Alarmsystem für murgangfähige Wildbächen : Beispiel Illgraben

Autor(en): **Graf, Christoph / Badoux, Alexandre / Dufour, François**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria**

Band (Jahr): **99 (2007)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-940122

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Alarmsystem für murgangfähige Wildbäche – Beispiel Illgraben

■ *Christoph Graf, Alexandre Badoux, François Dufour, Bruno Fritschi, Brian W. McArdell, Jakob Rhyner, Richard Kuntner, Philipp Teysseire, Urs Nigg*

1. Einleitung

Der Illgraben bei Leuk im Kanton Wallis hat im Laufe der Zeit einen mächtigen Kegel geschüttet, welcher die Rhone nach Norden abgedrängt und Raum für die Bildung des Pfynwaldes geschaffen hat *(Bild 1)*. Noch heute fallen auf Grund der fortwährenden und intensiven Verwitterung im Einzugsgebiet grosse Mengen an feinem und grobem Lockermaterial an. Bei intensiven Niederschlägen (Gewitter, Schauer) oder einer Kombination von Schmelzwasser und Regenfällen wird dieses Material mobilisiert und in Form von Murgängen bis in die Rhone transportiert. Mehrmals pro Jahr werden im Illgraben Murgangereignisse beobachtet. Dabei besteht je nach Zustand des Gerinnes ab einer gewissen Ereignisgrösse das Risiko, dass ein Murgang aus dem Gerinne ausbricht und Infrastrukturanlagen sowie Teile der Ortschaft Susten beschädigt.

Infolge dieser Gefahrenlage wurde 1999 auf der Basis der vom damaligen Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG, heute Bundesamt für Umwelt BAFU) erstellten Wegleitung (BWG, 2001) mit der Erarbeitung eines Schutzkonzeptes begonnen.

In einer ersten konzeptuellen Phase wurden bis 2003 von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL in Zusammenarbeit mit verschiedenen privaten Ingenieurbüros detaillierte Untersuchungen zu möglichen Murgangszenarien durchgeführt (Geo7, 2000; Rickenmann et al., 2001; Teysseire & Candolfi, 2003; WSL, 2001). Dabei wurden die Gefahrensituation und das Schadenpotenzial ermittelt und auf Grund der Schutzziele der Handlungsbedarf – inkl. Massnahmenplanung im Bereich Unterhalt, Raumplanung und bauliche Massnahmen – definiert. Die wichtigsten baulichen Massnahmen befinden sich zurzeit in der eingehenderen Ausarbeitung (Auflageprojekt). Neben den baulichen Schutzmassnahmen stellt die Notfallplanung einen wichtigen Teil des Schutzkonzeptes dar. Diese soll den Ablauf der Interventionsmassnahmen im Ereignisfall so steuern, dass das Schutzkonzept optimal funktioniert. Sie trägt dazu bei, Personen- und Sachschäden bis zur Realisierung von baulichen Massnahmen zu vermeiden und die nach der Umsetzung des Schutzkonzeptes verbleibenden Restrisiken zu mini-

Bild 1. Kegel des Illgrabens mit Susten und der Mündung in die Rhone (F. Dufour, WSL/SLF).

mieren. Wichtiger Bestandteil eines Notfallkonzeptes ist eine den örtlichen Gegebenheiten angepasste Alarmierung.

Der Illgraben eignet sich für die Entwicklung eines Alarmsystems besonders gut, da die WSL in verschiedenen Teilen des Einzugsgebietes intensive Forschung betreibt (Hürlimann et al., 2003a) und langjährige Datenreihen bestehen. Obwohl im Einzelnen auf die spezifischen Gegebenheiten des Illgrabens zugeschnitten, ist das System mit entsprechenden Anpassungen auch auf andere Prozesse und Gebiete anwendbar. Zudem fügt es sich nahtlos in das «Tool» ein, welches gegenwärtig im Auftrag des Kantons in Entwicklung ist. Damit sollen einerseits ein Standard für eine Notfallplanung festgelegt und anderseits die Gemeinden bei ihrer Erstellung unterstützt werden (Geoplan, 2006).

Der Artikel ist wie folgt aufgebaut. Im Kapitel 2 wird kurz in die Charakteristik der Murgänge eingeführt und insbesondere das im Illgraben von Murgängen ausgehende Risiko genauer erläutert. In Kapitel 3 werden die Ereignistypen und in Kapitel 4 das vierstufige Alarmsystem beschrieben. Kapitel 5 gibt einen Überblick über zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten und Grenzen derartiger Alarmsysteme sowie ihre Einbindung in eine gesamtschweizerische Strategie.

2. Murgänge und Gefährdung

2.1 Eigenschaften von Murgängen

Ein Murgang ist ein schnell fliessendes Gemisch aus Wasser und einem hohen Anteil an Feststoffen wie Steine, Blöcke oder Holz (BUWAL, 1998). Oft weisen Murgänge eine ausgeprägte, steile Front auf. Sie treten häufig nach bzw. während heftigen Niederschlägen auf, können aber auch infolge eines Aufstaus und nachfolgenden Durchbrechens im Gerinne, z.B. infolge einer seitlichen Rutschung, erfolgen. Deshalb kann ein Ereignis unerwartet und rasch auftreten. Die Beurteilung der Murfähigkeit eines Wildbachgerinnes wird in Rickenmann (1995) ausführlich beschrieben. Eine entscheidende Rolle spielen dabei v.a. das Feststoffpotenzial, das Bachgefälle sowie die Kombination von Niederschlagsintensität und -menge.

Die Mischung aus Wasser, Gestein und teilweise Holz kann durch hohe Druckkräfte Infrastrukturbauten beschädigen oder gar zerstören. Bricht ein Murgang beispielsweise aufgrund einer Verklausung an einer engen Stelle aus dem Gerinne aus, können grössere Flächen übermurt werden. Die daraus entstehenden Sach- und (allenfalls) Personenschäden sind häufig beträchtlich. Das oft schubartige Abflussverhalten von Murgängen macht eine Intervention kurz nach dem Frontdurchgang zudem sehr gefährlich.

Das Risiko durch Murgänge ist weltweit an verschiedenen Orten vorhanden, namentlich in Regionen mit idealen Voraussetzungen zu deren Auslösung, und wo zusätzlich hohe Bevölkerungsdichte und damit ein hohes Schadenpotenzial vorhanden ist. Zum besseren Umgang mit dem Murgangrisiko sind weltweit Systeme zur Vorhersage und Warnung entwickelt worden. Beispiele sind z.B. aus Nordamerika (Jakob et al., 2006; Keefer et al., 1987), Japan (Hirano, 1997), Taiwan (Chen et al., 2005), aber auch aus Italien (Aleotti, 2004; Bacchini and Zannoni, 2003) bekannt.

In der Schweiz hat man für Lawinen bereits grosse Erfahrung beim Betrieb von Warnung und Alarmierung. Vielerorts werden gefährdete Strassen- oder Bahnverbindungen bei heiklen Lagen vorsorglich gesperrt. Zudem werden in solchen Situationen in gefährdeten Gebieten Evakuierungen angeordnet. Dadurch konnten bisher oft grössere Unglücke und Schäden verhindert werden. Solche vielerorts bereits im operationellen Einsatz stehenden Systeme sollten in Zukunft auch vermehrt für Steinschlag, Rutschungen, Hochwasser und Murgänge erarbeitet und umgesetzt werden.

2.2 Der Illgraben

Der Illgraben bei Leuk im Kanton Wallis ist einer der aktivsten Wildbäche der Schweizer Alpen (Hürlimann et al., 2003a,

