

Donnerstag 18. Oktober 2012

16:30-17:00

## Einwirkungen von Hangmuren auf Gebäude – Nachmodellierung und Prognose

*Dr. Bernard Loup*

*Bundesamt für Umwelt, CH-3003 Bern*

### Abstract

Due to sudden initiation, widespread character, limited forecasting possibilities and often high velocities, hillslope debris flows may represent a major threat for populations and goods. The impact forces exerted on constructions are poorly known; hazard assessment and planning of countermeasures remain therefore bound with relatively large uncertainties. Nineteen well-documented hillslope debris flow events have been studied and the pressures reconstructed using back-calculation and numerical simulation. The results show an overall correlation between the back-calculated impact pressures and the simulated ones, especially for values in the lower pressure range ( $< 50 \text{ kN/m}^2$ ); the results diverge for larger values. Several events could not be properly reproduced: this is mainly due to uncertainties regarding process type, evolution of the flow and inaccuracy of input data. Better understanding of the process itself as well as better references for calibration and parameterization of the simulations are still needed for use in everyday practice. The development of a national database on hillslope debris flow will be initiated in this perspective.

### Einleitung

Gemäss der Ereignisanalyse des Hochwassers 2005 haben die Starkniederschläge im August 2005 in der Schweiz rund 5000 flachgründige Rutschungen und Hangmuren ausgelöst (Raetzo und Rickli 2007, Rickli et al. 2008). Vergleichbare Zahlen sind aus den Ereignissen der Jahre 1997, 2002, 2007 und 2008 dokumentiert (Rickli 2001, Rickli et al. 2004, Bezzola und Ruf, 2009). Obwohl bei diesen Prozessen meistens nur relativ geringe Materialmengen verlagert werden, stellen sie durch ihr plötzliches Auftreten, die beschränkte Prognosemöglichkeit und den oft raschen Materialabfluss in Form von Hangmuren ein erhebliches Gefährdungspotenzial dar. Die Einwirkung auf Gebäude kann zur totalen Zerstörung führen und schlimmstenfalls Todesopfer verursachen. Die Gebäudebeanspruchung aufgrund von Hangmuren bleibt weitgehend unklar. Will man bestehende oder zukünftige Bauten wirkungsvoll schützen und bauliche Massnahmen korrekt bemessen, sind möglichst verlässliche Angaben zu den zu erwartenden Einwirkungen notwendig.

Gestützt auf diese Fragestellung hat das BAFU 2008 zwei Projekte eingeleitet (Auftragnehmer: Egli Engineering, St-Gallen, und WSL - Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF). Das erste Projekt hat eine Ermittlung der Druckeinwirkungen von Hangmuren für neunzehn gut dokumentierte Fallbeispiele mittels statischen Rückrechnungen und Nachmodellierung vorgenommen (Egli Eng. 2011). Das zweite

Projekt hat sich mit den numerischen und experimentellen Grundlagen für die Berechnung von Hangmuren befasst; dabei konnte auch das Simulationsprogramm *RAMMS:Hillslope Debris Flow* weiterentwickelt werden (Bartelt et al. 2011).

Die wichtigsten Resultate werden hier vorgestellt. Die Grenzen der bisher durchgeführten Arbeiten werden auch kritisch aufgezeigt. Für Ergänzungen zur Methodik, Resultaten und Folgerungen wird auch auf Loup et al. (2012) verwiesen.

### Methodik am Fallbeispiel Alpnachstad

#### *Ereignis*

Am 21. August 2005 wurden in Alpnachstad zwei Wohnhäuser von mehreren Hangmuren getroffen (Abb. 1). Das zu untersuchende Haus verfügt hangseitig über eine Schutzmauer, welche beim Ereignis Schäden in Form von Rissen erlitt. Das Wohnhaus liegt am Fuss einer steilen Weide, aus es sich insgesamt sechs Hangmuren lösten, wovon zwei das Gebäude trafen. Die Anrisstiefen betragen ca. 0.5 m. Die Schutzmauer wurde dabei ca. 2 m hoch eingestaut.



