

Flood protection concept against enormous debris flow scenarios

Hochwasserschutzkonzept für Wildbach mit sehr grossen Murgangsszenarien

Rolf Künzi¹; Martin Amacher¹; Oliver Markus Hitz³; Serena Liener⁴; Christian Tognacca⁵; Markus Zimmermann⁶

ABSTRACT

In the last 500 years several large debris flow events of the Lammbach torrent in the Bernese Oberland with casualties were recorded. Since 22 check dams have been erected in 1896 a huge amount of debris has been accumulating behind the check dams. A recent hazard analysis takes the failure of the old check dams into consideration. Flood scenarios vary from probable events with a total load of 40'000 m³ to extreme events with a total load of 750'000 m³. The consequent hazard situation on the alluvial fan demands for protective measures.

In the frame of a flood protection concept the efficiency of four alternatives „Retain“, „Convey“, „Divert“ and „Corridor“ was examined. The analysis revealed that large events could be handled best with a combination of „Retain“ and „Corridor“. As a consequence of a participatory process an additional alternative „Decentralised Retention“ was elaborated. This alternative is most effective during small and medium events. It was finally chosen as the best alternative although its measures are less effective during extreme events.

ZUSAMMENFASSUNG

Beim Lammbach im Berner Oberland wurden in den letzten 500 Jahren mehrere grosse Murgangereignisse mit Todesfällen dokumentiert. Seit dem Bau von 22 Sperren nach dem Ereignis 1896 wird hinter den Sperren des Lammbachs sehr viel Geschiebe zurückgehalten. In einer Gefahrenbeurteilung, welche einen möglichen Bruch der alten Sperren berücksichtigt, werden Hochwasserszenarien mit Geschiebefrachten auf dem Schwemmkegel zwischen 40'000 m³ bei einem häufigen Ereignis und 750'000 m³ bei einem Extremereignis definiert. Daraus resultiert eine Gefährdung auf dem Schwemmkegel, welche Schutzmassnahmen erfordern.

1 Flussbau AG SAH, Bern, SWITZERLAND, rolf.kuenzi@flussbau.ch

2 Mätzener & Wyss Bauingenieure AG, Hauptstrasse 21, CH-3800 Unterseen

3 Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, CH-3601 Thun

4 Büro geo7 AG, Neufeldstrasse 5 - 7, CH-3012 Bern

5 beffa tognacca sagl, A San Rocch, CH-6702 Claro

6 NDR Consulting GmbH, Riedstrasse 5, CH-3600 Thun

Im Rahmen der Massnahmenplanung wurde der Nutzwert von vier Varianten "Rückhalten", "Durchleiten", "Umleiten" und "Korridor" analysiert. Es zeigte sich, dass mit einer Kombination der Varianten "Rückhalten" und "Korridor" eine Überlast am besten bewältigt werden kann. Aufgrund von Rückmeldungen aus der Mitwirkung der Bevölkerung wurde eine zusätzliche Variante "dezentraler Rückhalt" erarbeitet. Diese Variante erzielt die grösste Wirkung bei häufigen und mittleren Hochwasserereignissen und wurde schliesslich als Bestvariante gewählt, obwohl sich die Massnahmen der ursprünglich favorisierten Variante bei Überlast stabiler verhalten würden.

