

# Erkenntnisse aus physikalischen Murgangversuchen für die Praxis

Catherine Berger, geo7 AG Geowissenschaftliches Büro, Bern, Schweiz

**Physikalische Murgangversuche können eine wichtige Grundlage für die Projektierung von Schutzbauwerken sein und wurden beispielsweise am Fellbach, am Illgraben und am Lammbach durchgeführt. Mit den Erkenntnissen aus dem Prozessverhalten konnten Unsicherheiten reduziert, Bauwerke optimiert und Nachweise zur Funktionalität erbracht werden. Die Optimierungen betrafen die Anordnung im Gelände und die Dimensionen der Bauwerke. Dadurch konnten sowohl die Massnahmenkosten als auch der visuelle Impact reduziert werden. Ein weiterer Mehrwert ergab sich für Aktivitäten im Rahmen der Kommunikation und Partizipation zur Förderung von Verständnis und Akzeptanz. Durch die enge Zusammenarbeit in interdisziplinären Projektteams wurden unterschiedliche Kompetenzen und Erfahrungen optimal zusammengeführt.**

## 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). Im Rahmen der Projektierung von Schutzmassnahmen am Illgraben (Gemeinde Leuk, VS), am Fellbach (Gemeinde Saas-Balen, VS) und am Lammbach (Gemeinden Brienz, Hofstetten und Schwanden, BE) zeigte sich der Bedarf für die physikalische Modellierung von Murgängen. Im Fokus der Untersuchungen standen das Prozessverhalten der Murgänge während der Interaktion mit den Bauwerken, der Nachweis der Funktionalität sowie die Optimierung der Bauwerke. Die physikalischen Modellversuche bauten dabei auf den Erfahrungen aus ähnlichen Versuchsanordnungen an der OST – Ostschweizer Fachhochschule (ehem. HSR Hochschule für Technik Rapperswil) am Institut für Bau und Umwelt auf (vgl. Speerli *et al.* 2008a, b, 2010).

Im Folgenden werden die physikalischen Murgangversuche am Fellbach, am Illgraben und am Lammbach kurz beschrieben. Bei den daraus abgeleiteten Erkenntnissen für die Praxis und Schlussfolgerungen handelt es sich um eine persönliche Einschätzung der Autorin.

## 2 Drei Beispiele für physikalische Modellversuche

Murgänge aus dem Fellbach (Gemeinde Saas-Balen, VS) gefährden das Dorf Saas-Balen, welches sich auf dem Schwemmkegel des Fellbachs befindet. Die Dynamik im oberen Einzugsgebiet des Fellbachs mit proglazialen Seen, Permafrost- und Gletscherprozessen ist ausserordentlich hoch und komplex. Die Kaskade aus drei Wasserfällen mit Höhen von bis zu 70 m direkt oberhalb des Schwemmkegels verursacht grosse Unsicherheiten bezüglich des Fliessverhaltens von Murgängen und den daraus folgenden Einwirkungen auf Bauwerke, welche sich unterhalb des untersten Wasserfalls befinden. Mit den physikalischen Modellversuchen wurden der Einfluss der Wasserfälle auf das Fliessverhalten von Murgängen, die resultierenden Fliessparameter sowie die Funktionalität einer Umleitung (Abb. 1) und einer Ausleitung (Abb. 2) untersucht. Die Modellversuche wurden im Massstab 1:50 durchgeführt. Die physikalischen Modellversuche sowie Hintergründe zum Projekt sind ausführlich in Bachmann *et al.* (2021) und Berger *et al.* (2020) beschrieben.

