

# Unsicherheiten bei der Gefahrenbeurteilung von Spontanrutschungen / Hangmuren und Konsequenzen

## Fallbeispiel Laugneri / Horloui, Weggis LU

Klaus Louis (Louis Ingenieurgeologie GmbH, Weggis, klaus@louis-weggis.ch)



Abb.1: Luftbild mit den Siedlungsgebieten Laugneri (links) und Horloui (rechts) vom April 2004 (Foto: K. Louis).

Die GK Weggis (Teil 1: Rigi Kaltbad, 2002; Teil 2: Weggis Dorf, 2004) war das Pilotprojekt „Naturgefahrenkarten“ des Kt. Luzern; die Gefahrenanalyse erfolgte mit einem überdurchschnittlich hohen Bearbeitungsaufwand und Detaillierungsgrad. Dennoch hat sich in der Folge des Augustunwetters 2005 gezeigt, dass mancherorts die tatsächlichen geologischen Verhältnisse und die daraus abgeleiteten Szenarien von den prognostizierten Modellen abwichen. Insbesondere das Gebiet Laugneri / Horloui offenbarte bei diesem Ereignis zahlreiche Überraschungen im Kontext mit der Gefahrenanalyse von Spontanrutschungen und Hangmuren. Bis heute wurden im genannten Gebiet folgende Abklärungen - und die daraus resultierenden, modifizierten Gefahreneinschätzungen - ausgeführt:

- 2002-2004: Erstellung der GK Weggis
- 2004: Vorstudie Objektschutz Laugneri
- 2005: Unwetter August, mit zahlreichen Spontanrutschungen (SR) und Hangmuren (HM); Ereignisdokumentation und Einstufung der Ereignisse im Hinblick auf die bestehende GK
- 2006/2007: Ausführung von diversen Schutzmassnahmen
- 2008: Überarbeitung GK Weggis – Neue Erkenntnisse aus Ereignis 2005; Bildung neuer Szenarien; neue Intensitätsableitung nach Methodik der AGN 2004 [1], Berücksichtigung der neuen Schutzmassnahmen
- 2013/2014: Vorstudie Schutzmassnahmen Laugneri / Horloui und Evaluierung der zugrunde gelegten Szenarien

### GK Weggis 2004: Gefahrenerkennung, Szenarien, Wirkungsanalyse

#### Allgemeines

Der Autor wohnt und arbeitet seit 1993 in Weggis und war der Projektleiter der Prozesse Sturz und Rutsch der Naturgefahrenanalyse Weggis. Zu Auftragsbeginn verfügte er bereits über ein grosses Vorwissen zu den lokalen geologischen Verhältnissen. Als Einwohner wendete er für die Gefahrenanalyse und die Ereignisdokumentation viel Einsatz auf und es wurden ihm mehr Informationen zugetragen als das üblicherweise der Fall ist. Zur Zeit der Bearbeitung waren die AGN-Empfehlungen „Gefahreneinstufung Rutschungen i.w.S.“ [1] noch nicht publiziert; die grundlegende Einstufung erfolgte im Wesentlichen auf Basis der „Empfehlungen zur Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten (BWW, BRP, BUWAL, 1997 [2]).

Bei der Gefahrenanalyse 2004 wurde zwischen Spontanrutschung und Hangmuren unterschieden, wobei beide Prozessarten in einer einzigen Prozess-GK „Rutsch“ dargestellt wurden. Die Beurteilung erfolgte anhand der folgenden Prozessverständnisse:

- *Spontanrutsch (SR):*  
*Lockergesteinsmasse an einer Hanglage, die infolge eines plötzlichen Versagens der Scherfestigkeit einer diskreten Scherfläche (meist im Zusammenhang mit Starkregenereignissen) spontan abgleitet und Horizontal- und Vertikalverschiebungen zur Folge hat; das ursprüngliche Bodengefüge bleibt dabei oft*

weitgehend erhalten.