KEYWORDS

case study; torrent; debris flow; flood protection; high bed load potential

AUSGANGSSITUATION

Beim Lambach im Berner Oberland auf dem Gemeindegebiet von Brienz, Schwanden und Hofstetten, wurden in den letzten 500 Jahren mehrere grosse Murgangereignisse mit Todesfällen dokumentiert. Im Mai 1499 wurde der Ortsteil Kienholz vollständig zerstört. Dabei waren 400 Todesopfer zu beklagen. 1824 führten Murgänge im Lamm-, Schwander- und Glyssibach zu 6 Todesopfern. 1896 verursachten zwei grosse Ereignisse mit einem mobilisierten Volumen von mindestens 250'000 m³ grosse Schäden. Nach dem Ereignis von 1896 wurden im Lambach 22 Sperren errichtet. Davon wurden im Laufe der Zeit drei zerstört. Mit dem Bau der Sperren wurde die Bachsohle je nach Abschnitt um bis zu 20 m erhöht. Im Weiteren wurden im oberen Einzugsgebiet Hangstabilisierungsmassnahmen in Form von Aufforstungen mit über 8 Mio. Pflanzen und rund 80'000 m³ Trockensteinmauern erstellt. Beim Zusammenfluss von Lamm- und Schwanderbach wurde zudem ein Ablagerungsraum mit einem Rückhaltevolumen von bis zu 70'000 m³ geschaffen.

Im 20. Jahrhundert sind keine ausserordentlichen Murgangereignisse mehr aufgetreten. Auch im Jahr 2005, als sich in den benachbarten Bächen Tracht- und Glyssibach zwei verheerende Murgangereignisse ereigneten, blieb der Lambach ruhig. Dies dürfte unter anderem auch auf die Massnahmen im Einzugsgebiet zurück zu führen sein. Die Lambachsperrren wurden gebaut um eine Sohleneintiefung zu verhindern. Diese Funktion haben sie erfüllt. Hinter den Sperren des Lambachs wurde in den vergangen rund 100 Jahren sehr viel Geschiebe zurückgehalten (> 1 Mio. m³). Das Rückhaltevolumen der Sperren ist mittlerweile ausgeschöpft. Da die Sperren bereits über 100 Jahre alt sind, stellte sich bei der Überarbeitung der Gefahrenkarte die Frage, wie sich die Sperrentreppe bei zukünftigen Ereignissen verhalten würde. Aus diesem Grund wurden die Standfestigkeit und die Gebrauchstauglichkeit der Sperren untersucht und die Entwicklung ihres Zustandes unter der Annahme prognostiziert, dass die Bauwerke nicht mehr unterhalten und Instand gestellt würden (Kister et al. 2012).

Unter Berücksichtigung all dieser Faktoren wurden für die Gefahrenbeurteilung Szenarien mit grossen Geschiebefrachten definiert. Die daraus resultierenden Intensitäten der Murgänge in Kombination mit der Nutzung des Wildbachkegels führen zu einer Gefährdung auf dem Schwemmkegel, welche Schutzmassnahmen erfordern.

EINZUGSGEBIET VON LAMM- UND SCHWANDERBACH

Das Einzugsgebiet vom Lamm- (3.6 km²) und Schwanderbach (2.6 km²) ist in nördlicher Richtung durch den Brienergrat (höchster Punkt Briener Rothorn mit 2'350 m ü. M.) und gegen Süden durch den Briener See (558 m ü. M.) begrenzt.

Das obere Einzugsgebiet des Lammbachs ist geprägt durch den steilen, von Verwitterung geprägten Gipfelaufbau des Arnihaagen mit besonders ausgeprägten Rutschhängen auf der Ostseite. Ganz allgemein muss der im Lammbachgraben anstehende Fels aufgrund von Sackungsbewegungen als nicht sehr verwitterungsresistent und ausgesprochen erosionsfähig bezeichnet werden. Im Projektgebiet wird das Festgestein nicht nur auf der Talsohle, sondern auch über grosse Strecken an den Talflanken von Lockergestein bedeckt. Der Lammbach hat seit dem Rückzug des würmeiszeitlichen Aaregletschers sein Bett mehrere 100 m tief in die anstehenden Felsschichten eingeschnitten und dabei im Aaretal einen mächtigen Schuttkegel aufgeworfen, welcher bis zum Brienersee reicht.

Der Schwanderbach ist in seinem oberen Einzugsgebiet ein typischer Jungschuttbach mit relativ bescheidenen Geschiebeherden. Er weist steile, aber grösstenteils grasbewachsene Hänge in der Südflanke des Briener Rothorns auf. Der einzig grosse Geschiebeherd im Schwanderbach stellt der Rutschkomplex von Ägerdi dar. Der Schwemmkegel des Schwanderbachs ist nur schwach ausgeprägt.