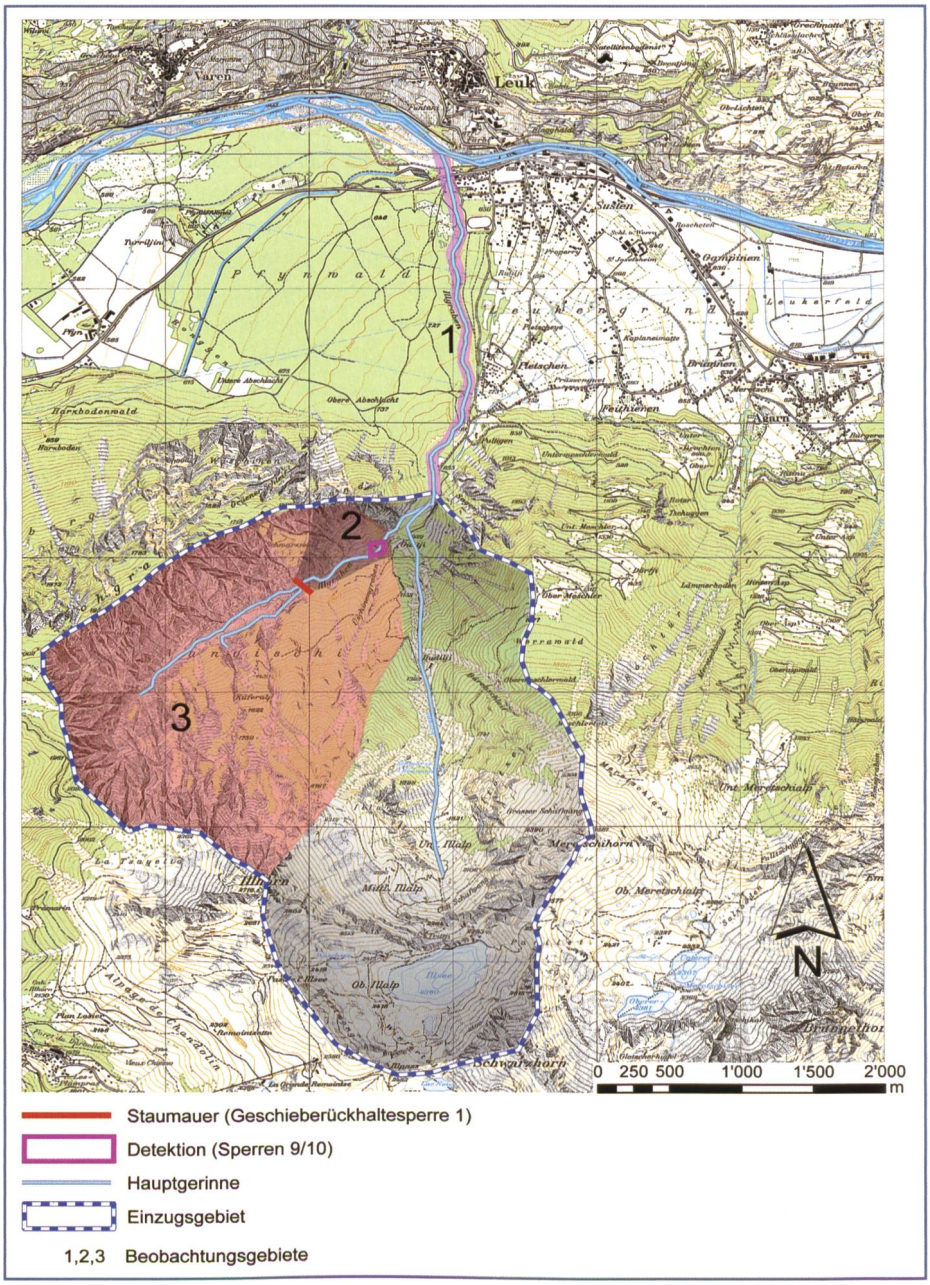

Bild 2. Karte des Einzugsgebietes mit Staumauer (Geschieberückhaltesperre 1), Detektionssystem (Schwellen 9/10) und Einteilung in die Beobachtungsgebiete (LK 25, Nr. 1287, 1999, copyright swisstopo 2007).

b; Rickenmann et al., 2001). Jährlich treten in diesem Einzugsgebiet mehrfach Murgangereignisse auf. Das Einzugsgebiet fällt durch seine offene, helle und auf Grund der starken Verwitterung grösstenteils vegetationslose Ausprägung auf. Der gewaltige Kegel, welcher die Rhone auf die nördliche Talseite abdrängt, deutet auf eine hohe Transportaktivität aus dem Einzugsgebiet hin. Das Material stammt vornehmlich aus dem Gorwetschmassiv (Kalkgestein, Dolomit und Rauwacken mit Gips- und Anhydritlinsen). Der Illgraben entspringt aus dem Felskessel *(Bild 2)* und mündet bei Susten in die Rhone. Das gesamte Einzugsgebiet misst ca. 10 km^2 und reicht von 610 m ü.M. bis 2716,5 m ü. M. (Illhorn). Das Hauptgerinne misst etwa 5 km, davon entfällt knapp die Hälfte auf den Kegel. Der Kegel mit 2 km Radius und einem Öffnungswinkel von 180° hat eine sehr ruhige Oberfläche und weist vom Kegelhals auf Kote 850 bis zur Mündung in die Rhone bei Kote 610 ein mittleres Gefälle von 10,2% auf.

Auf der östlichen Seite des Kegels befindet sich der Ortsteil Susten (Gemeinde Leuk) und die Gemeinde Agarn sowie verschiedene Freizeitanlagen, wie ein Fussballplatz usw. Der Illgraben dient Anwohnern und Touristen als Naherholungsgebiet, und beliebte Wanderrouten queren den Graben an verschiedenen Stellen. Auf der westlichen Seite des Kegels steht der Pfynwald, der grösste zusammenhängende Föhrenwald der Alpen (Werner, 1985). Die Kegeloberfläche auf dieser Seite weist zahlreiche Spuren der geomorphologischen Aktivität der letzten Jahrhunderte auf.

Im Juni 1961 ereignete sich in der Folge eines Bergsturzes das grösste bekannte Murgangereignis im Illgraben *(Bild 3)* und zerstörte die Brücke der Kantonsstrasse und Teile der gerinnenahen Siedlung.

Nach dem Ereignis von 1961 wurde der Wildbach auf dem Kegel mit einer Staumauer und einer Serie von Wildbachschwellen stabilisiert (Lichtenhahn, 1971). Die 50 m hohe Sperre bewirkt einen künstlichen Rückhalt der Akkumulation im Einzugsgebiet, während die Schwellen das Gerinne stabilisieren. Sie verhindern eine zusätzliche Aufnahme von Fracht aus der Gerinnesohle bei einem Ereignis. Das System, bestehend aus Sperre und Schwellen, ist robust und hat sich bewährt. Nach der Errichtung der Geschieberückhaltesperre bewirkte dies kurzzeitig eine starke Reduktion der Murgangaktivität auf dem Kegel. Zu Beginn der 80er-Jahre klang dann der

Bild 3. Der Murgang am 3. Juni 1961 zerstörte die Brücke über den Illgraben. (Kreisforstamt IV, Kt. VS).

Effekt der Rückhaltewirkung durch die Staumauer ab und es ereigneten sich wieder Murgänge. Seit der Fertigstellung der Bauwerke Anfang der 70er-Jahre kam es an den 30 Betonschwellen jedoch auf Grund des nur eingeschränkt möglichen Unterhaltes teilweise zu einer starken Abrasion oder zum Versagen einzelner Schwellen. In den letzten Jahren wurde klar, dass eine Sanierung und teilweise Wiederinstandstellung sowie eine begleitende Verbesserung der Schutzsituation in den nächsten Jahren unumgänglich wird.

2.3 Murgangforschung im Illgraben

Seit den 1980er-Jahren hat die Murgangforschung sowohl in Europa als auch weltweit beträchtlich an Beachtung gewonnen. In der Schweiz entstanden die ersten grösseren Studien über Murgänge nach den schweren Unwetterereignissen des Sommers 1987 (z.B. Rickenmann und Zimmermann, 1992, Zimmermann et al., 1997). Im Mai 2000 baute die Eidg. Forschungsanstalt WSL am Illgraben eine automatische Beobachtungsstation auf, um Messdaten vom ablaufenden Prozess zu erheben und so ein besseres Verständnis der Vorgänge in einem Murgang zu erlangen (Rickenmann et al., 2001).

Messdaten und Bildaufnahmen aus Beobachtungsstationen bilden die Grundlage für weitere Bereiche der Murgangforschung, wie z.B. Laboruntersuchungen oder computergestützte Modellierung und dienen der Sammlung von Erfahrungen im Umgang mit diesem Gefahrenprozess.

Der Illgraben ist mit folgenden Messgeräten und Installationen ausgerüstet (Hürlimann et al., 2003b; Rickenmann et al., 2001): Videokameras, Beleuchtung, Ultraschallsensoren oder Radarmessgeräte, um die Abflusshöhe im Gerinne zu bestimmen, Geofone, um die Fliessgeschwindigkeit zwischen verschiedenen Schwellen abzuschätzen, sowie Niederschlagswippen, um die lokalen Niederschlagsverhältnisse zu beschreiben. Des Weiteren können im Illgraben anhand der in den letzten beiden Jahren installierten Murgangwaage und Scherwand Informationen über Kräfte und die Geschwindigkeitsverteilung in einem Murgang gewonnen werden. Anhand dieser Messtechnik lassen sich zudem die Dichteverhältnisse eines Murgangereignisses bestimmen. Somit ist der Illgraben eines der weltweit am besten instrumentierten Untersuchungsgebiete (Itakura et al., 2005). Der Aufwand wird durch die für die Schweiz einzigartige Häufigkeit an Murgangereignissen gerechtfertigt.