- **Hangmure (HM):**

Bei hohem Wasseranteil können sich, bevorzugt an relativ steilen Hängen, aus SR auch HM entwickeln (Prozesswechsel; „Verflüssigung“). Kennzeichnend ist ein rasch und dynamisch oberflächlich abfließendes Gemisch aus Boden, Lockergestein, Vegetation und Wasser, das über weite Strecken bis in flaches Terrain verfrachtet werden kann, wobei das ehemalige Schichtgefüge vollständig aufgelöst wird.

Ursprung einer Hangmure ist (fast) immer eine Spontanrutschung. Aus einer Spontanrutschung muss sich jedoch nicht zwangsläufig eine Hangmure entwickeln.

### Gefahrenerkennung

Die benachbarten Siedlungsgebiete Laugneri (Bauzone) und Horlauri (keine Bauzone) wurden aufgrund der vergleichbaren geologischen und topographischen Grunddisposition zu einer Gefahrenquelle zusammengefasst.

Der 30-40° steile Hang wird von mehreren Nagelfluh-Felsbändern durchzogen. Ein niedriges Felsband verläuft auch im hangseitigen Teil des Siedlungsgebietes Laugneri. Auf dem gesamten Hang gibt es 2 gefasste Quellen sowie ein kleines, temporär wasserführendes Gerinne („Horlauribach“).

Die Lockermaterialauflage wurde meist auf <1 m, örtlich auch auf 1-2 m, und in begrenztem Umfang auf etwas mehr als 2 m geschätzt. Es wurden keine Sondierungen zur Verifikation dieser Annahmen ausgeführt.

Gemäss den Angaben der befragten Grundstückbesitzer wurde in den Baugruben der obersten Häuserreihe von Laugneri sowie bei den Häusern in Horlauri in geringer Tiefe gewachsener Fels angetroffen. Diese Hinweise entsprachen durchaus den Erwartungen des Autors und flossen auch entsprechend in die

Szenarienbildung ein.

Im gesamten Gebiet waren keine Rutschergebnisse bekannt oder dokumentiert und auf dem grossteils bewaldeten Hang waren keine typischen Rutschphänomene zu erkennen.

### Wirkungsanalyse

Die Wirkungsanalyse erfolgte auf der Grundlage der folgenden Szenarien:

- WP 1-30:  
keine SR/HM.
- WP 30-100:  
SR: <100 m<sup>3</sup>, geringe Intensität  
(Rutschmächtigkeit <0.5 m)  
HM: keine HM.
- WP 100-300:  
SR: <250 m<sup>3</sup>, mittlere Intensität  
(Rutschmächtigkeit 0.5-2 m)  
HM: bis max. 250 m<sup>3</sup>, geringe Intensität  
(h < 0.5 m und v < 0.5m/s und V < 500 m<sup>3</sup>).

Die Zuordnung der halbierten Matrixfelder des 9-feldrigen Intensitäts-Wahrscheinlichkeitsdiagramms erfolgt nach brutalem (HM) oder gradueller (SR) Prozess [2]; demzufolge resultierte für das Siedlungsgebiet Laugneri in der Prozess-GK *Rutsch 2004* der „gelbe Gefahrenbereich“.

In dem am Ostrand der Gefahrenquelle gelegenen Gebiet Horlauri wurde die Hangflanke um die Wohnhäuser in der Prozess-GK *Rutsch 2004* gutachterlich als „weiss“ belassen, da dort die Rutschdisposition als sehr gering eingeschätzt wurde (viele Felsaufschlüsse, dazwischen schmale, mutmasslich dünne Lockermaterialauflage, keine Ereignisse bekannt, keine Rutschphänomene vorhanden, kleines Wassereinzugsgebiet, durch Häuser „versiegelte“ Oberfläche).