Der Illgraben (Gemeinde Leuk, VS) gehört mit mehreren Murgängen pro Jahr zu den aktivsten Wildbächen der Alpen. Grosse Murgänge gefährden das Dorf Susten und weitere Siedlungen, welche sich auf der orographisch rechten Seite des Kegels befinden. Aufgrund der Häufigkeit und Grösse der Murgänge ist ein Rückhalt der Murgänge nicht zielführend. Im Rahmen der Projektierung von Schutzmassnahmen wurde daher eine teilweise Ausleitung von Murgängen am Kegelhals auf die orographisch linke Seite in den Pfywald abgeklärt. Das projektierte Ausleitbauwerk bestand aus einer Bresche und einer Schlitzsperre, die Anordnung erfolgte in einer relativ engen Kurve am Kegelhals. Das Schutzkonzept sieht vor, dass grosse Murgänge aufgrund ihrer Trägheit und Fronthöhe in der Kurve durch die Bresche in Richtung Pfywald überfliessen und dadurch teilweise ausgeleitet werden (Abb. 3). Kleinere Murgänge fliessen durch das Ausleitbauwerk und weiter im bestehenden Gerinne. Aufgrund der Komplexität der Ausleitung in einer Kurve lag der Fokus der Modellversuche auf dem Nachweis der Funktionalität sowie der Optimierung der Trennschärfe des Ausleitbauwerks. Die Modellversuche wurden im Massstab 1:60 durchgeführt. Die physikalischen Modellversuche sowie Hintergründe zum Projekt sind ausführlich in Berger *et al.* (2014) und Berger *et al.* (2016) beschrieben.

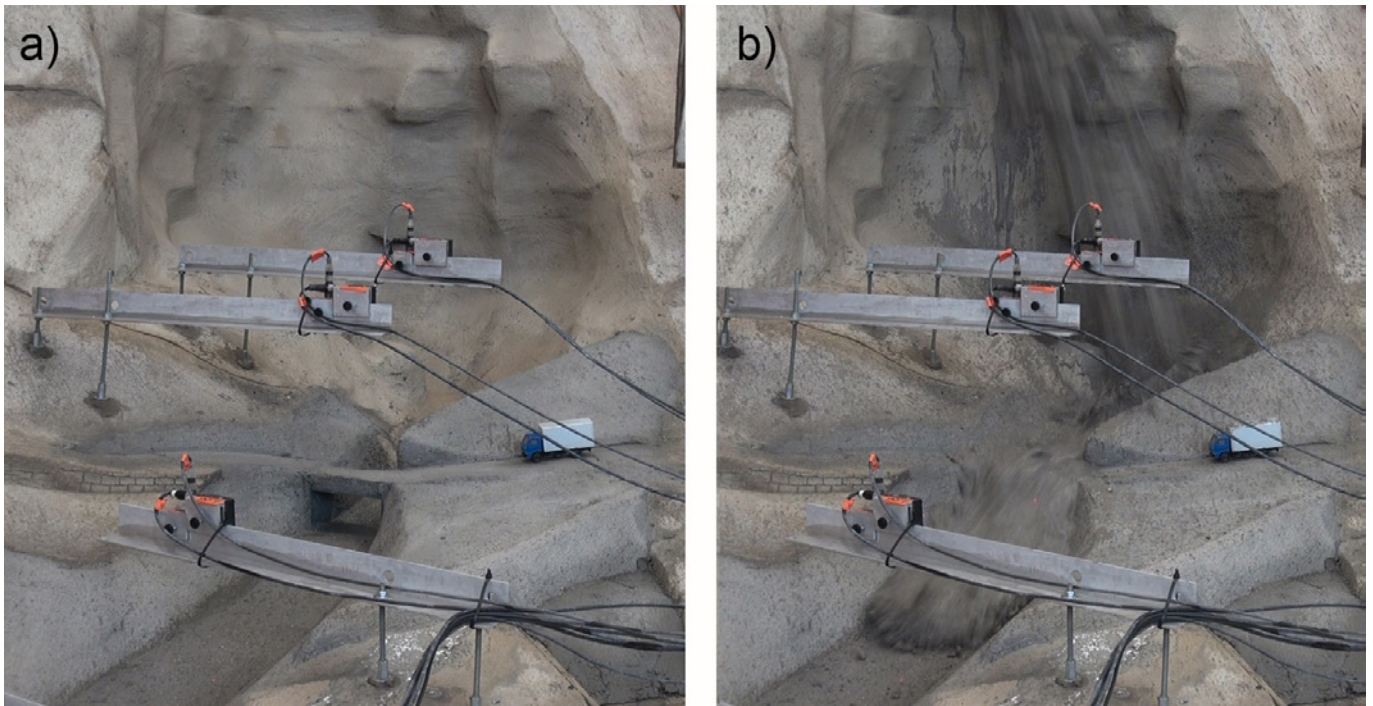


Abb. 1. Physikalische Modellversuche am Fellbach (Gemeinde Saas-Balen, VS), Variante Umleitung: a) vor und b) während eines 100-jährlichen Murgangereignisses. Fließrichtung von oben nach unten. Abbildung entnommen aus Berger *et al.* (2020).