3. Ereignistypen im Illgraben

Im Zusammenhang mit dem Ergreifen von Notfallmassnahmen werden die zu erwartenden Murgangereignisse in vier Typen eingeteilt:

I. Kleine Murgangereignisse ohne oder mit wenig Ereignisniederschlag
II. Grosse Murgangereignisse ohne oder mit wenig Ereignisniederschlag
III. Kleine Murgangereignisse mit viel Ereignisniederschlag
IV. Grosse Murgangereignisse mit viel Ereignisniederschlag

Als «klein» werden nachfolgend Ereignisse bezeichnet, die nicht aus dem Gerinne ausbrechen und somit heute keine Sachschäden verursachen. Dies entspricht im Illgraben Volumina bis ca. 75 000 m^3. Jährlich werden in der Regel auf dem Kegel mehrere kleine Ereignisse registriert (Teysseire & Candolfi, 2003; WSL, 2001). Dieser

Ereignistyp gefährdet nur Personen, die sich im Gerinnebereich aufhalten. Solche Murgangereignisse lassen sich mit einer angemessenen Instrumentierung (Kap. 4.3) im Gerinne detektieren. Die anhand der berechneten Fliessgeschwindigkeiten von Murgängen ermittelten Vorwarnzeiten sind jedoch sehr kurz. Bei einem granularen Ereignis mit hohem Feststoffanteil: 10–15 min; bei einem sehr flüssigen, hochwasserähnlichen Ereignis mit geringem Feststoffanteil (hyperconcentrated flow): rund 5 min.

Bisher wurden über 30 Ereignisse von der automatischen Murgangbeobachtungsstation aufgezeichnet. Die Auswertungen zeigen, dass auch Murgänge mit mehr als 75 000 m^3 in die Rhone gelangen, ohne auszubrechen. Dies ist u.a. auf die Tatsache zurückzuführen, dass sich der Illgraben in den letzten Jahren teils stark eingetieft hat und somit ein grösserer Gerinnequerschnitt zur Verfügung steht. Ablagerungs- und Erosionsphasen treten im Illgraben abwechselnd auf. Somit ist davon auszugehen, dass der Gerinnequerschnitt durch Auflandung auch kleiner werden kann.

Als «gross» werden nachfolgend Murgangereignisse bezeichnet, welche ausbrechen können und nicht bloss für den unmittelbaren Gerinnebereich, sondern auch für die anliegenden Flächen auf dem Murgangkegel eine Gefahr darstellen. Es handelt sich um Murgänge, die Volumina von 250 000 m^3 und mehr mobilisieren. Bei Murgangvolumina zwischen 75 000 und 250 000 m^3 ist der zum Zeitpunkt des Ereignisses zur Verfügung stehende Gerinnequerschnitt für das Ausbrechen aus dem Gerinne ausschlaggebend.

Ein Murgang von etwa 250 000 m^3 Material wird wahrscheinlich erst im untersten Drittel des Kegels ausbrechen. Bei einem noch grösseren Ereignis muss zusätzlich auch auf dem oberen Teil des Kegels mit Ausbrüchen gerechnet werden. Ereignisse mit wenigen 100 000 m^3 sind mehrere Male pro Jahrhundert zu erwarten. Ereignisse über 250 000 m^3 treten durchschnittlich einmal pro Jahrhundert auf.

Mit den in Kapitel 4 beschriebenen vier Elementen des Alarmsystems kann hauptsächlich für die Ereignistypen I, III und IV das Risiko vermindert werden. Für den Ereignistyp I ist in aller Regel keine Vorhersage möglich. Hier ist vor allem die Förderung des Gefahrenbewusstseins wichtig. Zudem ist es möglich, mit einem Murgangdetektionssystem eine kurzfristige Warnung auszugeben. Für die Ereignistypen III und IV sind periodische Begehungen und Beobachtungen im Einzugsgebiet sehr wichtig, da vom Gerinnezustand auf die zu erwartenden Ereignisszenarien geschlossen werden kann. Im Weiteren muss in Zukunft versucht werden, die Wetterprognose besser nutzbar zu machen, um dadurch die Vorwarnzeit zu verlängern.

Am schwierigsten zu handhaben sind Ereignisse des Typs II. Zum Teil können solche Ereignisse durch Beobachtung des Einzugsgebietes antizipiert werden, z.B. wenn Veränderungen bei einer Stauung beobachtet werden. Dagegen werden Ereignisse, welche durch einen Felssturz ins Gerinne induziert werden, in den meisten Fällen nicht rechtzeitig beobachtet, und wirksame Massnahmen können aufgrund der kurzen Frist zwischen der Detektion und der Einwirkung nicht ergriffen werden. Solche Ereignisse stellen ein Restrisiko dar, das kaum weiter reduziert werden kann.

Das Lockermaterialangebot im Entstehungsgebiet und die Charakteristiken des Ereignisniederschlages spielen bei der Auslösung von Murgangereignissen in Wildbächen eine entscheidende Rolle. Ein hoher Sättigungsgrad dieser teilgesättigten Böden vor dem Beginn eines Niederschlagsereignisses begünstigt zudem die Entstehung eines Murganges und stellt eine wichtige Ausgangsgrösse dar. Der Wassergehalt des Bodens wird zum einen durch die Schneeschmelze und die hydrogeologischen Verhältnisse, aber auch durch die so genannte Vorregensumme beeinflusst. Eine vollständige Sättigung durch Niederschläge ist jedoch kaum zu erreichen, was durch Versuche an ähnlich steilen Hängen gezeigt wurde (Teysseire et al. 2000, Springman et al. 2003). Die Vorregensumme entspricht der Niederschlagsmenge, die innerhalb einer bestimmten Zeitspanne vor einem gegebenen Niederschlagsereignis registriert wurde *(Bild 4)*. Es ist jedoch oft nicht möglich, den Einfluss der verschiedenen die Bodenfeuchtigkeit steuernden Faktoren zu quantifizieren.

So zeigen z.B. Untersuchungen zu Niederschlagsverhalten und Auslösung von Murgängen im Illgraben (McArdell and Badoux, in Vorbereitung) keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der Vorregensumme von Murgang auslösenden und nicht Murgang auslösenden Niederschlagsereignissen. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Kapitel 4.5. Deganutti et al. (2000) kommen für das Einzugsgebiet des Rio Moscardo (östliche italienische Alpen), wo Murgangereignisse ebenfalls häufig auftreten, zu einem ähnlichen Schluss.

Bild 4 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen Ereignisniederschlag (die Regenmenge des Niederschlagsereignisses, das einen Murgang auslöst) und der Vorregensumme einer bestimmten Zeitdauer. Je nach Definition muss dem betrachteten Niederschlagsereignis eine gewisse niederschlagsfreie Phase vorangehen (gängig sind z.B. 6 Stunden).

4. Beschreibung des Alarmsystems

4.1 Ziele und Aufbau

Bauliche und raumplanerische Massnahmen sind wirksame Mittel zur Reduktion von Naturgefahrenrisiken. Eine vollständige Beseitigung des Risikos ist jedoch nie möglich. Es ist die Aufgabe von Vorhersage-, Warn- und Alarmsystemen, einerseits, das nach den baulichen Massnahmen verbleibende Risiko weiter zu reduzieren, anderseits aber auch die Zeit bis zu deren Realisierung zu überbrücken. Die Verantwortung für das Ergreifen der organisatorischen Massnahmen zur Risikore-

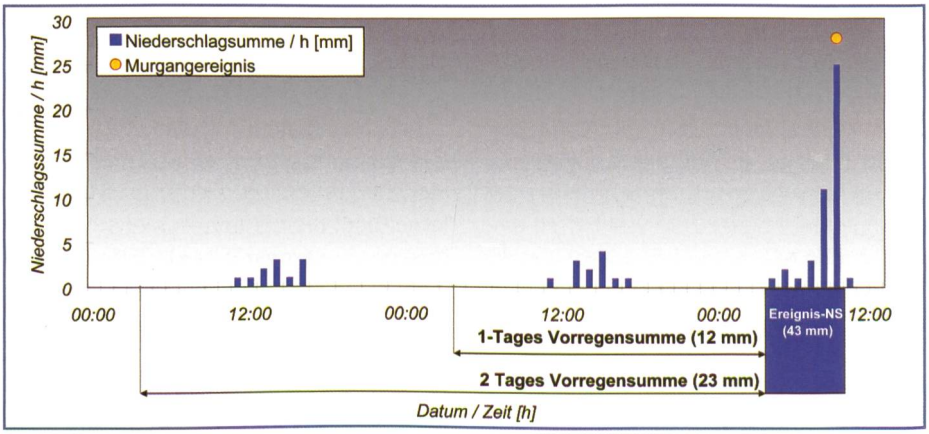

Bild 4. Schematische Niederschlagssummen im Einzugsgebiet als Beispiel und Erläuterung der Begriffe Vorregen(summe) sowie Ereignisniederschlag(ssumme).

duktion im Ereignisfall (z.B. Evakuationen) liegt gesetzlich bei den Gemeinden.

Lange Tradition haben solche Systeme bei Lawinen (Bründl et al., 2004, Gubler, 2000). Die wichtigsten Grundlagen der Lawinenwarnung und -alarmierung sind folgende:

a) Durch die regelmässig wiederkehrenden Lawinenlagen gut ausgeprägtes Gefahrenbewusstsein, v.a. bei der ortsansässigen Bevölkerung.
b) Gut ausgebautes Mess-, Beobachtungs- und Informationssystem (tägliche Lawinenbulletins).
c) Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Wetterentwicklung und Auslösebereitschaft und die damit verbundene Möglichkeit zur Vorhersage der regionalen Gefährdung.

