

**GLYSSIBACH BRIENZ, SCHWEIZ: HOCHWASSER UND  
MURGANGEREIGNIS VOM 22./23. AUGUST 2005**

**SCHUTZMASSNAHMEN GEGEN ZUKÜNFTIGE HOCHWASSER UND  
MURGÄNGE**

**GLYSSIBACH BRIENZ, SWITZERLAND: FLOOD AND DEBRIS FLOW  
EVENT ON AUGUST 22/23, 2005**

**PROTECTION MEASURES AGAINST FUTURE FLOODS AND DEBRIS FLOWS**

Prof. Dr. Jürg Speerli<sup>1</sup>, Michael Grob<sup>2</sup>, Rolf Künzi<sup>3</sup>, Peter Wyss<sup>4</sup>, Dr. Markus Zimmermann<sup>5</sup>,  
Andrea Pozzi<sup>6</sup>

**ZUSAMMENFASSUNG**

Nach dem Murgangereignis vom August 2005 wurde aufgrund einer umfangreichen Ereignisanalyse das integrale Schutzkonzept gegen zukünftige Murgänge im Glyssibach von einem Planungsteam erarbeitet. Das Schutzkonzept umfasst ein Ausleitbauwerk im Glyssibach, welches grosse Murgänge ins landwirtschaftliche Gebiet Undersitsch ausleitet, kleine Murgänge jedoch durch das Ausleitbauwerk hindurchleitet. Ein Rückhaltedamm auf der Wiese Undersitsch schafft für den ausgeleiteten Murgang einen Ablagerungsraum. Die Funktionalität des Ausleitbauwerks sowie das Ablagerungsverhalten des ausgeleiteten Murgangs im Gebiet Undersitsch wurden in einer hydraulischen Modelluntersuchung nachgewiesen, respektive untersucht. Diese Bauwerke wurden hinsichtlich Funktionalität, Standort und Abmessungen optimiert. Die Murgangmodellmischung wurde aufgrund von Felduntersuchungen, theoretischen Überlegungen und Vorversuchen bestimmt. Der Murgang im hydraulischen Modell weist ähnliche Fliesseigenschaften wie der Murgang vom August 2005 auf.

**Keywords:** Murgang, Ausleitbauwerk, hydraulische Modelluntersuchung

**ABSTRACT**

An integrated safety concept has been developed in the Glyssibach (Brienz, Switzerland) following the August 2005 debris flow. The concept against future events includes a concrete structure in the Glyssibach deviating large-scale events into the Undersitsch accumulation

---

<sup>1</sup> Dean Civil Engineering, University of Applied Sciences, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, Switzerland (Tel.: +41-55-222-49-72; Fax: +41-463-55-222-44-00; email: juerg.speerli@hsr.ch)

<sup>2</sup> Research Engineer, University of Applied Sciences Rapperswil, Switzerland

<sup>3</sup> Owners representative, Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis 1, Thun, Switzerland

<sup>4</sup> Partner, Mätzener & Wyss Ingenieure AG, Interlaken, Switzerland

<sup>5</sup> Inhaber, NDR Consulting Zimmermann, Thun, Switzerland

<sup>6</sup> Partner, Niederer + Pozzi Environmental Management, Zurich and Uznach, Switzerland

area; however, small-scale events should pass the dam through openings. A retention dam at the downstream end of the Untersitsch pasture confines the accumulation area. The functionality of the deviation structure as well as the accumulation behaviour of debris flows in the Untersitsch area were analysed and proofed in a hydraulic model. The two main structures were optimized with regard to functionality, exact location and dimensions. The mixture of the model debris flows was determined according to field investigations, theoretical considerations and a series of pre-test runs. The debris flow in the hydraulic model shows similar flow characteristics as the August 2005 debris flow.

**Keywords:** Debris flow, diversion structure, hydraulic model test

## **EINLEITUNG**

Das Hochwasser- und Murgangereignis im Glyssibach vom 22./23. August 2005 verursachte enorme Schäden an Gebäuden und Infrastrukturanlagen. Zwei Personen verloren durch den Murgang ihr Leben. Basierend auf einer Ereignisanalyse wurde ein integrales Schutzkonzept gegen zukünftige Murgänge entwickelt. Die Ereignisanalyse, das Schutzkonzept und dessen Überprüfung in einem hydraulischen Modellversuch werden vorgestellt.

