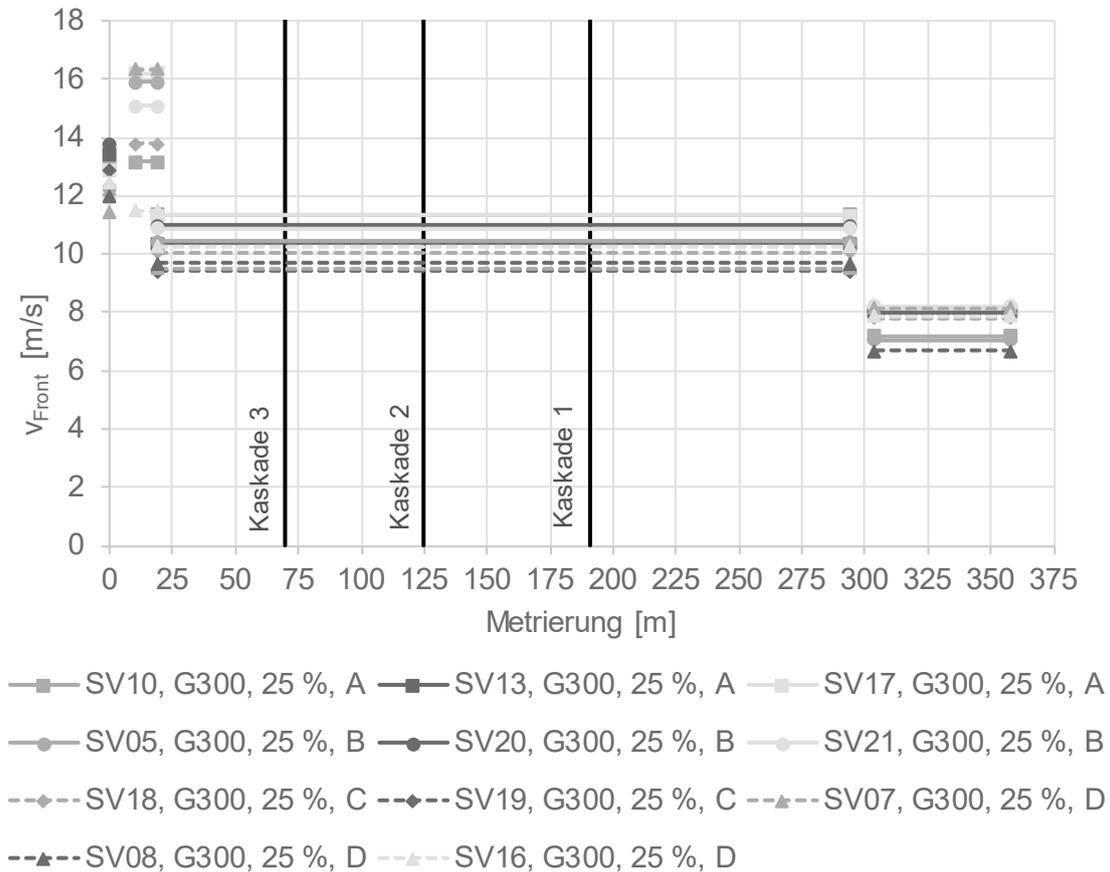


Abb. 4: Mittlere Fließgeschwindigkeit der Murgangfront (v_{Front}) von einem Messquerschnitt zum nächsten für ein 300-jährliches Ereignis (G300) mit einem Wassergehalt von 25% für vier verschiedene Murgangmischungen: A: 0 – 0.4 m; B: 0 – 0.8 m; C: 0 – 1.0 m und D: 0 – 1.6 m.

Die Austrittsgeschwindigkeit der Murgangmischung aus dem Tank liegt für ein 300-jährliches Ereignis zwischen rund 11.5 und 14 m/s. Im Anschluss beschleunigt die Murgangfront im Modell und weist mittlere Fließgeschwindigkeiten von rund 11.5 bis 16.5 m/s auf. Zwischen den Profilen 2 und 3 (Wasserfallkaskade) liegt die mittlere Fließgeschwindigkeit in einem Bereich von 9.5 bis 11.5 m/s. Am Fuss des untersten Wasserfalls befindet sich ein kleiner Pool, der die Wirkung eines Tosbeckens hat. Dort wird der Murgang infolge Energieabsorption abgebremst und muss sich neu aufbauen bevor er weiterfließt. Aufgrund der Längsneigung von ca. 15% in der Wildbachschale beschleunigt der Murgang wieder auf rund 6.5 bis 8 m/s.