Überdies haben sich in einigen Einzugsgebieten Alarmsysteme bewährt, die durch Detektion eines Lawinenanrisses ein entsprechendes Signal auf darunter liegenden Verkehrswegen aktivieren. Dadurch können trotz der sehr kurzen zur Verfügung stehenden Zeit Fahrzeuge rechtzeitig vor der Einfahrt in den Lawinenzug gewarnt werden.

Die Übertragung dieser Grundlagen aus der Lawinenwarnung können beim heutigen Stand der Kenntnisse nur zum Teil auf den Prozess Murgang übertragen werden. So ist beispielsweise eine quantitativ fassbare Vorhersage der Murganggefahr gegenwärtig noch nicht möglich. Mehrere Elemente können jedoch unter Berücksichtigung der prozessbedingten Unterschiede und der topographischen Gegebenheiten von der Lawinenwarnung übernommen werden. Sie fliessen mit den folgenden vier Stufen in das Alarmsystem Illgraben ein:

1) Organisatorische Massnahmen in der Gemeinde: Aufklärung über Gefährdung, Erstellung von Alarmierungsabläufen und Massnahmenplanung im Ereignisfall.
2) System für die Detektion von Murgangereignissen und automatische Alarmauslösung.
3) Systematische und standardisierte Beobachtung des Einzugsgebietes, mit Erstellung einer langfristigen Datenbank.
4) Verbesserung der lokalen Wetterprognose und ihre Umsetzung für die Ermittlung der Ereigniswahrscheinlichkeit.

Mit dem Aufbau der ersten drei Stufen konnte unverzüglich begonnen werden. Bei Stufe 3 ist jedoch zu beachten, dass nicht nur die direkte Information für den aktuellen Gebrauch wichtig ist, sondern auch der Aufbau von langjährigen Beobachtungs- und Datenreihen, welche künftig besser abgestützte Entscheidungshilfen liefern und eine wichtige Grundlage für den Aufbau von Prognosemodellen bilden sollen. Die Stufe 4 benötigt bis zu ihrer vollen Umsetzung eine längere Entwicklungszeit, sowohl was die Qualität der lokalen Wetterprognose betrifft als auch ihre Umsetzung in eine Gefahrenprognose. Die vier Stufen werden im folgenden Kapitel im Einzelnen beschrieben.

Im Kanton Wallis soll in Zukunft von jeder Gemeinde ein standardisiertes, aber auf die kommunalen Bedürfnisse und Möglichkeiten abgestütztes Gemeinde-Notfallkonzept erstellt und betrieben werden. Für die Erarbeitung dieser Konzepte ist im Auftrag des Kantons ein computergestütztes «Tool» in Entwicklung (Geoplan, 2006). Alarmierungssysteme, wie dasjenige des Illgrabens, sind ein wichtiger Teil eines solchen Gemeinde-Notfallkonzeptes.

4.2 Organisatorische Massnahmen

4.2.3 Permanente organisatorische Massnahmen

Der Aufenthalt im Gerinne und die Durchquerung des Illgrabens ist während der Murgangsaison von Mai bis Oktober jederzeit mit einem gewissen Risiko verbunden, da Murgänge auch bei schönem Wetter auftreten können. Ein Aufenthalt sollte daher möglichst vermieden werden und ein allfälliges Durchqueren des Gerinnes möglichst rasch erfolgen.

Deshalb soll das Bewusstsein für diese Zusammenhänge gefördert werden (awareness creation). Zielgruppen sind dabei sowohl die Touristen, die den Kegel des Illgrabens besuchen und sich unter Umständen keiner Gefahr bewusst sind, als auch die einheimische Wohnbevölkerung. Insbesondere die Kinder müssen dazu angehalten werden, das Gerinne nicht als Spielplatz zu benützen.

Die Touristen werden über die Tourismusbetreiber (Campingplatz, Reitställe, etc.) informiert. Die Tourismusbetreiber werden zu diesem Zweck über die Gefährdungen eines Aufenthalts im Gerinne informiert und erhalten Flyer, die sie ihren Gästen weitergeben. Diese Flyer werden von der Gemeinde gratis zur Verfügung gestellt und weisen in verschiedenen Sprachen auf die vom Illgraben ausgehende Gefährdung hin. Zusätzlich werden auf der Internetseite der Gemeinde Leuk während der Murgangsaison Informationen zum Illgraben und zu Murgängen aufgeschaltet. Die Kinder lassen sich am besten über die Schule ansprechen. Aus diesem Grunde wird jedes Jahr im Rahmen des regulären Unterrichtes eine Info-Veranstaltung mit einer Begehung des Illgrabens veranstaltet.

Ausserdem werden an häufig begangenen Übergängen Warntafeln montiert und kleinere Übergänge (Trampelpfade) regelmässig unpassierbar gemacht. An drei Standorten werden ferner Warnlampen und Sirenen installiert, die über weiter oben im Gerinne gelegene Sensoren aktiviert werden (Kap. 4.3). Zwischen der Detektion eines Murgangereignisses und der Ankunft der Murgangfront bei den akustischen und optischen Warnanlagen im unteren Kegelbereich vergehen rund 5–15 min. Dies reicht bei Weitem nicht aus, um Evakuationen durchzuführen, jedoch um den Gerinnebereich zu verlassen. (Das Detektionssystem wird in dem entsprechenden nachfolgenden Kapitel genauer beschrieben.)

4.2.4 Organisatorische Massnahmen im Ereignisfall

Wie bereits erwähnt, lässt sich mit dem Alarmsystem hauptsächlich für die Ereignistypen I, III und IV das Risiko vermindern. Während bei Ereignistyp I (kleine Murgänge ohne oder mit wenig Ereignisniederschlag) die permanenten organisatorischen Massnahmen die Hauptrolle bei der Risikoreduktion spielen, geht bei den Ereignissen III und IV (kleine bzw. grosse Murgangereignisse mit viel Ereignisniederschlag) der Hauptbeitrag von den organisatorischen Massnahmen im Ereignisfall aus. Dabei kommt der Wetterbeobachtung eine zentrale Rolle zu.

Die durch Naturgefahrenfachleute geleitete wissenschaftliche Zelle des Kantons (CERISE = CEllule scientifique de ceRISE) verfolgt und analysiert die grossräumigen Wetterlage regelmässig. Im Falle sich anbahnender kritischer Wetterlagen oder auf Grund einer Warnung der MeteoSuisse (Genf) wird die Entwicklung rund um die Uhr beobachtet. Spitzt sich die Lage zu und ist mit grossräumigen lang andauernden Niederschlagsereignissen mit hohen Intensitätsspitzen zu rechnen, so erlässt der Kanton eine Unwetterwarnung. Der Gemeinde-Krisenstab entscheidet auf Grund einer eigenen Lagebeurteilung über die notwendigen Massnahmen inklusive allfälliger Evakuierungen. Die zu evakuierenden Gebiete entsprechen den in der Gefahrenkarte definierten Gefahrenzonen. Die Gefahrenkarte Leuk ist derzeit noch in Vernehmlassung bei Gemeinde,

Kanton und Bund und wird anschliessend öffentlich aufgelegt.

Im Zuge der öffentlichen Auflage muss die betroffene Bevölkerung im Detail über den Ablauf einer allfälligen Evakuierung im Falle eines Grossereignisses informiert werden. Die Verantwortung für die Auslösung der Evakuierungen liegt beim Gemeinde-Krisenstab. Ausserhalb der offiziellen Alarmierungen hat die Warnung des Kantons lediglich den Charakter einer Information oder einer Empfehlung. Mit dem Aufbau der Erfahrung sollen mittelfristig ähnlich wie bei der Lawinenwarnung weitmöglichst kommunale Lösungen realisiert werden. Die Gemeinden sind für den Aufbau der kommunalen Notfallorganisation zuständig, wobei ihnen der Kanton beratend zur Seite steht.

4.3 Murgangdetektion

4.3.1 Grundsätzliche Betrachtung

Eine Anlage zur Erfassung von Messdaten, welche zum Schutz wichtiger Güter dient, muss sich von der Sensorik bis zur Messwertausgabe und Alarmierung selbständig überwachen und neben Alarmsituationen auch Fehler innert nützlicher Frist übermitteln können. Diese Frist ist stark von der Reaktionszeit abhängig, welche man zur Einleitung von Massnahmen zur Verfügung hat.

Zwischen der Detektion eines Murgangereignisses im Illgraben und der Ankunft der Murgangfront im unteren Kegelbereich vergehen rund 5–15 min. Dies ist auf die sehr unterschiedlichen Frontgeschwindigkeiten zurückzuführen. Ein Alarm, aber auch eine Fehlfunktion oder ein Teilausfall der Sensorik sollen also innerhalb von maximal 2 min. erkannt und weitergeleitet werden.