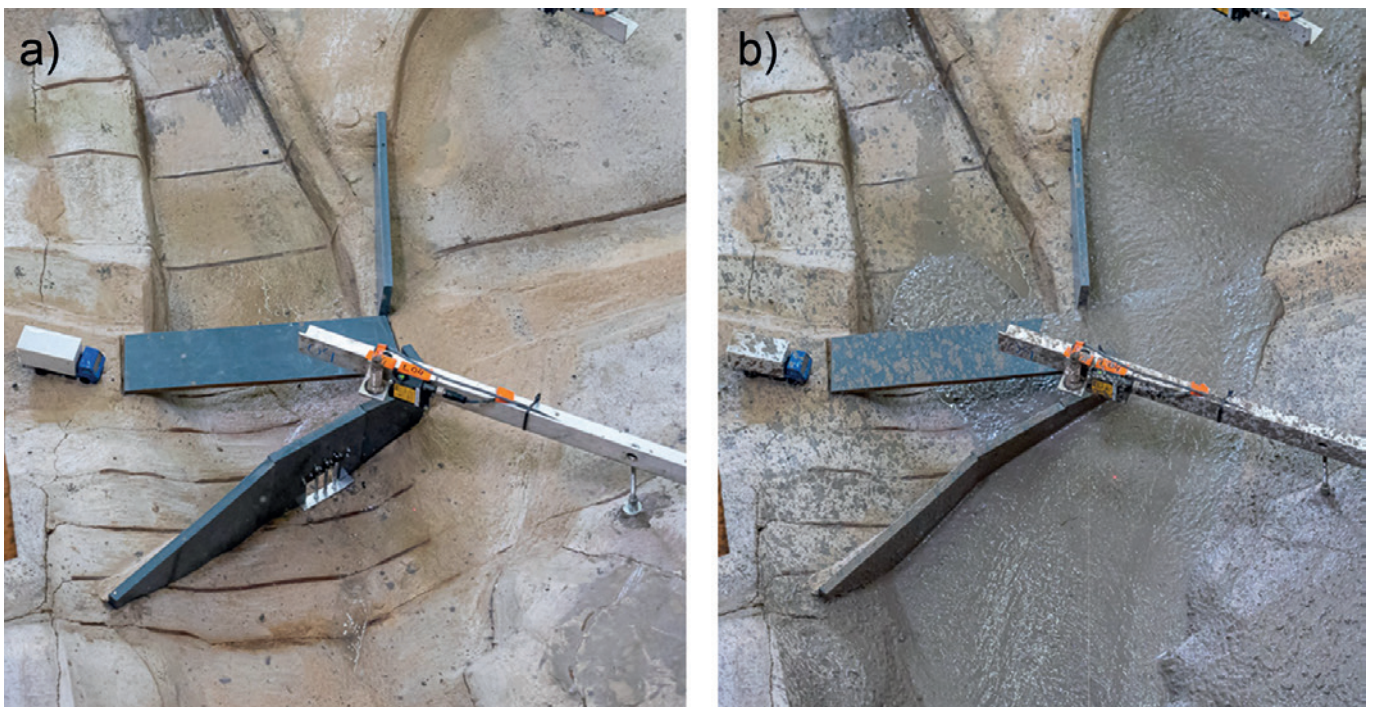


Abb. 2. Physikalische Modellversuche am Fellbach (Gemeinde Saas-Balen, VS), Variante Ausleitung: a) vor und b) während eines 100-jährlichen Murgangereignisses. Fließrichtung von unten nach oben. Abbildung entnommen aus Berger *et al.* (2020).