Sekundärsturz (Remobilisierung von Blöcken durch Rutschprozesse) wurde in der Prozess-GK Sturz abgebildet. In der Prozess-GK Sturz 2004 (und somit auch in der synoptischen GK 2004) lagen die oberen Bereiche der Sied-

lungsgebiete Laugneri und Horlauri aufgrund von starken Intensitäten von Grossblockschlag bei WP 100-300 im „roten Gefahrenbereich“.

## Vorstudie Objektschutz Laugneri 2004

Auf der Grundlage der Gefahrenanalyse 2004 wurde eine Vorstudie „Schutzmassnahmen Laugneri / Horlauri“ erarbeitet. Im Jahre 2006 sollte im Hang oberhalb der Wohnhäuser Laugneri ein 350 m langes Schutznetz zum Schutz vor Sturzprozessen und „kleinen“ Hangmuren erstellt werden. Im Nachhinein betrachtet war es ein „Glücksfall“, dass dieses teure Schutzbauwerk nicht schon früher erstellt wurde, weil es bei den 2005 aufgetretenen, unerwartet intensiven Hangprozessen wohl massiv überlastet worden wäre.

## Augustunwetter 2005

Vom 19.-22. August fielen in Weggis 330 mm Niederschlag; die maximale 24h-Regenmenge betrug 205 mm. An der Rigi-Südseite ereigneten sich dutzende SR und HM, sowie zahlreiche Sekundärblockstürze. In der näheren Umgebung von Laugneri entstanden mehrere SR und HM mit Intensitäten und Wirkungsbereichen, so wie sie in der Gefahrenanalyse 2004 abgeschätzt wurden, und wo sich die „gelbe Gefahrenstufe“ für dieses sehr seltene Ereignis als zutreffend erwies.

### Laugneri

Im hydrologischen Einzugsgebiet von Laugneri bildeten sich infolge anthropogener Geländeänderungen und ungenügender Strassenentwässerungen unerwartet starke Oberflächenwasserabflüsse, die mitten durch das Gebiet Laugneri flossen. Gleichzeitig traten in Laugneri nie vorher gesehene, ergiebige Quellaustritte aus Felsklüften auf. Aufgrund eindeutiger Anzeichen von sich anbahnenden Sekundärblockschlägen wurden drei Wohnhäuser vorsorglich evakuiert.



Abb. 2: Oberflächenwasserabfluss am 22. August 2005 im Gebiet Laugneri. Das Haus rechts wurde wenige Stunden nach dieser Aufnahme durch eine mehrere Tausend m<sup>3</sup> grosse Rutschmasse eingedrückt (Foto: K. Louis).

Wenige Stunden später kam es anstatt der innerhalb der 300-jährlichen Betrachtungsperiode erwarteten SR, HM und Sekundärblockschläge jedoch zu einem translatorischen, flach- bis mittelgründigen Abrutschen der Lockergesteinsdecke auf der hangparallel geneigten Felsoberfläche mit einer gesamthaften Rutschfläche von über 10'000 m<sup>2</sup> und einer Rutschkubatur von ca. 15'000 m<sup>3</sup>. Mit den Rutschmassen wurden auch Dutzende grosse Blöcke (Grössenspektrum mehrere m<sup>3</sup> bis über 100 m<sup>3</sup>) verfrachtet. Die drei evakuierten Wohnhäuser wurden von den Rutschmassen eingedrückt; ein Haus wurde durch den Impact eines ca. 25 m<sup>3</sup> grossen Sekundär-Sturzblockes regelrecht vom Sockel gestossen. Der tatsächlich stattgefunden Prozess wurde in der wenige Monate zuvor abgeschlossenen Gefahrenbeurteilung als ein Restgefährdungsszenario beurteilt („wenn der ganze Hang auf einmal kommt“). Die betroffenen Flächen und Kubaturen waren rund 50-mal grösser als sie für ein 300-jährliches Ereignis erwartet wurden. Die Art des aufgetretenen Massenbewegungsprozesses ist am treffendsten als „Debris Slide“ zu bezeichnen (keine typische SR, HM, Sekundärsturz).