Während allen bis anhin von der WSL aufgezeichneten Ereignissen und dem täglichen Datenverkehr während der letzten fünf Jahre hat sich das vorhandene öffentliche GSM-Netz als genügend stabil und schnell erwiesen. Darum wurde entschieden, die Alarmierung über GSM auszuführen, was auch den Installations- und Wartungsaufwand für die Gemeinde in Grenzen hält. Ein zweiter redundanter Übertragungskanal kann zu einer zusätzlichen Erhöhung der Sicherheit später ins Auge gefasst werden. Die Stromversorgung der Station für die Murgangdetektion ist durch den Einsatz eines Solarpanels und einer Batterie sichergestellt.

4.3.2 Die Sensorik

Die automatische Murgangbeobachtungsstation Illgraben der WSL hat in den ersten sechs Jahren seit der Installation im Mai 2000 über 30 Murgänge und stark Geschiebe führende Hochwasser aufgezeichnet. Aus verschiedenen Gründen wurden auch zahlreiche Fehlalarme registriert. Die Erkenntnisse aus dem sechsjährigen Betrieb bilden eine gute Basis für die Planung und Umsetzung eines Systems zur Detektion von Murgängen. Beide Prozessformen – sowohl Murgänge als auch stark Geschiebe führende Hochwasser – neigen dazu, eine steile Front auszubilden und stellen eine grosse Gefahr für Personen dar, welche sich im Gerinnebereich aufhalten. Im vorliegenden System muss die gesamte Bandbreite von möglichen Abflussereignissen detektiert werden können.

Die WSL hat grosse Erfahrung im Umgang mit Vibrationssensoren (Geofone) und Abflusshöhenmessgeräten. Beide Methoden eignen sich gut, um Murgänge zu detektieren und werden idealerweise in Kombination eingesetzt. Damit kann das System redundant betrieben und der Ausfall eines der Sensoren überbrückt werden. Weltweit werden Geofone und Abflusshöhenmessgeräte (primär Ultraschallgeräte) in Murgangbeobachtungsstationen erfolgreich verwendet (Itakura et al., 2005). Sie sind unter anderem Bestandteil der Forschungseinrichtungen in den alpinen Untersuchungsgebieten Acquabona (Genevois et al., 2000) und Moscardo (z.B. Marchi et al., 2002).

Das gesamte Detektionssystem sollte so weit wie möglich gerinneaufwärts positioniert werden (Maximierung der Reaktionszeit). Es müssen aber eine Reihe verschiedener Faktoren berücksichtigt werden. So musste auf eine Installation beim an sich gewünschten Standort unmittelbar unterhalb der grossen Geschieberückhaltesperre aus mehreren Gründen verzichtet werden. Das häufige Auftreten von Steinschlagereignissen gefährdet den Betrieb und Unterhalt. Die Realisierung der Messung der Abflusshöhe gestaltet sich zudem an diesem Ort sehr schwierig. Schliesslich ist die Signalstärke des GSM-Netzes dort zu schwach. Aus diesen Gründen wurde entschieden, den Hauptteil der Station zur Detektion von Murgang- und murgangähnlichen Ereignissen bei Schwelle 9/10 *(Bild 2)*, welche sich ca. 500 m unterhalb der Staumauer und ca. 1,5 km oberhalb des ersten Übergangs befindet, zu erstellen. Sie besteht aus der Kombination der nachfolgend beschriebenen Messeinrichtungen. Ergänzend wird die Erschütterung des Untergrundes auf der grossen Geschieberückhaltesperre 1 gemessen.

i) Geofone

Standard-Geofone des Typs DSX20 (Geospace) wurden direkt an den jeweiligen Sperrenflügel montiert. Das analoge Signal wird gleich beim Geofon digitalisiert, was eine nachträgliche Filterung über die Frequenz und Impulsdauer erlaubt. Das oberste Messgerät liefert einen ersten Alarm und schaltet die Warnlichter und akustischen Signale im Kegelbereich ein. Wird dieser Alarm nicht durch die weitere Messsensorik bei Schwelle 9 und 10 bestätigt, schalten die Warnsignale nach kurzer Zeit wieder aus (z.B. im Falle von Fehlauslösungen durch Gewitter, Steinschlag usw.).

ii) Die Bestimmung der Abflusshöhe

Zur berührungslosen Erfassung der Abflusshöhe stehen drei Messgerättypen zur Auswahl: Laser, Radar, Ultraschall. Alle Gerätetypen wurden in der Vergangenheit an der Forschungsstation der WSL im Illgraben getestet. Probleme ergaben sich bei schnell ändernder Abflusshöhe für den Ultraschall und bei stark bewegter Oberflächenstruktur mit Ausbildung von Spritzern für den Laser. Dies führte zum Einsatz von Radarmessgeräten des Typs Vegapuls (Vega) für das Detektionssystem. Die aktuell erhältlichen Radarsensoren liefern genügend rasche Antwortzeiten, welche die Abflusshöhe über einer befestigten Sohle (z.B. Sperre) innerhalb weniger Sekunden zuverlässig ermitteln können.

Im Illgraben bleiben nach einem Murgangereignis häufig grosse Blöcke auf Schwellen liegen. Ein System mit seitwärts verschiebbaren Sensoren erlaubt es in solchen Fällen, die Geräte an einer neuen Position anzusetzen. Damit entfällt das oft kostspielige und aufwändige Wegräumen von Blöcken. Um eine optimale Sicherheit zu gewährleisten *(Bild 5)*, ist die vorliegende Installation zudem mit zwei parallel betriebenen Sensoren ausgerüstet. Die Erfahrung im Illgraben und an weiteren Murgangbeobachtungsstationen zeigt, dass ein vertikal messendes System *(Bild 5)* Vorteile gegenüber einem horizontal messenden (z.B. Sicherheitsschranke, Pendel) hat.

4.3.3 Signalübermittlung

Bei Detektion eines Murgangereignisses erfolgen sequenzielle Anrufe der beiden Messstationen über das GSM-Netz an eine Auswerteeinheit im Tal. Diese aktiviert die Alarmlampen und Sirenen und be-

Bild 5. Bestimmung der Abflusshöhe mittels Radarsensoren im oberen Einzugsgebiet des Illgrabens (C. Graf, WSL).

nachrichtigt die Entscheidungsträger der Gemeinde wahlweise mittels SMS, E-Mail oder Pager (Kap. 4.1). Der Betrieb und die Wartung der Messstation und der Zentrale erfolgen nach dem Pilotbetrieb durch die Gemeinde.

4.4 Einzugsgebietsbeobachtung

Die im Murganggemisch enthaltenen Feststoffe werden durch Erosionsprozesse in Haupt- und Nebengerinnen sowie durch gerinnenahe Rutschungen eingebracht. Seltener führen Felsstürze zur vorübergehenden Ablagerung von beträchtlichen Sedimentmengen im Gerinnebereich. In solchen Fällen kann aber eine besonders gefährliche Situation entstehen, indem sich Wasser hinter Felssturzablagerungen aufstaut. Ein Ausbruch einer Wasseransammlung kann zur Entstehung eines extremen Ereignisses führen (mehrere 100 000 m^3). Nach dem Bergsturzereignis von 1961 (Kap. 2.2) bildete sich ein solcher temporärer Aufstau.

Geschiebeablagerungen im Gerinne des Illgrabens im Kegelbereich reduzieren die Abflusskapazität und führen dazu, dass auch ein verhältnismässig kleiner Murgang aus dem Gerinne ausbrechen und Schäden verursachen kann. Aus diesen Gründen ist die regelmässige Beobachtung des murgangfähigen Gerinnes sehr wichtig. Damit lassen sich problematische Situationen früh genug erkennen, um entsprechende Massnahmen in die Wege zu leiten.

Zur optimalen Überwachung des Einzugsgebietes des Illgrabens und dessen Gerinne stehen hauptsächlich drei Möglichkeiten zur Verfügung, welche hier kombiniert werden: Feldbegehungen, Überwachung definierter Lokalitäten von bestimmten Standorten aus sowie in extremen Situationen Helikopterflüge zur gezielten Überwachung potenzieller Gefahrenbereiche.

Im Rahmen des Alarmsystemes wurde das Gesamtgebiet in drei verschiedene Bereiche unterteilt: (1) das Gerinne des Illgrabens auf dessen Kegel, (2) der untere Bereich des Einzugsgebietes unterhalb der Staumauer (Gerinne und Hänge) sowie (3) der obere Bereich des Einzugsgebietes. Eine Übersicht über diese drei Bereiche ist einerseits in *Bild 2* sowie in *Tabelle 1* gegeben. Mit Hilfe dieser Unterteilung lässt sich mit beschränktem Aufwand und ohne Gefährdung der Beteiligten eine Beurteilung des Zustands des Gesamtgebietes durchführen.