Abbildung 1: Sperrung V im Lammbach

SZENARIEN

Die Hochwasserabflüsse sind in der Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Hochwasserabflüsse Lamm- und Schwanderbach

| Ereignis | Hochwasserspitzen | | |
|-------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | Schwanderbach | Lambach | Lambach inkl. Schwanderbach |
| HQ ₃₀ | 13 m ³ /s | 8.3 m ³ /s | 21 m ³ /s |
| HQ ₁₀₀ | 24 m ³ /s | 15 m ³ /s | 40 m ³ /s |
| HQ ₃₀₀ | 36 m ³ /s | 23 m ³ /s | 60 m ³ /s |
| EHQ | 46 m ³ /s | 30 m ³ /s | 77 m ³ /s |

Das enorme Geschiebepotential und die Interaktion von Witterung, Erosion, Rutschungen und bestehenden Schutzbauwerken machen den Geschiebehaushalt des Lambbaches zu einem komplexen System. Die Schätzungen für das Geschiebeaufkommen sind in der Tabelle 2 dargestellt. Als Extremereignis wird im Lambbach das Versagen der Sperrentreppe angesehen. Sollten in Folge einer sehr grossen Rutschung und eines entsprechend grossen Murgangs ein Grossteil der Sperren versagen, würden die dahinter zurückgehaltenen Schutt mengen erodiert. Die Murgänge im Lambbach treten sowohl bei starken Gewitterniederschlägen als auch bei längeren Nässeperioden auf. Wegen der grossen Speicherkapazität der Sackungsmasse braucht es allerdings ein jeweils grosses Ereignis. Die Mergelschichten liefern viel Feinmaterial (siltiges und toniges Material). Dadurch können die Murgänge bei bescheidenem Wasserangebot langsam und bei hohem Wasserangebot aber auch schnell fliessen. Grosse Blöcke fehlen im Einzugsgebiet fast vollständig. Das abgelagerte Murgangmaterial besteht deshalb primär aus Steinen, Sand und Feinmaterial. Beim Schwanderbach können insbesondere nach längeren Nässephasen durch eine Aktivierung der Rutschung Ägerdi grössere Geschiebemengen ins Gerinne und bis zum Kegelhals gelangen (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Geschiebeszenarien Lamm- und Schwanderbach

| Jährlichkeit | Schwanderbach | | Lambach | |
|----------------|-----------------------|------------------------|-------------------|--|
| | Geschiebepotential | | Sperren | Rutschung |
| 30-jährlich | 15'000 m ³ | 40'000 m ³ | alle intakt | kleinere Rutschung(en) (5'000 - 10'000 m ³) |
| 100-jährlich | 30'000 m ³ | 110'000 m ³ | alle intakt | Rutschung 30'000 m ³ bis zu 50'000 m ³ ; davon fliessen ca. 10'000 m ³ als Murgang ab. |
| 300-jährlich | 65'000 m ³ | 210'000 m ³ | einzelne versagen | Grossrutschung bis zu 100'000 m ³ (evtl. sogar mehr); davon fliessen ca. 50'000 m ³ als Murgang ab |
| Extremereignis | | 750'000 m ³ | Grossteil versagt | Grossrutschung deutlich über 100'000 m ³ |

Bei beiden Wildbächen führen ähnliche Niederschlagsereignisse zur Mobilisierung von grösseren Murgangereignissen. Da die Einzugsgebiete der beiden Bäche direkt nebeneinander liegen, muss mit dem gleichzeitigen Auftreten von Ereignissen in beiden Bächen gerechnet werden. Diesem Umstand wurde bei der Szenarienbildung Rechnung getragen.

VARIANTENSTUDIUM

In einem ersten Schritt wurde eine grosse Auswahl an möglichen Einzelmassnahmen in Bezug auf die technische Machbarkeit und Schutzwirkung überprüft.