Obschon es sich um ganz verschiedene Prozesse handelte, stimmte die Farbverteilung auf der synoptischen GK 2004 „zufälligerweise“ dennoch recht gut mit der 2005 entstandenen Situation überein: zwei der drei zerstörten Häuser lagen teilweise im roten Gefahrenbereich; das dritte zerstörte Haus stand im blauen Gefahrenbereich, nahe unterhalb des roten Gefahrenbereiches.

Bei der Ereignisanalyse der Unwetterschäden zeigte sich, dass folgende anthropogene Faktoren die Rutschauslösung begünstigten:

- Anthropogen beeinflusste Oberflächenwasserabflüsse.
- Die drei zerstörten, 30-40 Jahre alten Wohnhäuser standen jeweils direkt unterhalb von ~2 m hohen, ungesicherten Hanganschnitten (ehemalige Baugrubenböschungen). Beim Ereignis 2005 rutschten diese künstlich angeschnittenen Bereiche der Lockermaterialdecke am weitesten ab.
- In den betroffenen Grundstücken rutschten auch mehrere Hundert m<sup>3</sup> grosse künstliche Auffüllungen mit ab, welche seinerzeit für Terraingestaltungen aufgeschüttet wurden.

### Horlauri

Im Gebiet Horlauri traten weder Rutsch- noch Sturzprozesse auf. Die Ausscheidung des weissen Gefahrenbereiches in der Prozess-GK Rutsch 2004 traf für dieses Ereignis zu.

### Überarbeitung GK 2008: nach Unwetter 2005 / Schutzmassnahmen 2007

#### Laugneri

Bei den Aufräumarbeiten wurde die abgerutschte Lockergesteinsdecke vollständig bis zum gewachsenen Fels abgetragen. Dabei bestätigte sich, dass die Lockergesteinsmächtigkeit grossteils effektiv weniger als 2 m mächtig war. Allerdings stellte sich auch heraus, dass das Felsoberflächenrelief leicht gewellt ist und dass die Mächtigkeit der abgerutschten Lockergesteinsüberdeckung (inkl. künstliche Aufschüttungen) im mittleren und östlichen Bereich wider Erwarten lokal bis zu 5 m betrug.

Zum Schutz des Siedlungsgebietes Laugneri wurde ein Schutzdamm projektiert. Für die geotechnische Baugrunderkundung wurden 7 Rotationskernbohrungen abgeteuf und mit Inklinometern ausgerüstet. Mittels Markierversuch wurde festgestellt, dass die Felsquellen im abgerutschten Bereich in hydraulischer Verbindung mit dem mehrere Hundert Meter entfernten Chienbach stehen.

Bei den vertieften geologischen Abklärungen und Recherchen wurden wertvolle neue geologische und hydrogeologische Informationen sowie Angaben zu historischen und prähistorischen Rutschereignissen gewonnen. Es stellte sich heraus, dass die 2 Jahre zuvor von Grundstückbesitzern gemachten Angaben zum Teil unvollständig oder auch unrichtig waren.

Mit den neuen Erkenntnissen wurden die Szenarien folgendermassen modifiziert:

- WP 1-30:  
SR, HM, Mächtigkeit < 2 m, <100 m<sup>3</sup>





Abb.3: Im Westteil von Laugneri: nach dem Abtrag der Rutschmassen vom August 2005 zeigte sich, dass die Lockergesteinsmächtigkeit in diesem Bereich erwartungsgemäss weniger als 2 m mächtig war (Foto: K. Louis).