Die Entwicklung des Gerinnebettes des Illgrabens vom Kegelhals bis zur Mündung in die Rhone (Bereich 1, *Tabelle 1*) wird durch Murgangereignisse stark beeinflusst. Murgänge bewirken dabei zwischen den Schwellen lokal eine Erosion oder Auflandung der Gerinnesohle. Es wird beobachtet, dass bei einem Ereignis einer der beiden Prozesse für den gesamten Gerinnebereich auf dem Kegel dominiert. Phasen (erfahrungsgemäss Monate bis Jahre) der Eintiefung und der Auflandung wechseln sich jeweils ab. Ein erhöhtes Gefahrenpotenzial besteht vor allem während bzw. gegen das Ende von Ablagerungsphasen, weil dann der Freibord entlang der seitlichen Dämme am kleinsten ist.

Die Beobachtung dieses Bereiches erfolgt auf der gesamten Länge des Gerinnes bis zum Kegelhals. Dabei wird jede Sperre und der Gerinneabschnitt bis zur nächsten höher liegenden Sperre separat betrachtet. Beurteilt werden jeweils der Zustand der Sperren, des Gerinnes sowie der Gerinneböschungen. Die Begehungen auf dem Wildbachkegel müssen regelmässig *(Tab. 1, E)* während des Sommerhalbjahres erfolgen. Eine erste Besichtigung zu Beginn der Murgangsaison (in der Regel im April) sollte besonders ausführlich dokumentiert werden und in Begleitung von Fachleuten stattfinden.

Die grösste Gefahr oberhalb des Kegelhalses (in den Bereichen 2 und 3) besteht bei der Bildung einer Wasseraufstauung infolge Rutsch- bzw. Sturzprozesse oder auch durch Lawinenablagerungen mit viel Holz. Die Erfahrung hat gezeigt, dass solche Prozesse in der Regel oberhalb der Staumauer im Bereich 3 auftreten. Deshalb ist es notwendig, auch das Gerinne im Einzugsgebiet regelmässig zu beobachten. Da dieses jedoch nicht an allen Stellen gut überblickbar ist, müssen gleichzeitig

Bereich	Beschreibung	Typ der Beobachtung	zu beobachten	Frequenz *
1	Gerinne auf dem Kegel (Rhone-Mündung bis Kegelhals)	Begehungen auf der gesamten Gerinnelänge	Zustand der Böschungen und Dämme; Zustand der Betonschwellen und deren Freibord; Höhe des Gerinnebettes;	Monatlich oder nach einem Ereignis
2	Unteres EG (Gerinne und Hänge	Begehungen; teils entlang Gerinne, teils auf Wegen/Pfaden im EG	Evtl. Seebildung im Gerinne; Seitenhänge/ Uferböschungen; Zustand der Betonschwellen und deren Freibord;	Monatlich oder nach einem Ereignis
3	Oberes EG (Gerinne und Hänge)	Beobachtung (mit Feldstecher/Kamera)	Evtl. Seebildung im Gerinne; Seitenhänge; Schneehöhe; Evtl. Waldzustand;	Alle 14 Tage** oder nach einem Ereignis

** Beobachtungen werden während des Sommerhalbjahres von April bis Oktober durchgeführt*
*** Das Beobachtungsintervall wurde aufgrund der bereits gesammelten Erfahrungswerte der lokalen Beobachter gewählt, resp. angepasst.*

Tabelle 1. Unterteilung des Einzugsgebiets (EG) des Illgrabens und verschiedene Typen der Beobachtung.

auch die steilen Einhänge des Talkessels überwacht werden. Die Beobachtung des Gerinnes im Einzugsgebiet gestaltet sich aufwändiger und gefährlicher. Es wurde daher entschieden, die detaillierten Feldbegehungen im Bachbett nur bis zur Staumauer durchzuführen. Aufgrund der Steinschlaggefahr ist das obere Einzugsgebiet (Bereich 3) gänzlich zu meiden, und die Beobachtung erfolgt ausschliesslich aus der Distanz (definierter Standort auf der Krete des Illgrabens auf Gemeindegebiet von Chandolin). Hier kommen Feldstecher und Fotokamera zum Einsatz.

In allen drei Bereichen erfolgt die Beurteilung durch ausgebildete Beobachter und anhand eines Formulars, welches direkt im Feld ausgefüllt wird. Die Daten werden in der Folge auf dem so genannten InfoManager, der digitalen Plattform des Projektes IFKIS-Hydro (Rhyner und Hegg, 2006; Romang et al., 2007 dieses Heft), erfasst und gespeichert.

4.5 Meteorologische Prognosen

Der Einbezug der meteorologischen Prognose ermöglicht einerseits, eine bedeutende Verlängerung der Vorwarnzeit zu erlangen, stellt anderseits aber das anspruchsvollste Element im ganzen Alarmierungsprozess dar. Folgende Schwierigkeiten gilt es zu berücksichtigen:

1. Für die lokale Vorhersage eines gefährlichen Prozesses ist eine zeitlich, räumlich differenzierte Prognose erforderlich.
2. Es muss ein Zusammenhang zwischen den meteorologischen Parametern und der Auslösewahrscheinlichkeit eines Murgangs hergestellt werden.

4.5.6 Lokale Wetterprognosen:

Es wird zwischen flächigen und gewitterartigen Unwettern unterschieden. Bei ersteren sind regionale und wegen der relativen räumlichen Homogenität auch lokale Voraussagen von bis zu mehreren Tagen möglich. Bei gewitterartigen Niederschlägen ist die lokale Prognose wesentlich schwieriger. Für die Alarmierung verwendbare Vorhersagen sind höchstens für einen Zeitraum von wenigen Stunden möglich. MeteoSchweiz erstellt seit kurzem Gewitterwarnungen (www.meteoschweiz.ch, Rubrik Gefahren). Die modelltechnische Verbesserung der Gewittervorhersage ist eine langfristige Aufgabe. Mittelfristig sollten aber Verbesserungen vor allem in zwei Richtungen angestrebt werden. Erstens können durch systematischen Vergleich des prognostizierten und des lokal beobachteten Niederschlagsverlaufs Erfahrungswerte sowohl auf Seite der lokalen Verantwortlichen als auch auf Seite des Prognostikers verbessert werden. Zweitens kann durch eine verbesserte Radarabdeckung die Bildung und Bewegung von Gewitterzügen auch vor Ort verfolgt und mit den Prognosen verglichen werden. Dies erhöht die Sicherheit für die lokalen Dienste und verlängert die Vorwarnzeiten. Das Gebiet der Kantone Wallis und Graubünden ist durch die bestehenden Radaranlagen der MeteoSchweiz noch ungenügend erfasst *(Bild 6)*. Die geplante Installation eines zusätzlichen Radars auf dem Kleinen Matterhorn wird hier Verbesserungen liefern. Für die Zukunft ist die Installation von zusätzlichen Radaranlagen für spezielle regionale Bedürfnisse ins Auge zu fassen.

Zusammenhang zwischen Niederschlagsverlauf und Auslösewahrscheinlichkeit eines Murgangereignisses:

Einer der grundlegenden Faktoren für die Auslösung eines Murgangereignisses ist die Zusammensetzung des Bodens und somit das Ausmass an mobilisierbarem Material. Darüber hinaus sind aber die Bodenfeuchteverhältnisse in den Anrisszonen von Murgängen in den meisten Fällen von entscheidender Bedeutung. Dies bedeutet, dass neben dem aktuellen Ereignisniederschlag auch die Vorgeschichte, d.h., die Vorregensumme während einer gewissen Zeitspanne eine Rolle spielt.

Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, ist es allerdings schwierig, die verschiedenen Faktoren, welche die Bodenfeuchte bestimmen (Niederschläge der vergangenen Tage, Schneeschmelze, Quellenaustritte) zu quantifizieren. Dazu wären z.B. ausführliche Schneemessungen in schwierig zu erreichenden Gebieten notwendig. Generell muss gesagt werden, dass die genauen Zusammenhänge zwischen Vorregensumme, Bodenfeuchteverhältnissen und Auslösewahrscheinlichkeit eines Murganges für einen bestimmten Bodentyp noch nicht genügend bekannt sind. Aufgrund der bisher erfassten Daten (McArdell and Badoux, in Vorbereitung) kann aber gesagt werden, dass im Illgraben hohe Niederschlagsintensitätsspitzen *(Bild 4)* für die Auslösung eines Murganges wahrscheinlich eine weitaus grössere Rolle spielen als die über drei, fünf oder zehn Tage registrierte Vorregensumme. Während diese Erkenntnis in weiteren alpinen Einzugsgebieten ebenfalls zutrifft (Berti and Simoni, 2005; Deganutti et al., 2000), kommt der Niederschlagsvorgeschichte in Regionen mit anderen geologischen, geomorphologischen und hydrologischen Bedingungen grössere Bedeutung zu (z.B. Wieczorek, 1987, Zimmermann et al., 1997).