Murgänge aus dem Lammbach gefährden auf dem Kegel liegende bewohnte Gebiete der Gemeinden Brienz, Schwanden und Hofstetten (BE). Aufgrund dieser Gefährdung wurde ein Schutzkonzept mit unterschiedlichen Massnahmelementen entwickelt. Unter anderem wurde im Gebiet Roossi ein Geschiebesammler realisiert, welcher im Falle eines Grossereignisses das Murgang-

material teilweise zurückhält. Die Rückhaltesperre des Geschiebesammlers soll fluviiale Ereignisse und kleinere Murschübe ohne nennenswerten Rückhalt durchleiten und grosse Murschübe teilweise zurückhalten. Der Geschiebesammler ist zu klein, um grosse Murschübe ganz zurückzuhalten. Deshalb wurde auch das Überfließen der Überfallsektion untersucht. Bei den Murgangversuchen

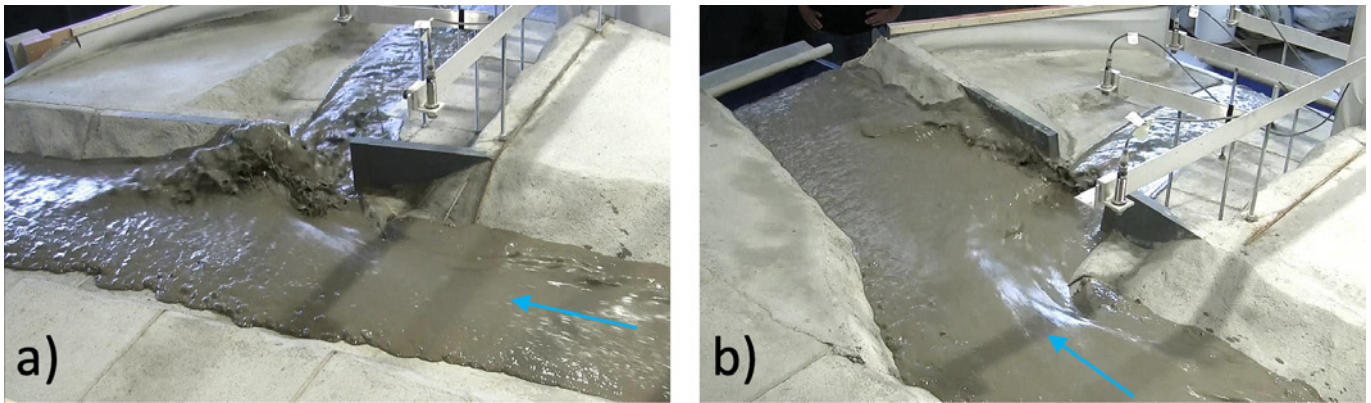


Abb. 3. Physikalische Modellversuche am Illgraben (Gemeinde Leuk, VS): a) Ausgangsgeometrie und b) optimierte Geometrie. Die grosse stehende Welle in der Ausgangsgeometrie ist gut ersichtlich, in der optimierten Geometrie ist sie fast nicht mehr vorhanden. Abbildung entnommen aus Berger *et al.* (2014).

für den Geschiebesammler Roossi wurde insbesondere die Ausbildung der Öffnungen und Balkenabstände des Abschlussbauwerkes untersucht. In diesem Zusammenhang spielte das abgeschätzte Grösstkorn des Murgangs eine entscheidende Rolle. Weiter wurden unterschiedliche Sohlenlagen sowie die Funktionalität bei mehreren Schüben untersucht. Die Modellversuche wurden im Massstab 1:50 durchgeführt. Die physikalischen Modellversuche sowie Hintergründe zum Projekt sind ausführlich in HSR IBU (2017) beschrieben.

### 3 Erkenntnisse für die Praxis

Im Rahmen der hier beschriebenen physikalischen Modellversuche wurden aussergewöhnliche Geländesituationen, deren Auswirkungen auf das Fliessverhalten von Murgängen sowie die Interaktion mit Bauwerken untersucht. Die aussergewöhnlichen Geländesituationen umfassten eine Kaskadensituation mit drei Wasserfällen wie am Fellbach und eine Kurvensituation wie am Illgraben. In Bezug auf die Interaktion mit Bauwerken wurde die Funktionalität untersucht sowie die Anordnung und Geometrie der Bauteile optimiert. Ein Schwerpunkt lag auf der Abklärung der Anströmung (Fliessparameter), Trennschärfe sowie Robustheit der Schutzbauwerke. Die Optimierungen erfolgten dabei schrittweise und Sensitivitätsanalysen rundeten die Modellversuche ab. Die physikalische Modellierung basiert auf der Vorgabe von Zielgrössen, wie zum Beispiel Fliessgeschwindigkeit, Fliesshöhe oder Murgangvolumen. Diese Zielgrössen müssen im Rahmen der Projekterarbeitung festgelegt werden. Die Murgangmischung im Modell wird so ausgelegt, dass die Zielgrössen im Modell bestmöglich nachgebildet werden können.