- WP 30-100:  
SR, HM, Mächtigkeit < 2 m, bis 1'000 m<sup>3</sup>
- WP 100-300:  
SR, HM, Mächtigkeit > 2 m, bis 5'000 m<sup>3</sup>
- Restgefährdung:  
SR, HM, Mächtigkeit > 2 m, mehrere Zehntausend m<sup>3</sup>

Die Wirkungsanalyse basierte nun auf der Systematik der AGN [1]. Aufgrund der erwarteten Fliess-/Ablagerungshöhe der Hangmuren >1 m wurde die Intensität von Hangmurenprozessen als „stark“ beurteilt (resultierend Gefahrenstufe „rot“).

Der westliche Teil des Schutzdammes Laugneri wurde 2006/2007 gebaut. Das von Gemeinde, Kanton und Bund favorisierte Schutzprojekt Laugneri Ost wurde jedoch bei der Abstimmung 2009 vom Souverän verworfen und konnte nicht gebaut werden.

### Horlauri

Hier wurden keine geologischen Sondierungen durchgeführt; bei einer vertieften historischen Recherche stellte sich aber heraus, dass sich der Flurname „Horlauri“ von „Hor“ und „Lauri“

ableitet, was im Rigigebiet „SchlammLawine“ oder „SteinLawine“ bedeutet. Im Sinne eines Analogieschlusses wurden die neuen Rutschszenarien aus dem Gebiet Laugneri für das Gebiet Horlauri übernommen, so dass folglich im Gebiet Horlauri für Rutschprozesse neu ebenfalls der rote Gefahrenbereich resultierte. 2007 erarbeitete die AGN eine fachliche Zweitmeinung, in der die getroffenen Szenarienbildungen und Gefahrenausscheidungen grundsätzlich anerkannt wurden.

### Vorstudie Schutzmassnahmen 2013/2014

Gemäss Masterplan Naturgefahren Weggis sind in den nächsten Jahren verschiedene Schutzmassnahmen geplant. Die einzelnen Schutzprojekte sollen Ende 2014 zur Abstimmung vorgelegt werden.

### Laugneri

Der 2007 erstellte Schutzdamm Laugneri I soll, so weit als topographisch / geotechnisch möglich, nach Osten verlängert werden, um auch die östlichen Wohnhäuser von Laugneri

zu schützen.

### Horlauri

Zum Schutz der Liegenschaften gegen intensive Sturz- und Hangmurenprozesse wurden 5 Massnahmenvarianten (Kombinationen aus Überwachung, Felssicherung, Felsabtrag, Schutznetzen, Aussiedlung) ausgearbeitet. Gemäss EconoMe-Berechnungen sind 4 der 5 Schutzmassnahmen nicht kostenwirksam. Die grösste Risikoreduktion würde mit der Variante „minimale Felssicherung + Überwachung, Aussiedlung + Entschädigung der Grundstückbesitzer, Rückbau der Gebäude“ erzielt.

### Überprüfung Szenarien Wirkungsanalyse 2014

Die betroffenen Anwohner von Horlauri wurden vom Gemeinderat über dieses ernüchternde Ergebnis (Aussiedlung und Entschädigung) und die einschneidenden persönlichen Konsequenzen direkt orientiert. Das grosse Gefahrenpotential von Sturzprozessen wurde seitens der Anwohner nicht angezweifelt. Jedoch wurde hinsichtlich der Prozess-GK Rutsch moniert, dass die Bestimmung der rutschfähigen Lockergesteinsmächtigkeit im Gebiet Horlauri nicht auf konkrete Sondierbefunde basiere.

Aufgrund der erheblichen emotionalen, finanziellen (und absehbar juristischen) Tragweite wurde für das Gebiet Horlauri eine vertiefte Gefahrenprozessanalyse, inkl. einer geologischen Erkundung zur Ermittlung der Lockergesteinsmächtigkeit (5 Sondierbohrungen, kombiniert mit seismischen Untersuchungen (Hybridseismik), in Auftrag gegeben.