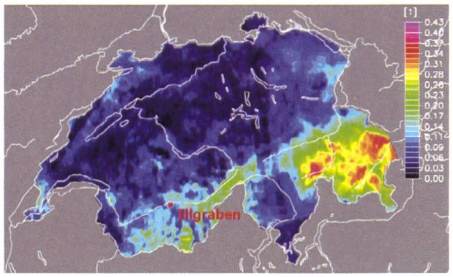

Bild 6. Abschätzung der Radarabschattung in der Schweiz (übernommen aus: Litschi, 2005, mit freundlicher Genehmigung von Prof. Chr. Schär, ETH Zürich). Dargestellt ist das Verhältnis der Regentage ohne Radarecho an der Gesamtzahl der Regentage mit vollständigen Radardaten.

Bild 7 zeigt die Charakteristiken bezüglich mittlerer Niederschlagsintensität und -dauer einer Vielzahl von Niederschlagsereignissen für das Acquabona-Einzugsgebiet in den Dolomiten (Berti and Simoni, 2005). Dabei wird zwischen drei Typen von Ereignissen unterschieden: Jenen, die keinen messbaren Abfluss generieren (Kreuze), jenen, die schnellen bodeninneren Abfluss verursachen (Dreiecke), und schliesslich jenen, die einen Murgang auslösen (rote Kreise). Jeder Ereignistyp nimmt in der Grafik einen bestimmten Bereich ein, welcher jeweils durch Grenzwertkurven definiert ist. Gemäss *Bild 7* treten Murgangereignisse im Gebiet Acquabona somit erst ab einer gewissen Kombination von Dauer und Intensität eines Regenfalles auf («debris flow triggering threshold»).

Im beschriebenen Fall in den Dolomiten *(Bild 7)* lassen sich die Niederschlagstypen gut voneinander trennen, und noch nie wurde z.B. bei starken Regenfällen (die normalerweise einen Murgang verursachen) kein Oberflächenabfluss und somit kein Murgangereignis beobachtet. Bezüglich Murgangvorhersage ist dies äusserst günstig. Denn anhand der Beobachtung des Niederschlagsverlaufes lässt sich so eine (zwar kurzfristige), aber ziemlich zuverlässige Warnung abgeben.

Leider verhalten sich die meisten anderen Wildbäche, wie auch der Illgraben, nicht gleich. Häufig werden bei intensiven Niederschlagsverhältnissen (oberhalb der Grenzwertkurve für Murgangereignisse) keine Murgänge verzeichnet. Je öfter dies der Fall ist, desto mehr Fehlalarme würden in diesen Bächen ausgelöst werden. Aktuelle Untersuchungen für den

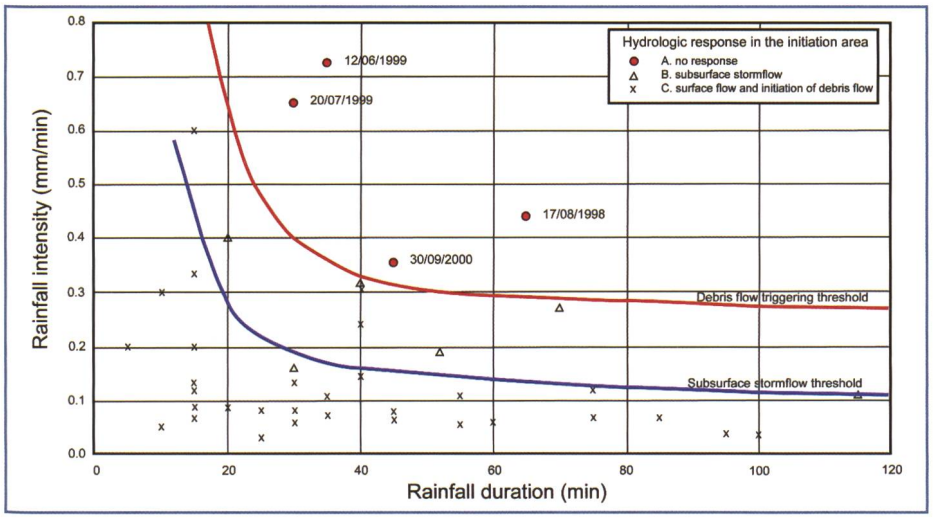

Bild 7. Niederschlags-Intensitäts-Diagramm für Regenereignisse im Gebiet Acquabona von 1996 bis 2000 (aus: Berti and Simoni, 2005).

Illgraben (McArdell and Badoux, in Vorbereitung) weisen darauf hin, dass sich Murgang auslösende und nicht Murgang auslösende Niederschlagsereignisse viel weniger stark unterscheiden als im Gebiet Acquabona. Dies erschwert die Möglichkeiten der Vorhersage von Murgängen erheblich.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass trotz vielen Ungewissheiten in der Nutzung der Wetterprognose verschiedene Ansätze für Verbesserungen bestehen, die in den nächsten Jahren von der Forschung mit grosser Priorität verfolgt werden müssen.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Das beschriebene Alarmsystem soll einen optimalen Umgang mit dem aktuellen Risiko und dem nach den baulichen Massnahmen verbleibenden Restrisiko von Murgängen aus dem Illgraben ermöglichen. Aufgrund der kurzen Vorwarnzeiten sind neben den aktuellen landesweiten bzw. regionalen Wetterprognosen einerseits eine gute Vorbereitung der Behörden und der Bevölkerung sowie Messungen und Beobachtungen vor Ort nötig. Der mehrstufige Aufbau des Systems trägt diesen Aspekten Rechnung.

Die verschiedenen Stufen sind zurzeit im Aufbau begriffen und sollen bis zur Murgangsaison 2007 voll einsatzfähig sein. Zum jetzigen Zeitpunkt sind die Einzugsgebietsbeobachtung und das Murgangdetektionssystem bereits operationell. Das Sommerhalbjahr 2007 wird eine Pilotbetriebsphase darstellen, in der erste Erfahrungen mit dem System gesammelt werden können. Diese werden es gegen Ende 2007 erlauben, das System allenfalls anzupassen und zu optimieren.

Eine regelmässige Evaluation des Alarmsystems in der Betriebsphase ab 2008 wird wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse zur Verbesserung und Optimierung solcher Alarmsysteme liefern. Daneben ergibt die Auswertung der Ereignisse (Kap. 4.3) mittels der IFKIS-Hydro Datenbank weitere Erkenntnisse über die Entstehung von Murgängen und den Zusammenhang zwischen Murgangcharakteristika einerseits und den Einzugsgebiets- und Klima-Parametern anderseits.

Obwohl für die Ausgestaltung eines Alarmsystems sehr stark auf die örtlichen Rahmenbedingungen Rücksicht genommen werden muss, ist der vierstufige Gesamtaufbau auf andere Einzugsgebiete und andere Gefahrenprozesse übertragbar. Beim Aufbau des Alarmsystems Illgraben wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass gegenwärtig auf kantonaler und nationaler Ebene Anstrengungen unternommen werden, Warn- und Alarmsysteme für Hochwasser und Murgangereignisse zu verbessern. Das Alarmsystem Illgraben soll mit diesen übergeordneten Systemen kompatibel sein und sowohl organisatorisch als auch technisch klar definierte Schnittstellen aufweisen.

Auf kantonaler Ebene ist das oben genannte Gemeinde-Notfallkonzept (Kap. 4.1) zu erwähnen. Dieses hat zum Ziel, Notfallplanungen für alle Gemeinden des Kantons schrittweise zu realisieren. Das Alarmsystem Illgraben soll in die Notfallplanung der Gemeinde Leuk eingebunden werden.

Im Rahmen des Projektes IFKIS-Hydro wird in verschiedenen Regionen der Kantone Wallis und Glarus ein Informations- und Warnsystem für hydrologische Gefahren entwickelt (Romang et al., 2007, dieses Heft). Grundlage ist unter anderem das für die Lawinenwarnung entwickelte Interkantonale Frühwarn- und Kriseninformationssystem IFKIS. Wichtige Elemente von IFKIS-Hydro sind Beobachtungs- und Messsysteme, eine zentrale Datenbank mit einer Internet-basierten Informationsplattform für die verantwortlichen Sicherheitsdienste sowie z.T. Prognosemodelle. IFKIS-Hydro soll schrittweise ausgebaut werden. Es ist geplant, das Alarmsystem Illgraben an die IFKIS-Hydro-Datenbank und Informationsplattform zu koppeln.

Auf nationaler Ebene ist zwischen den für die Naturgefahrenwarnung zuständigen Fachstellen MeteoSuisse (Wetter), BAFU (Hochwasser) und SLF (Lawinen) die so genannte Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN) in Entwicklung, deren Realisierung auf 2007/08 geplant ist. Die GIN soll für alle Unwetterwarnungen und notwendigen Daten einen einheitlichen Rahmen definieren und garantieren, dass die Verantwortlichen vor Ort auf direktem Weg mit kompakten, einheitlichen Informationen versorgt werden. Es ist vorgesehen, Einrichtungen wie das Alarmsystem Illgraben längerfristig als Module in GIN zu integrieren.