## **EREIGNISANALYSE**

Aufgrund der topografischen, geologischen und klimatischen Verhältnisse sind im Gebiet der Briener Wildbäche im Kanton Bern die Voraussetzungen für verschiedene Naturrisiken gegeben. Das wichtigste Gefahrenpotenzial für den Talbereich stellen fünf Wildbäche dar (Ryter und Kienholz, 2006). Ereignisse mit grossen Schäden sind bereits für das 16., 18. und 19. Jahrhundert dokumentiert. Im 20. Jahrhundert ist dasjenige von 1921 hervorzuheben. Mit sehr schweren Schäden muss das Ereignis vom August 2005 in die Liste aufgenommen werden.

Das Murgangereignis vom August 2005 wurde in einer sogenannten „lokalen lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) Glyssibach“ detailliert erfasst und analysiert (TBA-OIK1, 2006 und Zimmermann, M. und Pozzi, A. 2006). Die LLE wurden im Nachgang zu den schweren Unwettern im August 2005 in verschiedenen Teilen des Berner Oberlandes als Dokumentations- und Planungsinstrument eingeführt.

Über Tage andauernde starke Niederschläge (> 300 mm in 4 Tagen) führten im Einzugsgebiet des Glyssibachs zu einer Rutschung. Aus dieser löste sich ein Murgang, welcher in mehreren Schüben zu einer vollständigen Destabilisierung und Verflüssigung der Sohle führte. Vor dem eigentlichen Murgang wurde im Glyssibach ein deutlich erhöhter Abfluss mit intensivem Geschiebetransport beobachtet. Der Murgang brach oberhalb des Siedlungsgebietes von Brienz aus dem Gerinne aus und lagerte auf dem Schwemmkegel ca. 70'000 m<sup>3</sup> Schutt ab. Dreizehn Gebäude wurden durch den Murgang vollständig zerstört und 25 Gebäude schwer beschädigt. Von diesen müssen drei für das Schutzkonzept weichen.

Der grösste Teil des mobilisierbaren Geschiebes wurde durch den Murgang aus der Sohle des Glyssibachs ausgeräumt. Das System wird sich mittel- bis langfristig wieder aufladen. Es besteht daher sowohl für Brienz als auch für Schwanden mittelfristig ein wesentliches Schutzdefizit. Total sind etwa 70 Häuser im roten Gefahrengebiet. Wie das Ereignis vom

August 2005 gezeigt hat, muss bei einem Murgangereignis mit Todesopfern gerechnet werden, da Häuser von der hohen Intensität der Prozesse (unter anderem auch wegen dem Transport von grossen Blöcken) vollständig zerstört werden können.



**Abb. 1:** Murgangereignis vom 22./23. August 2005 in Brienz. Links: Grossflächige Murgangausbreitung im Siedlungsgebiet. Rechts: Übersicht: ① Glyssibach, ② Gemeinde Schwanden, ③ Gemeinde Brienz, ④ Gebiet Untersitsch. Quelle KSL, Bundesamt für Landestopographie, Flugdienst, CH-8600 Dübendorf.

**Fig. 1:** Debris flow on August 22/23, 2005 in Brienz. Left: Accumulation of debris in the inhabited area. Right: Overview of the Glyssibach: ① Glyssibach, ② Schwanden village, ③ Brienz village, ④ Untersitsch area. Photograph by: KSL, Bundesamt für Landestopographie, Flugdienst, CH-8600 Dübendorf.

### Charakteristika von Murgängen im Glyssibach

Der Murstrom vom August 2005 war ausserordentlich schnell. Die Geschwindigkeit im Abschnitt Untersitsch - Glyssenbrücke betrug 6 bis 10 m/s. Auf dem Kegel wurde die Geschwindigkeit auf 5 m/s bis 8 m/s geschätzt. Mehrere Quellen geben übereinstimmend die Dauer des Murgangereignisses mit etwa 15 Minuten an. Die auf dem Schuttkegel abgelagerte Geschiebemenge beläuft sich auf rund 70'000 m<sup>3</sup>. Dies ergibt einen mittleren Abfluss von 70 m<sup>3</sup>/s bis 80 m<sup>3</sup>/s, und eine Spitze von 140 m<sup>3</sup>/s bis 160 m<sup>3</sup>/s (unter der Annahme einer dreieckförmigen Abflusswelle). Auf dem Kegel im Siedlungsgebiet von Brienz wurde nach dem Ereignis vom August 2005 eine mittlere Ablagerungstiefe von rund 1 m ermittelt. Der Kegel weist ein Gefälle von 12% auf. Anhand von Murgangablagerungen seitlich des Gerinnes kann auf eine ausgeprägte Murgangfront mit einer grossen Anzahl von Gesteinsblöcken von 2 m Durchmesser und mehr geschlossen werden. Im Siedlungsgebiet von Brienz wurden Blöcke mit einem Durchmesser von 3 m angetroffen, im Gerinne oberhalb solche von etwa 5 m Durchmesser. Da wegen der Bankung des Felsens im Einzugsgebiet immer grosse