Für die Projektierung der Schutzmassnahmen waren die Erkenntnisse aus den physikalischen Modellversuchen äusserst wertvoll. Während der Versuche erfolgte eine sehr detaillierte Auseinandersetzung mit der Situ-

ation, den Murgangprozessen und dem Schutzbauwerk. Die zahlreichen Bildaufnahmen (Videos, Fotos) sowie Messungen erlaubten eine sehr detaillierte Analyse. Das Verhalten der Murgänge und die Interaktion mit den jeweiligen Bauwerken wurden sprichwörtlich vor Augen geführt. Mit den systematischen Versuchsreihen konnten unterschiedliche Murganggrössen, Rheologien und Bauwerksgeometrien betrachtet und Zusammenhänge erkannt werden. Schrittweise konnten die Bauwerke in Bezug auf ihre Anordnung und Geometrie optimiert und die Nachweise der Funktionalität und Robustheit erbracht werden. Zuvor bestandene grosse Unsicherheiten bezüglich des Fliessverhaltens in speziellen Geländesituationen (Kaskade / Kurve) konnten durch die Modellversuche stark reduziert werden.

Die Ergebnisse aus den physikalischen Modellversuchen bildeten die Grundlage für die weitere Projektierung der Schutzmassnahmen. Dabei konnten durch die optimierten Geometrien auch die Massnahmenkosten reduziert werden. Die hier beschriebenen physikalischen Modellversuche waren aufgrund ihrer räumlichen Dimensionen in der Versuchshalle, ihrer Murganggrössen und ihrer Anzahl sehr aufwändig und herausfordernd. Eine Kombination der physikalischen Modellversuche mit numerischer Modellierung, eine sogenannte hybride Modellierung, bietet Synergiemöglichkeiten für beide Verfahren. So zeigen erste Ergebnisse aus hochaufgelösten 3D-Simulationen mit DebrisInterMixing und dem Vergleich mit den physikalischen Modellversuchen am Fellbach vielversprechende Resultate (Abb. 4, vgl. auch Von Boetticher *et al.* 2022). Auf diese Weise könnten beispielsweise zusätzliche Parameterkombinationen oder die Feinjustierung von Bauwerken mit spezifischer Software ausgeführt werden (vgl. z.B. die Aktivitäten von Laboratorium 3D in Biasca, TI).

Das umfangreiche Bildmaterial wurde auch im Rahmen der Kommunikation und des partizipativen Prozesses während der Entwicklung der Hochwasserschutzprojekte eingesetzt. Die physikalischen Modell-