Die vorangehende Liste der gegenwärtig laufenden Projekte zeigt, dass der Einsatz von Warnung und Alarmierung im Risikomanagement von kleinräumigen hydrologischen Naturgefahren vermehrt Beachtung finden wird. Es ist zu erwarten, dass das Alarmsystem Illgraben von diesen Projekten einerseits profitieren, anderseits aber auch wertvollen Input für ihre Realisierung liefern wird.

Danksagung

Dominique Bérod, Dienststelle für Strassen und Flussbau des Kantons Wallis (DSFB/SRCE), *Charly Wuilloud,* Dienststelle für Wald und Landschaft des Kantons Wallis (DWL/SFP), sowie der Gemeinde Leuk sei für die Unterstützung des Projekts sehr gedankt. Ein grosser Dank geht zudem an *Christian Rickli,* Eidg. Forschungsanstalt WSL, für die aufmerksame Lektüre des Manuskriptes und die konstruktive Kritik. Ferner bedanken wir uns bei *Patrick Hächler,* MeteoSchweiz für die wertvollen Kommentare zum Kapitel Meteorologische Prognosen.

Referenzen

Aleotti, P., 2004. A warning system for rainfall-induced shallow failures, Engineering Geology, 73, 247–265.

Bacchini, M., Zannoni, A., 2003. Relations between rainfall and triggering of debris-flow: case study of Cancia (Dolomites, Northeastern Italy), Natural Hazards and Earth System Sciences, 3, 71–79.

Berti, M. and *Simoni, A.*, 2005. Experimental evidences and numerical modelling of debris flow initiated by channel runoff, Landslides, 2, no.3, 171–182.

Bründl, M., Etter, H.-J., Steiniger, M., Klingler, Ch., Rhyner, J., Ammann, W.J., 2004. IFKIS – a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland, Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, 309–313.

BUWAL, 1998. Begriffsdefinitionen zu den Themen: Geomorphologie, Naturgefahren, Forstwesen, Sicherheit, Risiko, Bern.

BWG, 2001. Hochwasserschutz an Fliessgewässern, Wegleitungen des BWG, Bern

Chen, C.-Y., Chen, T.-C., Yu, F.-C., Yu, W.-H.,Tseng, C.-C., 2005. Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring, Environmental geology, 47, 715–724.

Deganutti, A.M., Marchi, L., Arattano, M., 2000. Rainfall and debris-flow occurrence in the Moscardo basin (Italian Alps), in: Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Wiezcorek & Naeser (eds.) Balkema, Rotterdam, 67–72.

Genevois, R., Tecca, P.R., Berti, M., Simoni, A., 2000. Debris-flow in the Dolomites: Experimental data from a monitoring system, in: Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment, Wiezcorek & Naeser (eds.) Balkema, Rotterdam. 283–291.

Geo7, 2000. Geomorphologie und Geschiebelieferung (unveröffentlichter Bericht), Bern.

Geoplan, 2006. Notfall- und Interventionsplanung Hochwasser, Steg.

Gubler, H. 2000: Five years experience with avalanche-, mudflow-, and rockfallalarm systems in Switzerland. Proc. If ISSW Big Sky, Montana, 424–432.
(http://www.alpug.ch/pdf/pdf_26_en.htm)

Hirano, M., 1997. Prediction of debris flow for warning and evacuation, in: Recent developments on debris flows, Armanini, A. & Michiue, M. (eds.), Springer, Berlin, 7–26.

Hürlimann, M., Graf, C., Rickenmann, D., Näf, D., Weber, D., 2003. Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz: Erste Messdaten aus dem Illgraben, Phys. Geogr., 41, 105–116.

Hürlimann, M., Rickenmann, D., Graf, C., 2003. Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps, Can. Geotech. J. 40, 161–175.

Itakura, Y., Inaba, H., Sawada, T., 2005. A debris-flow monitoring devices and methods bibliography, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 971–977.

Jakob, M., Holm, K., Lange, O., Schwab, J.W., 2006. Hydrometeorological thresholds for landslide initiation and forest operation shutdowns on the north coast of British Columbia, Landslides, 3, 228–238.

Keefer, D.K., Wilson, R.C., Mark, R.K., Brabb, E.E., Brown, W.M., Ellen, S.D., Harp, E.L., Wieczorek, G.F., Alger, C.S., Zatkin, R.S., 1987. Real-Time Landslide Warning During Heavy Rainfall, Science, 238, 921–925.

Lichtenhahn, C., 1971. Zwei Betonmauern: die Geschieberückhaltsperre am Illgraben (Wallis). in: F.f.v. Hochwasserbekämpfung (ed.), International Symposium Interpraevent, 451–456.

Litschi, M., 2005. Kombination von Radar- und Pluviometerdaten zu stündlichen Niederschlagsfeldern für die Schweiz Validierung und klimatologische Auswertung. Diplomarbeit am IACETH, ETH Zürich. (http://www.iac.ethz.ch/doc/publications/litschi_diplomathesis_2005.pdf)

Marchi, L., Arattano, M., Deganutti, A.M., 2002. Ten years of debrisflow monitoring in the Moscardo Torrent (Italian Alps), Geomorphology, 46, 1–17.

McArdell, B.W., Badoux, A., Analysis of debrisflows triggering rainfall events in the Illgraben (in Vorbereitung).

PLANAT, 2004. Strategie Naturgefahren Schweiz – Synthesebericht, Bern

Romang, H., Hegg, C., Gerber, M., Hilker, N., Dufour, F., Rhyner, J., 2007. IFKIS-Hydro: Informations- und Warnsystem für hydrologische Naturgefahren. Wasser Energie Luft, Jg. 99, Nr. 1/2. Heft 2, diese Ausgabe

Rhyner, J., Hegg, C., 2006. Warning Systems for Hydrological Hazards in Small Catchments, in: Proceedings of the International Disaster Reduction Conference, Davos, Switzerland, 27 August – 1 September 2006, 909–912.

Rickenmann, D., 1995. Beurteilung von Murgängen, Schweiz. Ingenieur und Architekt 113(48), 1104–1108.

Rickenmann, D., Zimmermann, M., 1992. The 1987 debris flows in Switzerland: documentation and analysis, Geomorphology, 8, 175–189.

Rickenmann, D., Hürlimann, M., Graf, C., Näf, D., Weber, D., 2001. Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz, Wasser Energie Luft 93, 1/2, 1–8.

Springman, S.M., Jommi, C., Teysseire, P., 2003. Instabilities on moraine slopes induced by loss of suction: a case history, Géotechnique, 53, 1, 3–10

Teysseire, P., Cortona, L., Springman, S.M., 2000. Water retention in a steep moraine slope during periods of heavy rain, in: Proceedings of Unsaturated Soils for Asia, Rahardjo, H., Toll, D., Leong, C. (eds.), 831–836

Teysseire & Candolfi, 2003. Schutzkonzept Illgraben (unveröffentlichter Bericht), Visp.

Werner, P., 1985. La végétation de Finges et de son Rhône sauvage, in: Bull. de la Murithienne, 103, 39–84.

Wieczorek, G. F., 1987. Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz Mountains, California. in: Debris Flows/Avalanches: Process, recognition, and mitigation, Costa, J. E., Wieczorek, G. F. (eds.), Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, 7: 93–104.

WSL, 2001. Simulation des Fliessverhaltens (unveröffentlichter Bericht), Birmensdorf.

Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., 1997. Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Schlussbericht NFP 31.

Anschrift der Verfasser

Christoph Graf[1], Alexandre, Badoux[1], François Dufour[1], Bruno Fritschi[1], Brian McArdell[1], Jakob Rhyner[1], Richard Kuntner[2], Philipp Teysseire[2], Urs Nigg[3]

1: WSL Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL/FNP)
Zürcherstr. 111, CH-8903 Birmensdorf

2: Teysseire & Candolfi AG
Terbinerstrasse 18, CH-3930 Visp

3: Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern

Glossar

Alarmsystem: Unter einem Alarmsystem verstehen wir technische Einrichtungen und organisatorische Vorkehrungen, welche die Alarmierung der Bevölkerung sicherstellen. Alarmsysteme sollten Teil einer umfassenden Notfallplanung sein.

Gefahr (hazard, danger): bezeichnet Eintretenswahrscheinlichkeit und Grösse eines möglichen Ereignisses (Murgang, Rutschung, etc.).

Risiko (risk): bezeichnet die Wahrscheinlichkeit des möglichen Schadens. Risiko setzt also sowohl eine Gefahr als auch gefährdete Personen oder Objekte voraus (Schadenpotenzial).

Notfallplan/Notfallkonzept: Beschreibung der temporären organisatorischen Massnahmen, die im Ereignisfall ergriffen werden, um Menschen und Tiere zu retten und Sachwerte zu schützen sowie weitere Schäden zu verhindern.

Quellen: Wörterbuch Hochwasserschutz, PLANAT, Interpretationshilfe Lawinenbulletin (PLANAT-konform aufgebaut), Geoplan, 2006: Notfallplanung Hochwasser, Pflichtenheft für die kommunale Notfallplanung.