Die Wirkung der Massnahmen wurde auf dem Schwemmkegel mit einer 2d-Modellierung mit dem Programm Flumen und zusätzlich einer unabhängigen gutachterlichen Beurteilung im Feld abgeschätzt. Die Murgangsimulationen mit FLUMEN (vgl. www.fluvial.ch, Beffa 2003) löst die instationären, tiefengemittelten Flachwassergleichung mit der Methode der finiten Volumina und ist geeignet für die Untersuchung von Einphasenströmungen. Das Programm ermöglicht die numerische Nachbildung von Fliess- und Ablagerungsprozessen von Murgängen unterschiedlicher Rheologien. Für die Murgangsimulationen im Lambbach wurde ein "turbulent-yield" Ansatz (vgl. Naef et al. 2006) angewendet.

Aufgrund der grossen mobilisierbaren Geschiebemengen im Einzugsgebiet und den durch das Siedlungsgebiet eingeschränkten Platzverhältnissen auf dem Schwemmkegel wurde rasch erkannt, dass zumindest einer teilweisen Erhaltung/Erneuerung der Sperrentreppe eine grosse Bedeutung zukommt. Um die Geschiebeeinträge im oberen Einzugsgebiet nicht zu vergrössern, sollen die forstlichen Massnahmen auch in Zukunft fortgesetzt werden, auch wenn deren Wirkung nicht eindeutig quantifizierbar ist. Aus den untersuchten Einzelmassnahmen wurden schliesslich folgende vier Grundvarianten gebildet:

Variante 1 „Rückhalten“

Mit neuen Leitdämmen auf dem Schwemmkegel wird sichergestellt, dass sämtliches Geschiebe bis in den bestehenden Rückhalteraum transportiert wird. Das Rückhaltevolumen des Sammlers wird mit einer Sohlenabsenkung und durch die Erhöhung der bestehenden

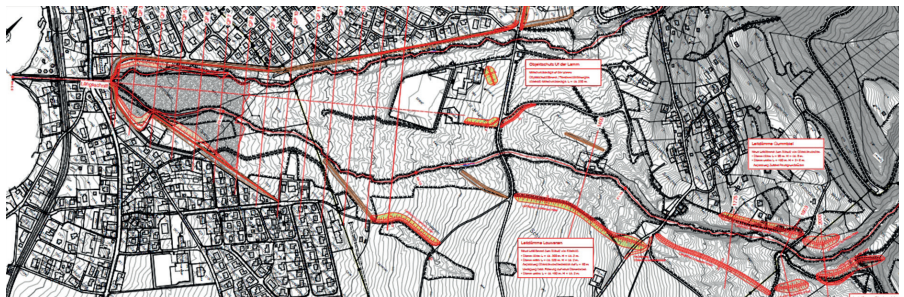


Abbildung 2: Variante 1 „Rückhalten“

Begrenzungsdamme des Geschiebesammlers vergrössert. Die Wirksamkeit der Massnahmen konnte durch die numerische Modellierungen bestätigt werden. Für den Bereich unterhalb des Rückhalteraums verblieben jedoch unzulässige Gefährdungen und das Verhalten bei Überlast ist konzeptbedingt problematisch.

Variante 2 „Durchleiten“

Oberhalb des bestehenden Rückhalteraums sind analog zur Variante 1 neue Leitdämme vorgesehen. Zusätzlich soll das bestehende Rückhaltevolumen weniger stark vergrössert und mit Leitmauern unterhalb des bestehenden Rückhalteraums möglichst viel Material in den See geleitet werden.

Aufgrund des relativ flachen Gefälles bis zum See muss mit einem Rückstau in den Korridor ausgehend vom Delta gerechnet werden. Die technische Machbarkeit des „Durchleitens“ ist somit nicht gegeben, weshalb diese Variante nicht weiter in die Überlegungen mit einbezogen wurde.

Variante 3 „Umleiten“

Variante 3 sieht auf dem Schwemmkegel eine vollständige Umleitung des Lammbachs vor. Das neue Gerinne führt über heute landwirtschaftlich genutzte Flächen in einen 150'000 – 200'000 m³ fassenden Sammler und weiter in den Brienersee.