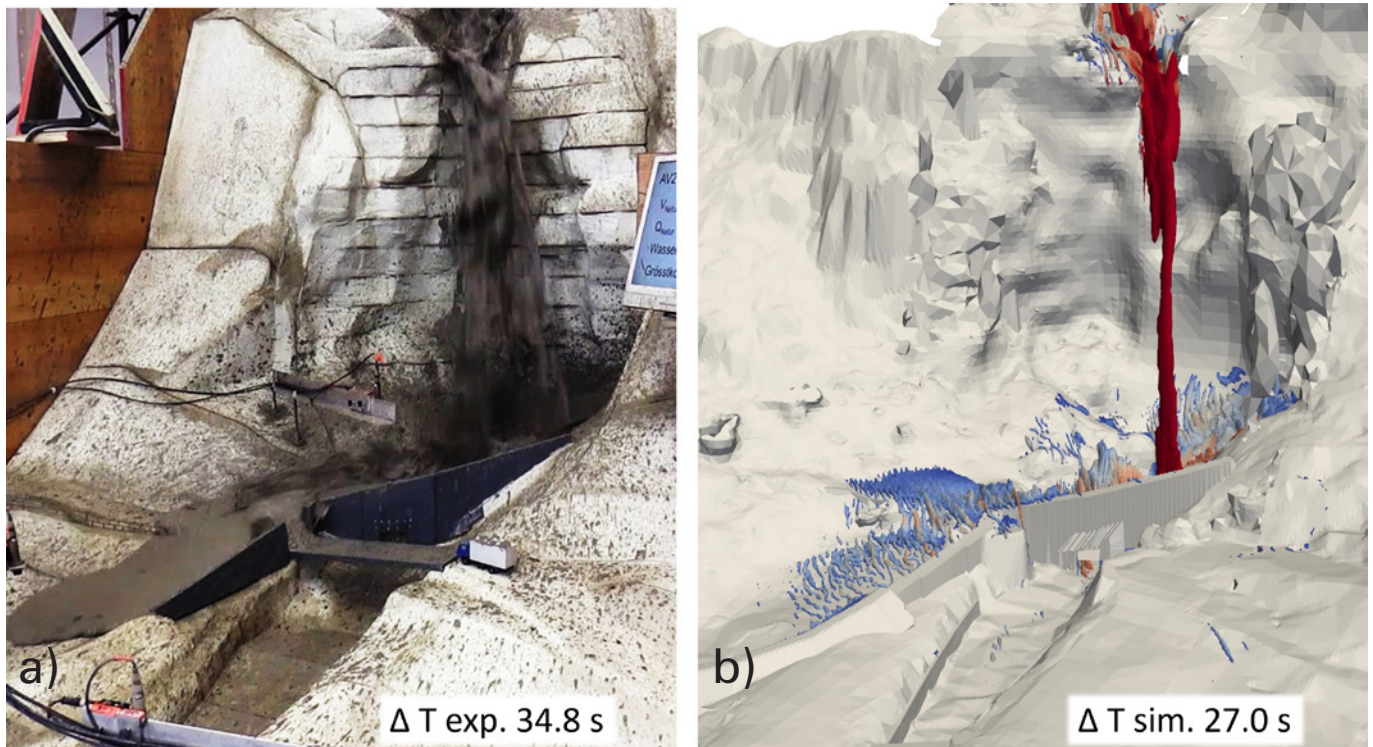


Abb. 4. Situation am Fellbach (Gemeinde Saas-Balen, VS) mit a) physikalischer Modellierung und b) numerischer Modellierung mit dem numerischen 3D-Modell DebrisInterMixing. Abbildung entnommen aus Von Boetticher *et al.* (2022).

versuche konnten ihre Funktionalität und Robustheit sehr anschaulich aufzeigen und ermöglichten eine alternative Art der Informationsvermittlung. Auch fanden Besuchstage für Vertreterinnen und Vertreter von Auftraggebern, Behörden sowie direkt Beteiligte statt, wodurch das Hochwasserschutzprojekt bereits während der Planung konkret und greifbar wurde.

#### 4 Schlussfolgerungen

Die physikalischen Modellversuche am Fellbach, am Illgraben und am Lammbach bildeten eine äusserst wichtige Grundlage für die weitere Projektierung der Schutzbauwerke. Mit den Erkenntnissen aus dem Prozessverhalten konnten die Bauwerke optimiert und die Nachweise zur Funktionalität erbracht werden. Die Optimierungen betrafen neben der Anordnung im Gelände insbesondere die Dimensionen der Bauwerke. Dadurch konnten sowohl die Massnahmenkosten als auch der visuelle Impact reduziert werden. Ein weiterer, sehr wichtiger Mehrwert ergab sich für die Hochwasserschutzprojekte im Rahmen der Kommunikation und Partizipation. Sehr anschaulich konnten die Schutzbauwerke und deren Funktionalität präsentiert werden, wodurch Verständnis und Akzeptanz für die Massnahmen verbessert werden konnten.