Blöcke in der Rutschmasse vorhanden sein werden, kann man davon ausgehen, dass auch bei künftigen grossen Ereignissen ein Murschub eine ausgeprägte Front aufweisen wird.

## **RISIKOBEURTEILUNG**

Bei einem zukünftigen 100-jährlichen Ereignis kann davon ausgegangen werden, dass rund 70'000 m<sup>3</sup> Material mobilisiert wird. Ein 30-jährliches Ereignis wird auf etwa 25'000 m<sup>3</sup> geschätzt. Ein Extremereignis setzt eine grosse Hanginstabilität im Einzugsgebiet voraus. Das Durchfliessen bis auf den Kegel von Brienz ist nicht bei jedem Ereignis zu erwarten. Bei grossen Volumen (100-jährliches Ereignis oder grösser) ist auch ein Ausuferen und Weiterfliessen in Richtung Schwanden möglich. Dadurch wären grosse Teile der Siedlung Schwanden direkt betroffen. Eine Wiederholung des Ereignisses von 2005 muss allerdings auch in Betracht gezogen werden. Die ökonomischen Schäden des jüngsten Ereignisses betragen zwischen CHF 35 und 40 Millionen. Bei einem Ausbrechen weiter oben könnten diese Schäden sogar noch grösser sein.

## **RISIKO MANAGEMENT UND VORBEREITUNG FÜR ZUKÜNFTIGE EREIGNISSE**

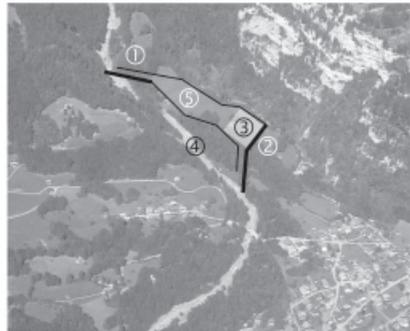
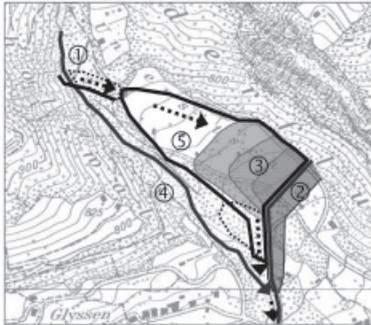
Die ersten Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit für die Dorfbewohner und die Wiederherstellung der wichtigsten Infrastrukturbauten waren sofort nach dem Ereignis initiiert worden. Fünf Wochen nach dem Ereignis wurde den Dorfbewohner durch das Planungsteam Notfallmassnahmen, ein modernes modulares Alarmierungskonzept zur Evakuierung und Sofortmassnahmen sowie ein integrales Schutzkonzept vorgestellt.

Das Schutzkonzept sieht eine Kombination der Hauptelemente Ausleiten, Rückhalten und Durchleiten vor. Durch ein Ausleitbauwerk im Glyssibach sollen grosse Murgänge mit Wiederkehrperioden grösser als etwa 50 Jahre, fast vollständig in das unbewohnte, landwirtschaftlich genutzte Gebiet Undersitsch abgeleitet und dort abgelagert werden. Dadurch soll verhindert werden, dass grosse Volumen mit Gesteinsblöcken ins Siedlungsgebiet gelangen. Hingegen sollen kleinere und mittlere Murgänge mit bis zu 25'000 m<sup>3</sup> Geschiebe durch das Ausleitbauwerk fliessen, im Gerinne des Glyssibachs verbleiben und in einem neuen, vergrösserten Durchflussskorridor durchs Siedlungsgebiet abgeführt werden. Dadurch können häufige Übersarungen des Gebietes Undersitsch vermieden werden. Diese kleinen und mittleren Murgänge weisen Wiederkehrperioden zwischen 20 und 50 Jahren auf. In der Tabelle 2 sind die massgebenden Szenarien aufgelistet, auf welche das Ausleitbauwerk sowie der Rückhaltedamm ausgelegt wurden.