Folgende Folgerungen können aus den Sensitivitätsversuchen gezogen werden: Je grösser das Murgangvolumen ist umso grösser wird die Fliessgeschwindigkeit. Ein grösserer Wasseranteil führt tendenziell zu grösseren Fliessgeschwindigkeiten. Die Zusammensetzung der Murgangmischung hat keinen tendenziellen Einfluss auf die Fliessgeschwindigkeit gezeigt. Die Fliessgeschwindigkeit in der Wildbachschale ist nahezu unabhängig von den Fliessbedingungen oberhalb der Wasserfallkaskade. Das Risiko für eine Verklauung der Strassenbrücke (Abb. 3) über die Wildbachschale wurde als hoch eingestuft. Als Konsequenz daraus wurden das Umleit- sowie das Ausleitbauwerk oberhalb dieser Strassenbrücke angeordnet.

5.2 Schutzbauwerke

5.2.1 Durchleitung

Murgänge können durch eine verbreiterte Wildbachschale (ca. Verdoppelung der heutigen Sohlenbreite) durch das Dorf durchgeleitet werden. Kritisch sind die Brücken über die Wildbachschale wegen Verklauungsgefahr.

5.2.2 Umleitung

Das Schutzbauwerk besteht aus einem Umleitdamm und einer neuen Strassenbrücke über den Umleitkanal. Die Durchlassöffnung unter der Strassenbrücke ist 3.3 m hoch und 7.2 m breit. Die heutige Linienführung der Strasse muss angepasst werden, so dass auch bei einer Verklauung des Durchlasses Murgänge über die Strassenbrücke schadlos abgeführt werden.

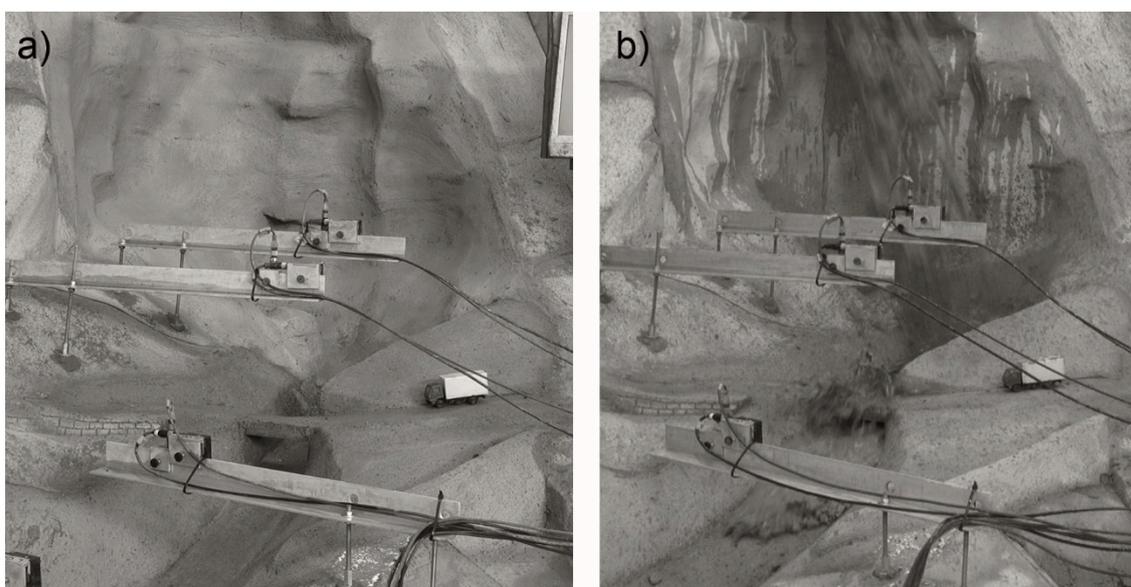


Abb. 5: Variante Umleitung mit a) Umleitdamm und neuer Strassenbrücke und b) Situation während einem 100-jährlichen Murgangereignis. Der Murgang fliesst durch den Durchlass in den neuen Umleitkanal. Einzelne Wellen überschwappen die Brücke.

5.2.3 Ausleitung

Das Ausleitbauwerk besteht aus einer Betonmauer mit Grundöffnung. Die Geometrie der Grundöffnung im Ausleitbauwerk wurde so ausgelegt, dass fluviale Ereignisse mit Geschiebetransport durch die Grundöffnung abgeführt werden können. Erst bei Murgängen soll es zu einer Verklausung der Grundöffnung und Ausleitung führen. Die Geometrie der Grundöffnung sowie der vertikalen Zwischenstäben wurde auf das Grösstkorn der kleinsten Murgangmischung (Mischung A mit Grösstkorn 0.4 m) ausgelegt. Aufgrund von früheren Untersuchungen an der HSR und der Fellbachuntersuchung wurde der lichte Abstand zwischen den vertikal angeordneten Stäben auf 1.5 mal den Durchmesser des Grösstkorns ausgelegt.