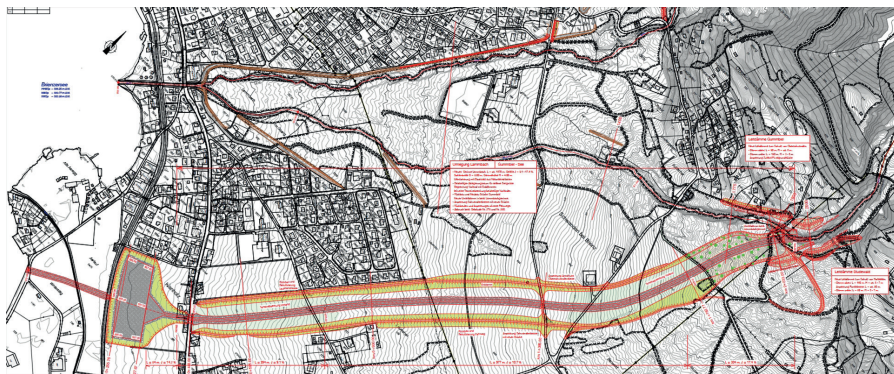


Abbildung 3: Variante 3 „Umleiten“

Die Kosten für die Variante 3 „Umleiten“ sind doppelt so hoch wie für die Variante 4 „Korridor“. Ein Umleitgerinne erfordert grosse Anpassungen an bestehenden Infrastrukturanlagen. Trotz der aufwändigen Massnahmen blieben bewohnte Gebiete entlang des neuen Gerinnes immer noch durch Murgänge mit starker Intensität gefährdet. Die Kostenwirksamkeit ist deutlich kleiner als 1 und somit die Subventionierbarkeit des Projektes durch Kanton und Bund nicht gegeben.

Variante 4 „Korridor“

Die Variante „Korridor“ sieht eine Entlastung des bestehenden, aber vergrösserten Rückhalteraumes über einen durch seitliche Begrenzungsdämme definierten Korridor vor. Leitdämme am Anfang des Schwemmkegels begrenzen die Ausuferungen und Ablagerungen so dass die Murschübe bis in den Rückhalteraum oder Korridor geleitet werden können.

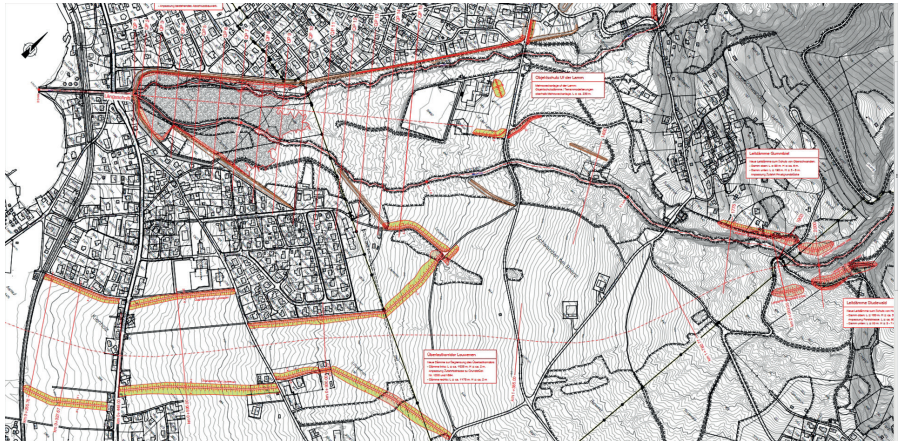


Abbildung 4: Variante 4 „Korridor“

Die numerischen Modellierungen zeigten eine gute Wirksamkeit der Massnahmen. Es konnte aber nicht ausgeschlossen werden, dass unerwünschte Ablagerungen das Anspringen des Korridors erschweren und zu viel Material in den Rückhalteraum abfließt und bewohnte Gebiete weiterhin mit starken Intensitäten gefährdet sind.