Der Ablagerungsraum wird an seinem unteren Rand durch einen massiven Rückhaltedamm begrenzt. Dieser verhindert einerseits eine weitere Ausbreitung talwärts, andererseits soll er Wasser und Feinmaterial, welches nicht mehr abgelagert werden kann, wieder in den Glyssibach zurückführen.

Ausleitbauwerke haben sich im Lawinenverbau bewährt, bei Murgängen sind sehr wenige Beispiele erprobt. Ein Ausleitbauwerk, das grosse Murgänge ausleiten, kleinere und mittlere jedoch durch das Bauwerk ungehindert weiterleiten soll, ist den Autoren nicht bekannt. Daher wurden an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz eine umfangreiche Modelluntersuchung durchgeführt, um den Nachweis der Funktionstüchtigkeit des

Schutzkonzeptes zu erbringen, sowie um die baulichen Massnahmen zu optimieren. Insbesondere wurde das Verhalten des Ausleitbauwerks und der Ablagerung im Rückhalteraum in einem hydraulischen Modellversuch abgeklärt.



**Abb. 2:** Murgang Schutzkonzept: ① Ausleitbauwerk, ② Rückhaldedamm, ③ Ablagerungsbereich, ④ Glyssibach, ⑤ Gebiet Undersitsch.

**Fig. 2:** Concept of the debris flow protection: ① Diversion structure, ② retention dam, ③ sedimentation area, ④ Glyssibach torrent, ⑤ Undersitsch area.

## HYDRAULISCHE MODELLUNTERSUCHUNG

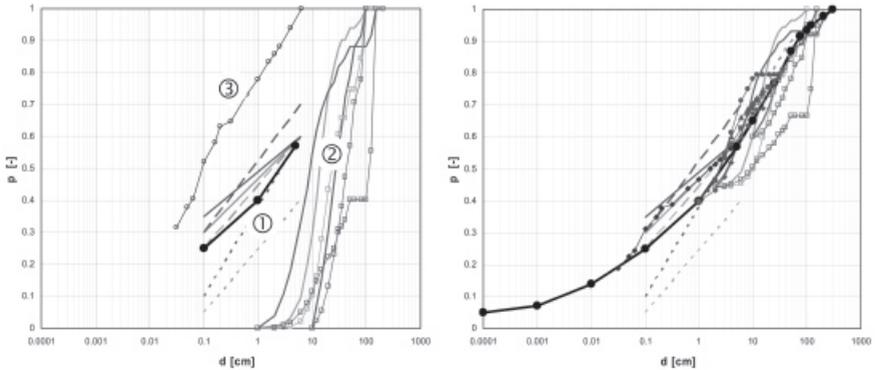
### Felduntersuchungen

Die Felduntersuchungen hatten die Bestimmung der Murgangkornverteilungskurve sowie die Abschätzung der Fliesseigenschaften von grossen Murgängen zum Ziel. Volumenabschätzungen, Fliesseigenschaften und Einschätzungen über künftige Entwicklung von Murgangereignissen und fluvialen Prozessen waren im Rahmen der LLE Glyssibach ermittelt worden.

Für die Bestimmung der Kornverteilung von Murgängen wird, falls möglich, eine oder mehrere Volumenproben dem Gesamtmaterial entnommen, da dadurch der Anteil an Feinmaterial richtig erfasst wird. Dies erfordert eine grössere Baggerung mit Hilfe von Baumaschinen und Lastwagen. Dies war im vorliegenden Fall nicht möglich, da in den zugänglichen Gebieten keine ungestörten Materialproben des Ereignisses vom August 2005 mehr vorhanden waren. Deshalb wurden im Bachbett mehrere Linienzahlanalysen durchgeführt, eine Volumenprobe des Feinmaterials entnommen sowie an drei Stellen der Anteil des Fein- und Grobmaterials am Gesamtmaterial visuell abgeschätzt. Dies erlaubte, entsprechend einer Volumenprobe, die Kornverteilung grosser Murgänge, wie derjenige von 2005, zu rekonstruieren.