Aktueller Stand der Erkenntnisse (Mitte Februar 2014): im östlichen Bereich von Horlauri (wo die Wohnhäuser stehen) liegt ein ausgeprägtes treppenförmiges Oberflächenrelief vor. Zwischen den senkrechten Nagelfluhbändern befinden sich weniger steile Hangflanken, unter denen Schlammsteine („Mergel“) anstehen, deren Verwitterungszone mehrere Meter

in den Fels hinein reicht. Die effektive Lockergesteinsauflage ist weniger als 1 m mächtig. Im Gebiet Horloui können daher nun zwei Gefahrenquellen für Rutschprozesse differenziert ausgeschieden werden:

- A) Östlicher Bereich: Felsbänder/Felshochlage mit sehr geringmächtiger (wenige dm bis 1 m) rutschfähiger Lockergesteinsauflage im Bereich der Wohnhäuser.
- B) Westlicher Bereich: Hangflanken mit flachgründiger (<2 m) Lockergesteinsdecke und mit vorwiegend hangparallel geneigter Mergeloberfläche im Untergrund.

Anhand dieser neuen Erkenntnisse drängt sich wohl eine Neubeurteilung der Rutschszenarien des Gebiets Horloui auf.

### Schlussfolgerungen

Für das Gebiet Horloui wurden in den letzten 10 Jahren drei unterschiedliche massgebliche Szenarien für Hangmurgangprozesse festgelegt, dies jedes Mal aufgrund von einleuchtenden und stichhaltigen Argumenten.

Trotz detaillierter Untersuchungen, guter Kenntnis des Gebiets und deren geologischen Gegebenheiten bleibt die Einschätzung von Rutschprozessen in Raum und Zeit von zahlreichen, unabwägbaren Einflussfaktoren

abhängig und in vielen Fällen schwierig zu quantifizieren.

Bei Gefahrenbeurteilungen von zweifelhaften oder uneindeutigen Gebieten (insbesondere solche mit hohem Gefahrenpotential und/oder absehbar erheblichen Konsequenzen) sind nach Ansicht des Schreibenden unbedingt Sondierungen/geophysikalische Untersuchungen auszuführen, um die Szenarienbildung auf objektive, quantifizierbare und nachvollziehbare Beurteilungsgrundlagen abzustützen. Und auch diese gewonnenen Erkenntnisse können nur Abschätzungen über Geometrie und Kubaturen potentieller Rutschmassen ergeben, liefern jedoch keinerlei Anhaltspunkte über die Häufigkeiten, bzw. Eintretenswahrscheinlichkeiten entsprechender Massenbewegungsprozesse.

Oberflächenwasserabflüsse können für die Auslösung von spontanen Rutschprozessen und für die Ausbreitung von Hangmuren eine entscheidende Rolle spielen. Anthropogene Terrainveränderungen haben hierbei oft einen erheblichen Einfluss. In überbauten Gebieten können ungenügend gesicherte Böschungen und Terrainaufschüttungen die Auslösung und die Ausbreitung von Rutschprozessen begünstigen.

Bei der Erstellung von neuen, resp. der Überarbeitung von bestehenden Gefahrenkarten „Rutschprozesse“ ist eine weiter verbesserte Vorgehensmethodik sehr zu empfehlen. Eine Unterscheidung in brutale (HM) und graduelle (SR) Prozesse sowie die unterschiedliche Zuordnung der „halbierten Matrixfelder“ sind nach Ansicht des Schreibenden nicht zweckdienlich (eine Spontanrutschung ist kein „gradueller“, sondern ein spontaner Prozess, der ebenfalls sehr „brutal“ sein kann).

### Literatur

- [1] AGN; Bollinger, D., Keusen, H. R., Rovina, H., Wildberger, A. und Wyss, R. (Entwurf vom 24. März 2004): Gefahreinstufung Rutschungen i. w. S. – Permanente Rutschungen, spontane Rutschungen und Hangmuren.
- [2] BRP, BWW, BUWAL (Empfehlungen 1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.