Die aufgrund der Versuchen optimierte Geometrie der Grundöffnung beträgt in der Höhe 3.0 m und in der Breite 3.3 m, weist 3 vertikale Zwischenstäbe mit je einem Durchmesser von 0.3 m und einem lichten Stababstand von 0.6 m auf. Bei einer Grundöffnung, die höher als 3 m ist, kommt es nur zu einer Teilverklausung im Sohlenbereich. Im oberen Bereich fliesst der Murgang durch die Grundöffnung weiter und kann so nicht zuverlässig ausgeleitet werden. Versuche mit horizontal angeordneten Stäben haben gezeigt, dass die Verklausung der Grundöffnung nicht genügend zuverlässig erfolgt. Die Stäbe sind daher vertikal anzuordnen.

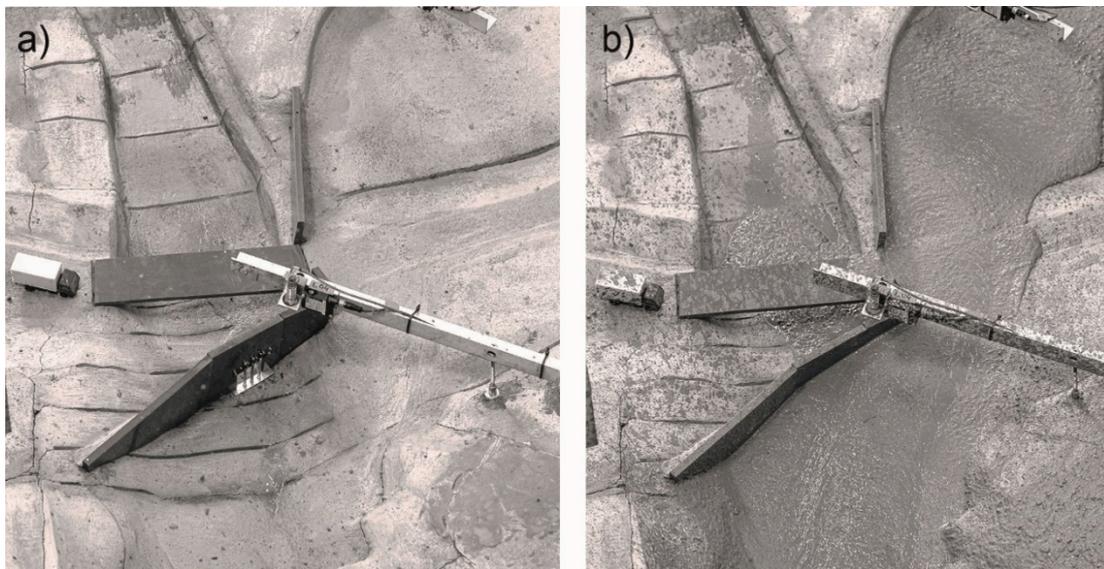


Abb. 6: Variante Ausleitung mit a) Ausleitbauwerk mit Grundöffnung und b) Situation nach einem 100-jährlichen Murgangereignis.

6 Fazit und Ausblick

Der Einfluss einer Wasserfallkaskade auf das Fliessverhalten von Murgängen konnte aufgezeigt werden. Die Fliessgeschwindigkeit der Murgangfront in der Wildbachschale ist praktisch unabhängig von der Fliessgeschwindigkeit oberhalb

der Wasserfallkaskade. Durch das Auftreffen des Murgangs beim untersten Wasserfall auf die Sohle bremst der Murgang leicht und muss sich neu aufbauen bevor er Richtung Wildbachschale beschleunigt. Die Fließgeschwindigkeit in der Wildbachschale liegt im Bereich von 6.5 bis 8 m/s. Der Nachweis der Funktionalität für die einzelnen Varianten von Schutzmassnahmen konnte erbracht und Optimierungen an den einzelnen Varianten vorgenommen werden. Basierend auf den Erkenntnissen der Modellversuche wird durch das Planerteam geo7 AG und VWI Ingenieure AG das Variantenstudium für die Schutzkonzepte durchgeführt und die Bestvariante ermittelt.

Referenzen

- 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.
- 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.

Adressen der AutorInnen

Andrea-Kristin Bachmann (korrespondierende Autorin)

Prof. Dr. Jürg Speerli

HSR Hochschule für Technik Rapperswil, IBU Institut für Bau und Umwelt

CH-8640 Rapperswil, Oberseestrasse 10

andrea-kristin.bachmann@hsr.ch

Dr. Catherine Berger

Florian Zimmermann

geo7 AG geowissenschaftliches Büro

CH-3012 Bern, Neufeldstrasse 5-9

Walter Clausen

VWI Ingenieure AG

CH-3904 Naters, Kiesweg 2