Anhand der Abschätzungen des Fein- und Grobanteils innerhalb des gesamten Murgangmaterials kann für das Kornmaterial mit Korndurchmesser zwischen 0.1 cm und 6.0 cm eine erste Teilverteilung abgeleitet werden (siehe Abb. 3, Kurvenschar ①). Die Linienzahlanalysen wurden nach Fehr (1987) mit und ohne Deckschicht in Volumenproben der Unterschicht umgerechnet. Im Gegensatz zur Umrechnung bei fluvialen Geschiebe

wurde die Umrechnung nur bis zum Schritt ohne Korrektur des Feinanteils durchgeführt, da der Feinanteil bei viskosen Murgängen wesentlich grösser ist als bei fluvialen Geschiebe und die Korrektur des Feinanteils deshalb getrennt und nicht pauschal nach Fehr durchgeführt wurde.



**Abb. 3:** Links: ① Abschätzungen Fein- / Grobanteil, ② nach Fehr umgerechnete Kornverteilungen ohne Korrekturen Feinanteil und ohne Fullergänzung, ③ Siebanalyse Feinmaterial.

Rechts: Korrigierte Kornverteilungen der einzelnen Analysen mit der abgeleiteten Kornverteilung für einen Grossmurgang (fette ausgezogene Linie) im Totalvergleich.

**Fig. 3:** Left: ① Estimation of fine and coarse parts, ② re-calculated grain-size distribution (using Fehr's approach) without correction for the fine parts and without a Fuller adaptation, ③ sieve analysis of fine parts. Right: Corrected grain size distribution for the individual analyses with the inferred grain size distribution for a major event (bold line).

Die umgerechneten Linienproben wie auch die Siebkurve (Volumenprobe des Feinmaterials) werden entsprechend der Teilverteilung korrigiert. Basierend auf den korrigierten Kurven sowie der abgeleiteten Teilverteilung wird eine mittlere Kornverteilungskurve für einen Grossmurgang im Glyssibach abgeleitet.

Die Abschätzung der Flieseigenschaften erfolgte anhand von geometrischen Aufnahmen von Murkopfablagerungen (Längen- und Querprofile) und Levées (Querprofile) des Ereignisses 2005 im Glyssibaches oberhalb des Gebietes Undersitsch sowie anhand der Rekonstruktion der mittleren Ablagerungstiefe des Murgangkörpers in der Ausbreitzungszone in Brienz.

Aufgrund eines geschätzten Feinanteils ( $d < 0.004$  cm) in der Grössenordnung von 10% oder mehr ist in Anlehnung an Coussot und Piau (1995) von einem Murgang des Typs „viskos“ auszugehen.

## Vorversuche

Während eines Murgangs treten gleichzeitig verschiedene Prozesse auf. Dies kann beispielsweise viskoses und granulares Fliesen, Transport, Erosion und Ablagerung sowie Wasserinfiltration in den Untergrund sein. Eine Modellierung aller Phänomene im physikalischen Modell ist nicht möglich. Näherungsweise können Fließgeschwindigkeit und Abfluss von Murgängen mit Hilfe des Froud'schen Ähnlichkeitsgesetzes skaliert werden.

Bei Murgängen im Glyssibach ist der Feinanteil an Gesteinskörner sehr gross: zwei Drittel der Gesteinskörner sind kleiner als 10 cm, und die Hälfte ist kleiner als 2.5 cm. Diese Feinanteile beeinflussen und prägen die dynamischen Prozesse des Murgangs in Natur wie auch im Modell ausserordentlich.

Ziel der Vorversuche war die Bestimmung von Modellmurgängen, welche eine möglichst grosse qualitative Ähnlichkeit gegenüber den natürlichen Murgängen im Glyssibach aufweisen. Dazu musste im unteren Bereich von der Soll-Kornverteilungskurve abgewichen werden. Anhand von über 50 Vorversuchen wurden verschiedene Murgang-Modellmischungen im Massstab 1:50 in einem eigens dafür gebauten Rechteck-Kanal getestet. Anhand der Vorversuche konnten verschiedene Typen von Murgängen (flüssig bis viskos) im physikalischen Modell nachgebildet werden.