**Abb. 1:** Mehrere Hangmuren treffen auf Wohnhäuser in Alpnachstad

#### *Gebäudestatik / baustatische Rückrechnung*

Beim Gebäude handelt es sich um ein zweistöckiges Wohnhaus in Hanglage, wobei Unter- und Erdgeschoss hangseitig unter Terrain liegen. Die Rückwand ist in Beton ausgeführt und dient als Schutzmauer. Beim Ereignis traten an dieser Wand Risse auf. Um diese Risse zu verursachen war ein Druck von  $7 - 30 \text{ kN/m}^2$  notwendig.

#### *Numerische Simulation*

Für die Berechnung wurden folgende Randbedingungen gewählt:

Model <sup>1)</sup>	Anrisstiefe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	$\mu$	$\xi$ [m/s <sup>2</sup> ]
standard Voellmy	0.5	71	0.4	150
extended Voellmy	0.5	71	0.4	100

<sup>1)</sup> Modellierungsansatz

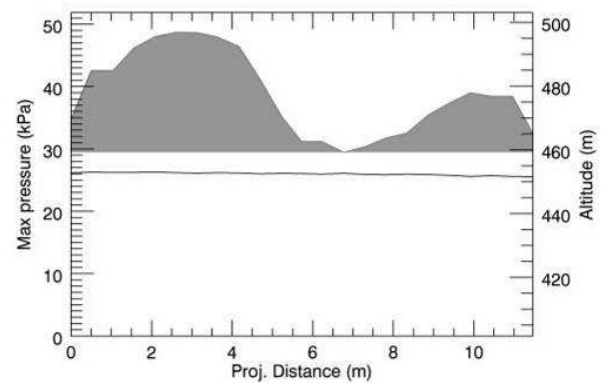
$\mu$  : Coulomb-Reibungskoeffizient /  $\xi$  : Turbulenz-Reibungskoeffizient

Die folgenden Resultate wurden erzielt (s. auch Abb. 2 und 3):

Methode	max. Druck [kN/m <sup>2</sup> ]	max. Fliesstiefe [m]	max. Geschwindigkeit [m/s]
standard Voellmy	9 - 13	0.4	2.5
extended Voellmy	47	0.25	4.8
Baustat. Rückrechnung	7 - 30	--	--



**Abb. 2:** Maximale Druckverteilung der Hangmure in Alpnachstad (extended Voellmy)



**Abb. 3:** Werteverteilung im Profil (punktierter Linie in Abb. 2) durch die maximale Druckverteilung der Hangmure in Alpnachstad (extended Voellmy)

### Fazit

Die Modellierung mit *standard Voellmy* liefert Resultate von 9 bis 13 kN/m<sup>2</sup>. Diese liegen im unteren Bereich der vom Gebäudestatiker angesehenen Bandbreite (7 - 30 kN/m<sup>2</sup>) und sind daher plausibel. Das Resultat von *extended Voellmy* (47 kN/m<sup>2</sup>) übertrifft diesen Wert klar. Hätte die Hangmure tatsächlich den berechneten Druck auf die Mauer ausgeübt, wären die Schäden grösser gewesen. Deshalb erscheinen die mit *extended Voellmy* berechneten Werte als nicht plausibel.

## Ergebnisse im Überblick

Insgesamt können aus den behandelten Fallbeispielen folgende Resultate und Schlüsse gezogen werden:

### *Allgemein*

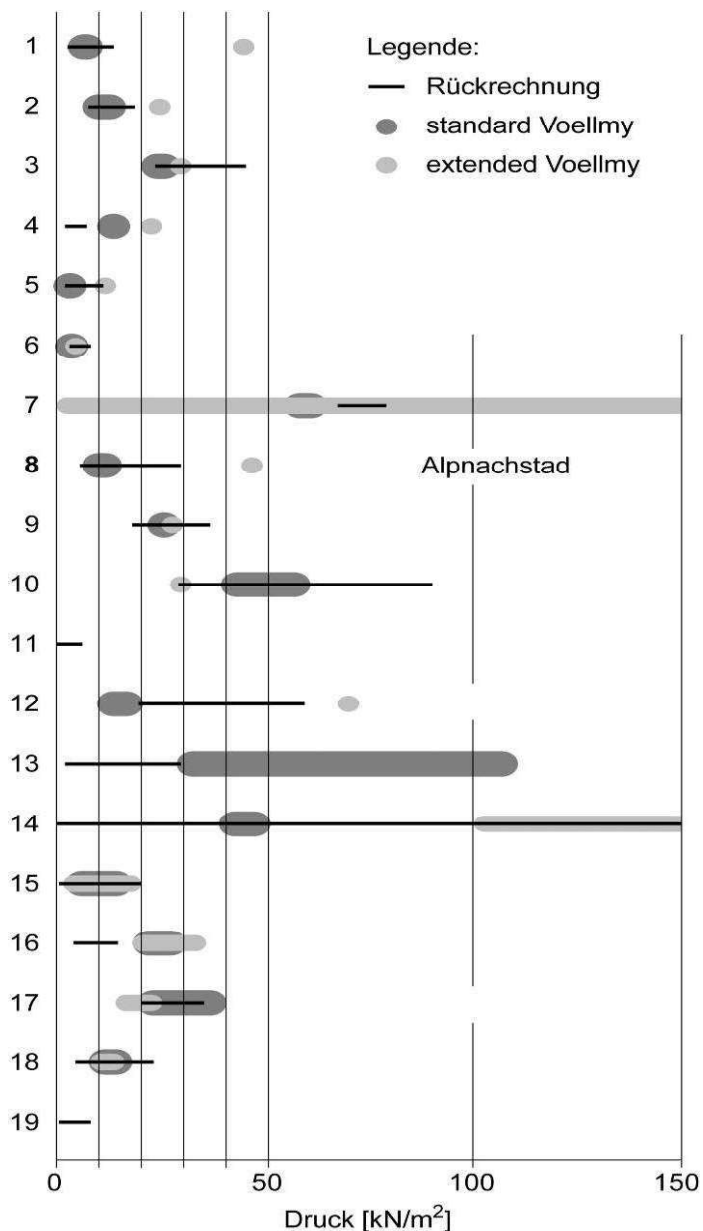
- Die Methoden (baustatische Rückrechnung / numerische Simulation mittels RAMMS) sind generell einsatzfähig.
- Die Resultate (Druckeinwirkungen) der Rückrechnung und der Nachmodellierung stimmen nur teilweise überein. Die Korrelation wird mit zunehmenden Drücken immer schlechter (Abb. 4).
- Weitere Erfahrungen sind notwendig (andere Fallbeispiele studieren).
- Die Anfangsbedingungen und die physikalischen Prozesse (inkl. Übergänge u. Abläufe) benötigen ein besseres Verständnis.

### *Baustatische Rückrechnung*

- Eine Methodik, mit den dazugehörigen Randbedingungen, Aussagen und Einschränkungen, konnte entwickelt werden.
- Damit ein Ereignis anhand Gebäudeschäden mit einer gewissen Zuverlässigkeit nachgerechnet werden kann, müssen minimale Daten und Grundlagen vorhanden sein.
- Eine baustatische Rückrechnung ist möglich, wenn eine ausführliche Dokumentation zur Bauweise, Statik usw. zur Verfügung steht. Das Vorhandensein von Architektur- und Ingenieurplänen ist optimal.
- Je nach Qualität der Datengrundlage kann die Bandbreite der ermittelten Drücke bis  $\pm 50\%$  betragen.

### *Numerische Simulation*

- Die modellierten Geschwindigkeiten (und somit die Drücke), Fliesstiefe, Fließwege, Reichweite sind nicht immer realistisch.
- Die Simulationen sind nur bedingt möglich und nicht immer nachvollziehbar.
- Nicht alle Ereignisse konnten nachmodelliert werden.
- Der Einsatz bei Prognosen (z.B. bei der Gefahrenbeurteilung oder bei der Dimensionierung von Schutzbauten und Objektschutzmassnahmen) ist somit einer sehr vorsichtiger und kritischer Vorgehensweise unterstellt.
- Sehr gute und verlässliche Input-Daten über Anrissmächtigkeit, Volumen, erwartete Prozessart, Geländebeziehungen (DTM) usw. sind notwendig. Gut überlegte Annahmen über die Disposition, die Szenarien und die Prozessabläufe sind somit gefragt.
- Die Modellresultate brauchen eine sehr sorgfältige Kalibrierung / Plausibilisierung (z.B. im Erfassungsgebiet durch stumme Zeugen oder dank angrenzenden Gebieten mit vergleichbaren Verhältnissen), sowie eine Interpretation.
- Die Unsicherheiten sind klar aufzuzeigen und bei der Umsetzung zu berücksichtigen.