Bei den verbleibenden drei Varianten 1, 3 und 4 wurden die Schutzwirkungen untersucht und die Varianten im Rahmen einer Nutzwertanalyse mit einander verglichen. Bei der Variante „Umleiten“ wirkten sich die schlechte Kostenwirksamkeit und die in Frage gestellte Subventionierbarkeit negativ auf die Bewertung und Rangierung aus. Die besser platzierten Varianten 1 „Rückhalten“ und 4 „Korridor“ wiesen praktisch identische Summen bei der quantitativen Bewertung auf. Beide Varianten hatten jede für sich relevante Nachteile. Bei der Variante „Rückhalten“ war die Restgefährdung unterhalb des Sammlers noch zu gross, eine weitere Vergrösserung der Rückhaltmassnahmen auf dem Schwemmkegel hätte wiederum Probleme mit der Landschaftsverträglichkeit verursacht. Die Variante „Korridor“ wurde in Bezug auf die Kriterien „Eingriff in die Landschaft“ und „Akzeptanz“ schlecht beurteilt. Aus dem Prozess des Variantenstudiums hat man am Schluss eine Kombination der Varianten „Rückhalten“ und reduzierten „Korridor“ als neue Variante „Rückhalt mit reduziertem Korridor“ entwickelt, welche sich als Bestvariante erwies.

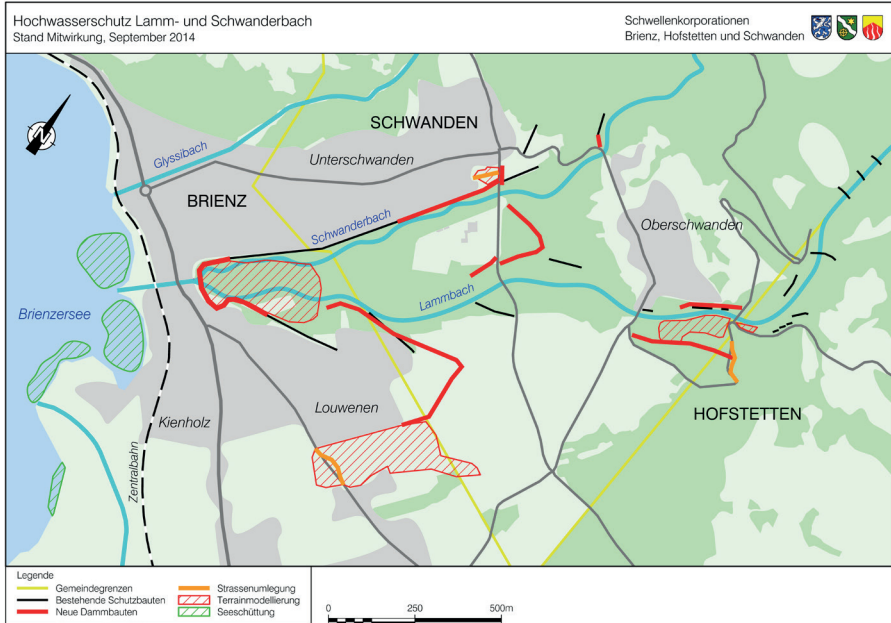


Abbildung 5: Variante „Rückhalten mit reduziertem Korridor“

PARTIZIPATION MIT PROJEKTAUSWIRKUNGEN

Die Variante „Rückhalt mit reduziertem Korridor“ wurde im Rahmen des gesetzlich vorgegebenen Mitwirkungsverfahrens öffentlich aufgelegt. Während der Auflage konnten sich alle interessierten Personen zum Projekt äussern. Die Mitwirkung hat gezeigt, dass bei der Bevölkerung eine grosse Skepsis gegenüber einem Überlastkorridor besteht. Man äusserte Befürchtungen, dass ein Überlastkorridor in der Gemeinde Brienz zukünftige Siedlungsentwicklungen einschränken könne. Zudem wurde bemängelt, dass bei der Variante „Rückhalten“ keine Rückhaltmassnahmen im Lammbach oberhalb des Schwemmkegels untersucht worden sind.