**Tab. 1:** Zielgrössen und Zusammensetzung der Modellmischung.

**Tab. 1:** Target parameters and composition of model mixture.

Zielgrössen	Parametervariation
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschwindigkeit der Murgangfront: 6 – 10 m/s</li> <li>• mittlerer Abfluss: 70 – 80 m<sup>3</sup>/s</li> <li>• Spitzenabfluss: 140 – 160 m<sup>3</sup>/s</li> <li>• Ablagerungstiefe: 1 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opalit (Tonmehl) Anteil</li> <li>• Filler (Kalksteintmehl) Anteil</li> <li>• Brechsand-Anteil</li> <li>• Sand / Kies-Anteil</li> <li>• Wasseranteil</li> </ul>



**Abb. 4:** Links: Murgangkopfablagerungen im Glyssibach. Rechts: Glyssibachabschnitt, welcher zur Abschätzung der Murgangcharakteristika (Zielgrössen) verwendet wurde. Das Bachbett liegt rund 6 m tiefer als vor dem Murgangereignis.

**Fig. 4:** Left: Head of a debris flow in the Glyssibach. Right: River reach of the Glyssibach which was used to estimate the target parameters. Today's riverbed is approximately 6 m lower than before the event.

## Versuche im Hauptmodell

Die Versuche im Hauptmodell wurden in zwei Etappen durchgeführt. In einer ersten Phase wurden verschiedene Typen des Ausleitbauwerkes entworfen und im Modell getestet, bis die geforderte Funktionalität erreicht war. Die Bestvariante wurde an zwei verschiedenen Standorten untersucht und optimiert. In einer zweiten Phase standen das Ablagerungsverhalten im Ablagerungsraum Untersitsch sowie die ganzheitliche Funktionalität des Schutzkonzeptes im Vordergrund. Durch die Modellierung von mehreren Szenarien konnten die entsprechenden Nachweise erbracht werden.

**Tab. 2:** Szenario, Murgangvolumen, resp. Hochwasserabfluss und funktionsweise der Bauwerke.

**Tab. 2:** Scenario, debris flow volume, flood discharge and functioning of the structures.

Szenario	$V_{\text{total}}$ $Q_{\text{max}}$	Ziel
30 - jährliches Murgangereignis	25'000 m <sup>3</sup>	Vollständiges Durchleiten
100 - jährliches Murgangereignis	67'000 m <sup>3</sup>	Vollständiges Ausleiten, Ablagern und teilweise Rückleitung in den Glyssibach
300 - jährliches Murgangereignis	95'000 m <sup>3</sup>	Vollständiges Ausleiten, Ablagern und teilweise Rückleitung in den Glyssibach
Extremes Murgangereignis	115'000 m <sup>3</sup>	Vollständiges Ausleiten, Ablagern und teilweise Rückleitung in den Glyssibach
30 - jährliches Hochwasser nach Murgangereignis	10 m <sup>3</sup> /s	Erosions- und Abflussverhalten
1'000 - jährliches Hochwasser nach Murgangereignis	36 m <sup>3</sup> /s	Bestimmung Freibord Rückhaltedamm



**Abb. 5:** Gesamtaufnahme des hydraulischen Modells: ① Ausleitbauwerk, ② Überleitkanal, ③ Ablagerungsraum, ④ Rückhaltedamm, ⑤ Rückleitkanal.

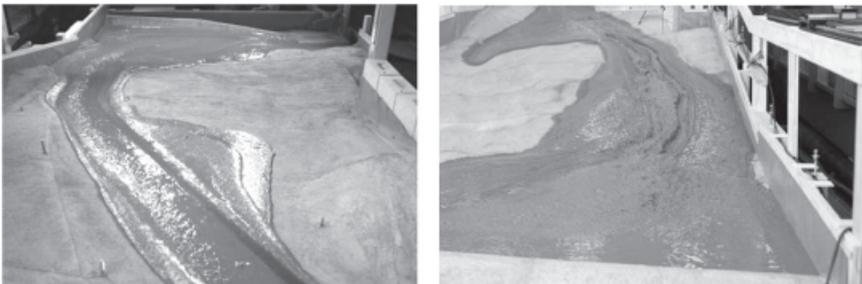
**Fig. 5:** Hydraulic model of the Glyssibach: ① diversion structure, ② conduit, ③ accumulation area, ④ retention dam, ⑤ overflow channel back to main river.