**Abb. 4:** Vergleich der ermittelten Druckeinwirkungen für die neunzehn studierten Fallbeispiele (baustatische Rückrechnung, Nachmodellierung mit standard bzw. extended Voellmy-Ansätzen).

## Schlussfolgerungen

Die als Auslöser der beiden BAFU-Projekte gestellten Fragen sind nur teilweise beantwortet. Es hat sich gezeigt, dass eine zuverlässige Nachmodellierung von Ereignissen eine ziemlich schwierige Aufgabe sein kann. Umso mehr erscheint die Prognose der Prozesse – mit den möglichen Ablagerungsmustern (betroffene Fläche, Fliesstiefe, Geschwindigkeit) – sowie der zu erwartenden Einwirkungen mit grossen Unsicherheiten behaftet. Bei der Gefahrenbeurteilung (Bestimmung der Intensitäten und der Gefährdung), der Risikoanalyse oder noch bei der Massnahmenplanung (z.B. Bemessung von Flächenschutz- oder Objektschutzmassnahmen) ist die höchstmögliche Qualität bei der Modellierung gefragt. Um weitere Fortschritte in diese Richtung zu machen, sind ergänzende Erkenntnisse und Grundlagen notwendig. So fehlen zum Beispiel die notwendigen Anhaltspunkte und Referenzen:

- zur Wahl des geeigneten Simulationsansatzes (je nach erwarteter Prozessart, Prozessübergängen, Fließverhältnissen, Auslauflänge usw.);
- zur Parametrisierung der Simulation, wie rheologische Kenngrössen;
- oder noch zur Kalibrierung und Plausibilisierung der Simulationen (Referenzfälle).

Um zu versuchen, diese Lücke zu schliessen, wird das BAFU ein Folgeprojekt starten, mit dem Ziel die Referenzgrundlage durch Zusammenzuführung, Ergänzung und Anwachsen der bestehenden Datenbanken zu verbessern.

## Referenzen

- Bartelt P., Buehler Y., Christen M., Deubelbeiss Y., Graf C., McArdell B. W. (2011): RAMMS - A modelling system for debris flows in research and practice - User Manuel v.1.01 / Hillslope debris flow. – 91 S., WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Birmensdorf.
- Bezzola G. R., Ruf W. (eds.) (2009). Ereignisanalyse Hochwasser August 2007. Analyse der Meteo- und Abflussvorhersagen; vertiefte Analyse der Hochwasserregulierung der Jurarandgewässer. – Umwelt-Wissen 0927, 209 S., Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Egli Engineering (2011). Die Einwirkung von Hangmuren auf Gebäude - Analyse, Dokumentation und Interpretation von Schadenfällen. – Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Interner Bericht, unveröffentlicht.
- Loup B., Egli Th., Stucki M., Bartelt P., McArdell B. W., Baumann R. (2012): Impact pressures of hillslope debris flows - back-calculation and simulation (RAMMS). – Interpreavent 2012, Conf. proc., Vol. 1: 225-235, Grenoble.
- Raetzo H., Rickli C. (2007). Rutschungen. – In: Bezzola G. R., Hegg C. (eds.) (2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung, Umwelt-Wissen 0707, 195-209, Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Bern.
- Rickli C. (2001). Vegetationswirkungen und Rutschungen – Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. – 97 S., Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.
- Rickli C., Bucher H., Böll A., Raetzo H. (2004). Untersuchungen zu oberflächennahen Rutschungen des Jahres 2002 im Napfgebiet und in der Region Appenzell. – Bull. angew. Geol. 9/1: 37–49.
- Rickli C., Raetzo H., McArdell B. W., Presler J. (2008). – In: Bezzola G. R., Hegg C. (eds.) (2008): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen, Umwelt-Wissen 0825, 97-116, Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Bern.