Die Überprüfung eines ergänzenden Geschieberückhaltes oberhalb des Schwemmkegels mit einem Abschlussbauwerk von 15 m Höhe ergab ein zusätzliches Rückhaltvolumen von 70'000 m³. Aufgrund der grossen Wirkung wurde dieser Vorschlag als zusätzliche Variante „dezentraler Rückhalt“ in die weitere Planung aufgenommen. Dabei wurde auf die Ausbildung eines Überlastkorridors mit Leitdämmen verzichtet.

Ein Vergleich der Varianten „Rückhalt mit reduziertem Korridor“ und „dezentraler Rückhalt“ zeigt, dass die Kosten je CHF 20 Mio. betragen. Die Wirkung auf die Gefahrenkarte nach

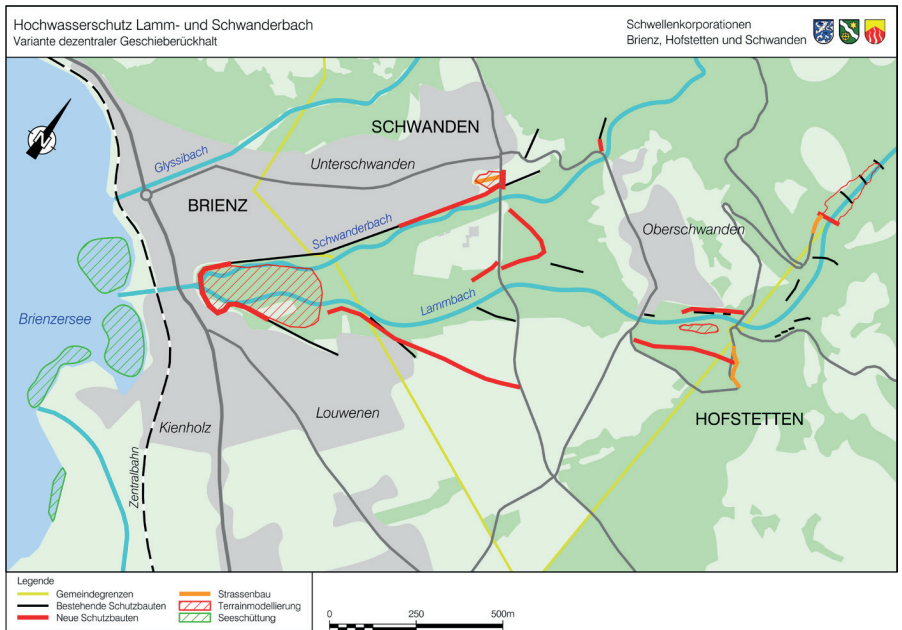


Abbildung 6: Variante „dezentraler Rückhalt“

Massnahmen ist durch den zusätzlichen Rückhalt bis zu sehr seltenen Ereignissen (HQ_{300}) bedeutend (vgl. Abbildung 7).

Wegen der riesigen mobilisierbaren Geschiebemengen beim Extremereignis (EHQ) unterscheiden sich die Intensitätskarten der beiden Varianten nach einem EHQ nicht. Bei der Variante „Rückhalt mit reduziertem Korridor“ wird ein Teil des anfallenden Materials via Korridor in Richtung See geleitet, bis auch dieser überlastet und schliesslich der gesamte Schwemmkegel betroffen ist. Bei der Variante „dezentraler Rückhalt“ bestehen zwei unabhängig voneinander funktionierende Rückhaltmassnahmen (oberer und unterer

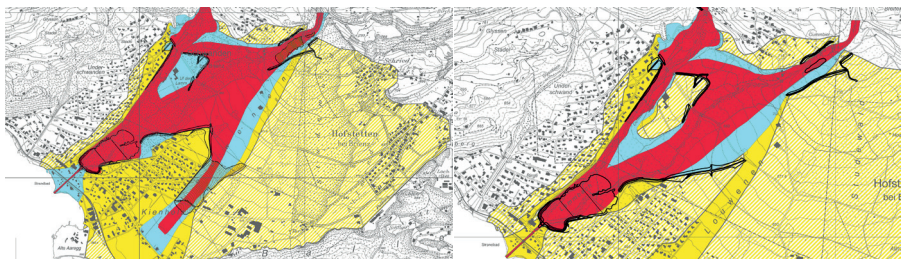


Abbildung 7: Gefahrenkarte nach Massnahmen Variante „Rückhalt mit reduziertem Korridor“ links, Variante „dezentraler Rückhalt“ rechts