In einem Grossmurgang werden grosse Blöcke in der Murfront transportiert. Darauf basiert das Konzept der Murgangausleitung. Das Ausleitbauwerk wurde so ausgelegt, dass Blöcke grösser als etwa 1.6 m eine Verkläuerung der drei Durchlassöffnungen bewirken und dadurch der Murgang ausgeleitet wird. Bei kleineren Murgängen werden entsprechend nur kleinere Blöcke transportiert. Murgänge mit maximalen Blöcken zwischen 1.2 m und 1.5 m werden durch das Ausleitbauwerk hindurchgeleitet; eine Verkläuerung sollte nicht stattfinden.

Falls bei einem kleineren Murgang grössere Mengen Schwemmholz mittransportiert wird, ist eine vorzeitige Verklauung beim Ausleitbauwerk nicht auszuschliessen. Dies würde jedoch lediglich eine frühzeitige Übersarung des Gebietes Untersitsch bewirken. Der Unterhalt des Waldes im Einzugsgebiet oberhalb des Ausleitbauwerkes ist wichtig. Ein kontinuierliches Ausholzen und Entfernen von grossem Totholz (Stämme und Wurzelstöcke) kann unerwünschte Verklauungen während kleinen Ereignissen verhindern.



**Abb. 6:** Verhalten des Ausleitbauwerkes bei einem Grossmurgang. Der Murgang wird grösstenteils ausgeleitet.  
**Fig. 6:** Behaviour of the diversion structure during an extreme event. The main part of the debris flow is deviated.



**Abb. 7:** Links: Ablagerung eines Grossmurgangs im Gebiet Untersitsch. Rechts: Hochwasserabfluss über Murgangablagerung.  
**Fig. 7:** Left: Accumulation of an extreme debris flow in the Untersitsch area. Right: flood discharge on the debris flow accumulation.

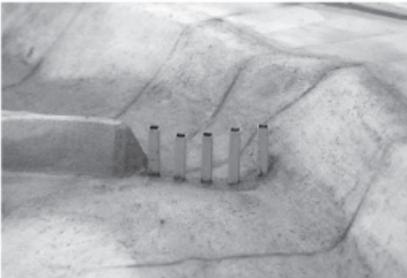
Der Murgang lagert sich im Gebiet Untersitsch vor dem Rückhaltedamm ab und füllt den Ablagerungsraum. Im Falle eines Grossereignisses fliesst ein Wasserschlammgemisch entlang des Rückhaltedammes zurück in den Glyssibach. Die Grobkomponenten werden grösstenteils abgelagert. Um ein Überströmen des Rückhaltedammes ausschliessen zu können, wurde der Damm auf folgendes Szenario ausgelegt (Tab. 2): Ausleitung eines Grossmurgangs ins Gebiet Untersitsch mit einem nachfolgenden 1'000 jährlichen Hochwasser, welches über die Murgangablagerung abfliesst (Abb. 7, rechts). Bei diesem Szenario muss das Freibord noch 1 m betragen. Beim Hochwasserabfluss wurde eine starke Strömung entlang des Dammes festgestellt, weshalb der Rückhaltedamm gegen Erosion geschützt werden muss.



**Abb. 8:** Murgangablagerungen im Gebiet Untersitsch.  
**Fig. 8:** Debris flow accumulation in the Untersitsch area.

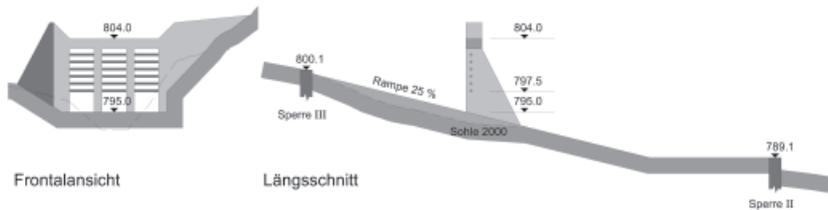
### Ausleitbauwerk

Aus dem Variantenstudium resultiert ein Ausleitbauwerk in Form einer Pfeilerbalkensperre. Das Ausleitbauwerk ist zwischen zwei bestehenden Wildbachsperren normal zur Fliessrichtung angeordnet. Die schrägen Sperrenflügel definieren eine klare Überfallsektion. Die 11 m breite Krone der Überfallsektion liegt 9 m über der festen Sohle. Die drei Durchlassöffnungen haben je eine Grösse von 3.0 m x 2.5 m. Wegen den starken vertikalen Veränderungen der Gerinnesohle im Glyssibach wird eine feste Sohlrampe mit einem Längs-



**Abb. 9:** Links: Vorschlag Projektteam. Rechts: optimierte Geometrie des Ausleitbauwerks.  
**Fig. 9:** Left: Proposal of the engineers. Right: optimized geometry of the diversion structure.

gefälle von 25% unter dem Ausleitbauwerk hindurch gezogen. Damit soll verhindert werden, dass sich im Bereich des Ausleitbauwerks Geschiebe ablagert und somit die Durchlassöffnungen reduzieren könnten. Somit bleiben die Zuströmbedingungen und die Höhe der Durchlassöffnungen konstant.