Die Zusammenarbeit während der physikalischen Modellversuche zwischen dem Team der OST – Ost-

schweizer Fachhochschule (ehem. HSR Hochschule für Technik Rapperswil) sowie dem Planerteam war sehr eng. Resultate wurden stets gemeinsam besprochen, um daraus Schlüsse zu ziehen und das weitere Vorgehen zu definieren. Mit dieser intensiven und interdisziplinären Zusammenarbeit konnten die vorhandenen Kompetenzen und Erfahrungen bestmöglich zusammengeführt werden. Auch hier zeigt sich, dass der Mehrwert vor allem auch in der Kombination unterschiedlicher Methoden und Erarbeitung in interdisziplinären Projektteams liegt.

#### Dank

Physikalische Modellversuche sind echte Teamarbeit. So danke ich allen beteiligten Personen, die in irgendeiner Art und Weise zur Realisierung und schlussendlich zum Gelingen der Versuche beigetragen haben. Ein grosser Dank geht zudem an die Standortgemeinden der Hochwasserschutzprojekte, die zuständigen kantonalen Fachstellen sowie das Bundesamt für Umwelt BAFU. Ganz persönlich danke ich Dr. Jürg Speerli für seine konstruktiven Rückmeldungen zu diesem Fachartikel sowie die stets sehr offenen und erkenntnisreichen Diskussionen.

## 5 Literatur

- Bachmann A.-K., Speerli J., Berger C., Zimmermann F., Clausen W. (2021) Einfluss der Fellbach-Wasserfälle auf das Fließverhalten von Murgängen und auf mögliche Schutzmassnahmen. Wasserbau-Symposium, VAW Mitteilung 262: 193–201.
- Berger C., Ulrich M., Lauber G., Speerli J. (2014) Hochwasserschutz Illgraben: Ausleitbauwerk für grosse Murgänge. Wasserbau-Symposium, VAW Mitteilung 228: 453–462.
- Berger C., Christen M., Speerli J., Lauber G., Ulrich M., McArdeil 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.
- Berger C., Bachmann A.-K., Speerli J., Zimmermann F., Clausen W. (2020) Erkenntnisse aus physikalischen Murgangversuchen für die Planung von Schutzmassnahmen. Beispiel Fellbach, VS. Wasser Energ. Luft 112, 3: 199–204.
- HSR Hochschule für Technik Rapperswil/IBU Institut für Bau und Umwelt (2017) Murgangversuche Geschiebesammler Roossi, Technischer Bericht. Projekt im Auftrag der Schwellenkorporationen Brienz, Schwanden und Hofstetten. Bericht Stand 1.7.2017. 96 S.
- Jakob M., Hungr O. (2005) Debris-flow Hazards and Related Phenomena. Springer Praxis Books. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Speerli J., Grob M., Künzi R., Wyss P., Zimmermann M., Pozzi A. (2008a) 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., Schatzmann M., Grob M., Solèr R. (2008b) Erfahrungen aus der Nachbildung der Brienzer Murgänge im physikalischen Modell. In: Minor H. (eds) Proc. Int. Symp. Neue Anforderungen an den Wasserbau, VAW Mitteilung 2007, ETH Zürich. 507–515.
- 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. 7<sup>th</sup> International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Institute for Geotechnical Engineering, ETH Zürich. 1285–1290.
- Von Boetticher A., Speerli J., Berger C., Bachmann A.-K. (2022) Numerische 3D-Murgangsimulation im Vergleich zu einer physikalischen Murgangmodellierung am Beispiel des Fellbachs in Saas-Balen VS. Wasser Energ. Luft 114, 4: 239–245.

## Abstract

Physical modelling of debris flows can be an important basis for the planning of protective structures and were carried out, for example at the torrents Fellbach, Illgraben and Lammbach. The findings from the process behaviour were used to reduce uncertainties, optimize structures and provide proof of functionality. The optimizations concerned the arrangement in the terrain and the dimensions of the structures. As a result, both the costs of measures and the visual impact were reduced. Further added value resulted from communication and participation activities to promote understanding and acceptance. The close cooperation in interdisciplinary project teams meant that different skills and experiences were optimally combined.

**Keywords:** physical modelling of debris flow, case studies, practical experience, protective measures, process behavior, optimization of structures, functionality of structures



Alle Inhalte stehen, sofern nicht mit © gekennzeichnet, unter der Creative-Commons-Lizenz CC BY 4.0 und dürfen unter Angabe der Quelle frei genutzt und verändert werden.