Rückhalt) bei welchen bei Extremereignissen am Ende ebenfalls der gesamte Schwemmkegel übermurt wird. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Schutzwirkung der Variante „dezentraler Rückhalt“ bis zu sehr seltenen Ereignissen (HQ_{300}) besser beurteilt wird, die Variante „Rückhalt mit reduziertem Korridor“ bei extremen Ereignissen (HQ_{300}) gewisse Vorteile aufweist, welche sehr schwer zu quantifizieren sind. Ob sich z.B. eine Siedlungsentwicklung in den Bereich des Korridors mehr auf die Risiken auswirkt als eine Verdichtung der bestehenden Siedlungsstruktur ist nur sehr schwer zu beantworten und wurde nicht detaillierter untersucht.

In Anbetracht all dieser Überlegungen und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass der für den ursprünglich vorgesehenen Überlastkorridor beanspruchte Raum für die nächsten 10 – 15 Jahre auch ohne Projekt durch Siedlungsbegrenzungslinien behördenverbindlich freigehalten wird, hat man sich auf der Basis einer Nutzwertanalyse für die Variante „dezentraler Rückhalt“ entschieden.

Die Variante soll nun zum Bauprojekt weiter bearbeitet und bis 2017 planrechtlich sichergestellt werden.

FAZIT

Der Planungsprozess hat gezeigt, dass das Definieren von raumplanerischen und baulichen Schutzmassnahmen, welche bei extrem seltenen Ereignissen ausserhalb unserer Erfahrungswelt und trotz grossen Dimensionen immer noch eine Schutzwirkung haben, ausserordentlich schwierig und anspruchsvoll ist. Dies hauptsächlich in Bezug auf die Akzeptanz für Massnahmen, welche in Anbetracht des gewaltigen Ausmasses eines Extremereignisses nur eine begrenzte Wirkung aufweisen, sich aber auf das Landschaftsbild und die Siedlungsentwicklung auswirken. Diese Problematik verschärft sich im alpinen Raum, wo die Siedlungsflächen in ihrer Ausdehnung durch die Topografie beschränkt sind. Durch den partizipativen Prozess ist schlussendlich ein Projekt entstanden, das zwar nicht alle Probleme gänzlich zu lösen vermag, unter Berücksichtigung aller Bedürfnisse aber eine optimale Lösung darstellt.

LITERATUR

- Amacher, Martin, Christian Kaufmann, David Hodel (alle Mätzener&Wyss Bauing. AG), Markus Zimmermann (NDR Consulting GmbH), Serena Liener (geo7) und Christian Tognacca (beffa tognacca gmbh) 2014: Wasserbauplan Lamm- und Schwanderbach Mitwirkungsossier
- Zimmermann, Markus (NDR Consulting GmbH) 2015: Szenarien und Ereignisabläufe bei der Variante „dezentraler Geschieberückhalt“
- Kister, Bernd, Markus Zimmermann, Gabi Hunziker, Bruno Zimmerli und Walter Fellmann 2012: Analysis of torrent protective structures as a basic element of the hazard mapping process. Determining the as-is-state of 100 years old check dams made of natural stone masonry. Grenoble: 12th Congress Interpraevent. 729 – 740
- Beffa, Cornel: 2D-Strömungssimulation mit FLUMEN, Wiener Mitteilungen (2003) Band 18, BOKU-Wien
- Naef, D., D. Rickenmann, P. Rutschmann, B.W. McArdell, 2006: Comparison of flow resistance relations for debris flows using a one-dimensional finite element simulation model, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 6, 155–165