**Abb. 10:** Ansicht und Längsschnitt Ausleitbauwerk.  
**Fig. 10:** Aspect and section of the diversion structure.

Der Überleitkanal hat eine Breite von 10 m und bis Punkt 776 ein Gefälle von 17%, danach noch ca. 15%. Bis an den Tiefpunkt im Kamm ist talseitig ein 5 m hoher Damm vorgesehen, welcher zum Ausleitbauwerk hin ansteigt. Der untere Teil des Kanals und die Böschungen können landwirtschaftlich bewirtschaftet werden.



**Abb. 11:** Situation von Ausleitbauwerk und Überleitkanal: ① bestehendes Seitenleitwerk, ② Ausleitbauwerk, ③ Überleitkanal, ④ Ablagerungsraum.  
**Fig. 11:** Plan view of the diversion structure and conduit: ① existing training dike, ② diversion structure, ③ conduit, ④ accumulation area.

### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des integralen Schutzkonzeptes, welches aufgrund der umfangreichen durchgeführten Ereignisanalyse erarbeitete wurde, konnte im hydraulischen Modellversuch erbracht werden. Die Modellversuche haben gezeigt, dass das vorgeschlagene Konzept Ausleitbauwerk und Ablagerungsraum funktioniert, und dass das betroffene Siedlungsgebiet vor grossen Murgangereignissen geschützt werden kann.

Grossmurgänge werden durch das Ausleitbauwerk ausgeleitet, kleinere hingegen durchgeleitet. Diese Funktionalität basiert auf der Grösse der mittransportierten Blöcke in der Murfront. Damit eine Verklauung der Durchlassöffnung erfolgt, müssen mehrere Blöcke grösser als 1.6 m in der Murfront mittransportiert werden. Grossmurgänge können nur infolge einer Rutschung im Einzugsgebiet entstehen. Durch die Bankung des Felsens im Einzugsgebiet werden bei zukünftigen Grossmurgängen immer grössere Blöcke in der Murfront vorhanden sein.

Der Murstrom füllt den Ablagerungsraum langsam auf, eine direkte impulsartige Einwirkung auf den Rückhaltedamm findet nicht statt. Im Ablagerungsraum kann die geplanten Volumina aufgenommen werden. Der Rückhaltedamm wird auf einen Grossmurgang mit anschliessendem 1'000-jährlichem Hochwasser ausgelegt, um ein Überströmen ausschliessen zu können.

Verklauungen beim Ausleitbauwerk infolge von Schwemmholz beeinträchtigen die Sicherheit des Siedlungsgebietes nicht. Bei verfrühtem Ausleiten von Murgängen verursachen sie aber häufiger Übersarungen im landwirtschaftlich genutzten Gebiet Undersitsch, welche Kosten für Aufräumarbeiten nach sich ziehen.

## LITERATUR

- Coussot P., Piau J.-M. (1995): "A large scale coaxial clinders rheometer for the study of the rheology of natural coarse suspensions". J. Rheol., 39, 105 – 125.
- Fehr, R. (1987): „Einfache Bestimmung der Korngrössenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse“. Schweizer Ingenieur und Architekt 105 (Heft 38): Seiten 1104-1109, Zürich.
- Ryter, U., Kienholz, H. (2006): „Die Brienzer Wildbäche im Überblick“ . FAN Fachleute Naturgefahren Schweiz, Herbstkurs 2006 – Unwetter 2005: Lehren für das Risikomanagement, Meiringen 2006.
- TBA-OIK1. (2006): „Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse Glyssibach – Bericht zum Vorprojekt“. Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I, Thun, Schweiz, (unveröffentlicht).
- Zimmermann, M., Pozzi, A. (2006): „Glyssibach Brienz – Ereignisse 2005 und Massnahmen“. FAN Fachleute Naturgefahren Schweiz, Herbstkurs 2006 – Unwetter 2005: Lehren für das Risikomanagement, Meiringen 2006.