Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 101 (2009)
Heft: 2

Artikel: Alarmsystem Illgraben : Erfahrungen während der Pilotbetriebsphase
Autor: Graf, Christoph / Badoux, Alexandre / McArdell, Brian W.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941922

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 21.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Alarmsystem Illgraben – Erfahrungen während der Pilotbetriebsphase

■ *Christoph Graf, Alexandre Badoux, Brian W. McArdell*

Zusammenfassung

Im Frühjahr 2007 wurde im Einzugsgebiet und auf dem Schuttkegel des Wildbaches Illgraben in der Gemeinde Leuk VS ein mehrstufiges Alarmsystem in Betrieb genommen. Wir diskutieren in diesem Beitrag erste Erfahrungen zu dem im Rahmen des Alarmsystems installierten Detektionssystem für Murgang- und Hochwasserereignisse. Dieses löst seit der Inbetriebnahme selbständig Alarme entlang des Gerinnes aus. Je nach Ereignistyp (Murgang, Hochwasser) kann für den oberen Kegelbereich mit einer theoretischen Vorwarnzeit von einigen bis maximal 15 Minuten gerechnet werden. Zudem verschickt das Detektionssystem Informationen an die zuständigen Personen der neu gegründeten lokalen Sicherheitskommission. Ein Vergleich der Aufzeichnungen des Detektionssystems mit den Daten der unabhängigen Murgangbeobachtungsstation der WSL während der Pilotbetriebsphase (Sommerhalbjahre 2007 und 2008) fällt weitgehend positiv aus. In den zwei Jahren wurden 28 Alarme generiert, welche die an drei häufig frequentierten Gerinneüberquerungen (Fusswege) installierten akustischen und optischen Alarmanlagen in Betrieb setzten. Sechs Alarme wurden dabei durch Murgänge und 21 durch Hochwasser ausgelöst. In einem Fall war ein Fehlalarm zu verzeichnen. Die Erfahrungen aus den bisher erfassten Alarmereignissen werden helfen, das Alarmsystem Illgraben weiter zu optimieren. Die Hauptschwierigkeit bei der Detektion von gefährlichen Ereignissen liegt in der grossen Komplexität und Variabilität der Feststoff transportierenden Abflussprozesse. So kann z.B. ein Ereignis aus zwei aufeinander folgenden Schüben mit unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten bestehen, was die Alarmierung erschwert. In den meisten Fällen lassen sich diese Probleme durch eine vorsichtige Verlängerung der Alarmdauer beheben. Eine zusätzliche Verbesserung kann durch die Optimierung der Detektionsschwellenwerte erreicht werden.

1. Einleitung

Der Illgraben bei Leuk VS ist ein sehr aktiver und gefährlicher Wildbach (Rickenmann et al., 2001; Graf et al., 2007). Das Lockermaterial aus dem oberen Einzugsgebiet wird mehrmals jährlich bei intensiven Niederschlägen oder bei einer Kombination von Schneeschmelzwasser und Regenfällen mobilisiert und in Form von Murgängen oder stark Geschiebe führenden Hochwassern bis in die Rhone transportiert.

Für die Ortschaft Susten auf dem Kegel *(Bild 1)* besteht ein erhöhtes Gefahrenpotenzial, wenn zwei Bedingungen erfüllt sind: erstens das Auftreten eines Murgangereignisses mit einer grossen Magnitude; zweitens ein reduzierter Fliessquerschnitt nach einer Auflandungsperiode des Gerinnes (Ablagerungs- und Erosionsphasen treten im Illgraben abwechselnd und teils rasch ändernd auf). Eine derartige Situation führte zuletzt im Jahr 1995 während eines Murgangereignisses zu einem Gerinneausbruch und zur Verschüttung gerinnenaher Bereiche.

Aufgrund der hohen Ereignisfrequenz und der Gefahr eines Ausbruchs aus dem Gerinne 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. Die wichtigsten baulichen Massnahmen im Rahmen dieses Konzeptes befinden sich derzeit noch in Ausarbeitung. Die in einer ersten Phase des Schutzkonzeptes in Angriff genommene Notfallplanung trägt dazu bei, Personen- und Sachschäden bis zur Realisierung der baulichen Massnahmen zu vermeiden und soll auch nach deren Realisierung das verbleibende Restrisiko minimieren. Eine Projektgemeinschaft, bestehend aus der Teysseire & Candolfi AG und der Eidg. Forschungsanstalt WSL, begann 2005 mit der Erarbeitung eines Notfallkonzeptes (Graf et al., 2007), das 2006 aufgebaut und 2007 in Betrieb genommen wurde. Eine Analyse über das erste Betriebsjahr ist in Badoux et al. (2009) beschrieben. Nun stehen Daten der Murgangdetektionsanlage für die zweijährige Pilotphase (2007 und 2008) zur Verfügung und werden im vorliegenden Beitrag präsentiert.

Die Auswertungen sollen aufzeigen, ob mit den gewählten Schwellenwerten sämtliche relevanten Ereignisse korrekt erfasst werden konnten und ob den lokalen Schutzbedürfnissen genügend Rechnung getragen wird. Eine analoge Analyse zu einem späteren Zeitpunkt wird zeigen, ob geomorphologische Veränderungen im Einzugsgebiet und Kegelbereich Anpassungen nötig machen. Das gesamte System muss daher ständig kritisch überwacht und mit den aktuellen Bedürfnissen abgeglichen werden.

2. Der Illgraben

Das Einzugsgebiet des Illgraben *(Bild 1)* erstreckt sich von der Mündung in die Rhone westlich der Ortschaft Susten auf 610 m ü.M. über den Kegelhals (850 m ü.M.) bis zu seinem höchsten Punkt auf dem Illhorn (2716 m ü.M.). Es weist eine Fläche von 9.5 km^2 auf und liegt in der politischen Gemeinde Leuk im Kanton Wallis. Der Illgraben wird durch eine ausserordentlich hohe Hochwasser- und Murgangaktivität charakterisiert. Die dabei transportierten Feststoffe stammen aus Schutthalden (44% des Gebietes) im oberen Einzugsgebietsbereich sowie aus Rinnen, welche sich vom Hauptgerinne bis in Bereiche unterhalb des Illhorns erstrecken. Das mittlere Gefälle des Gerinnes beträgt oberhalb des Kegelhalses 16% und sinkt entlang

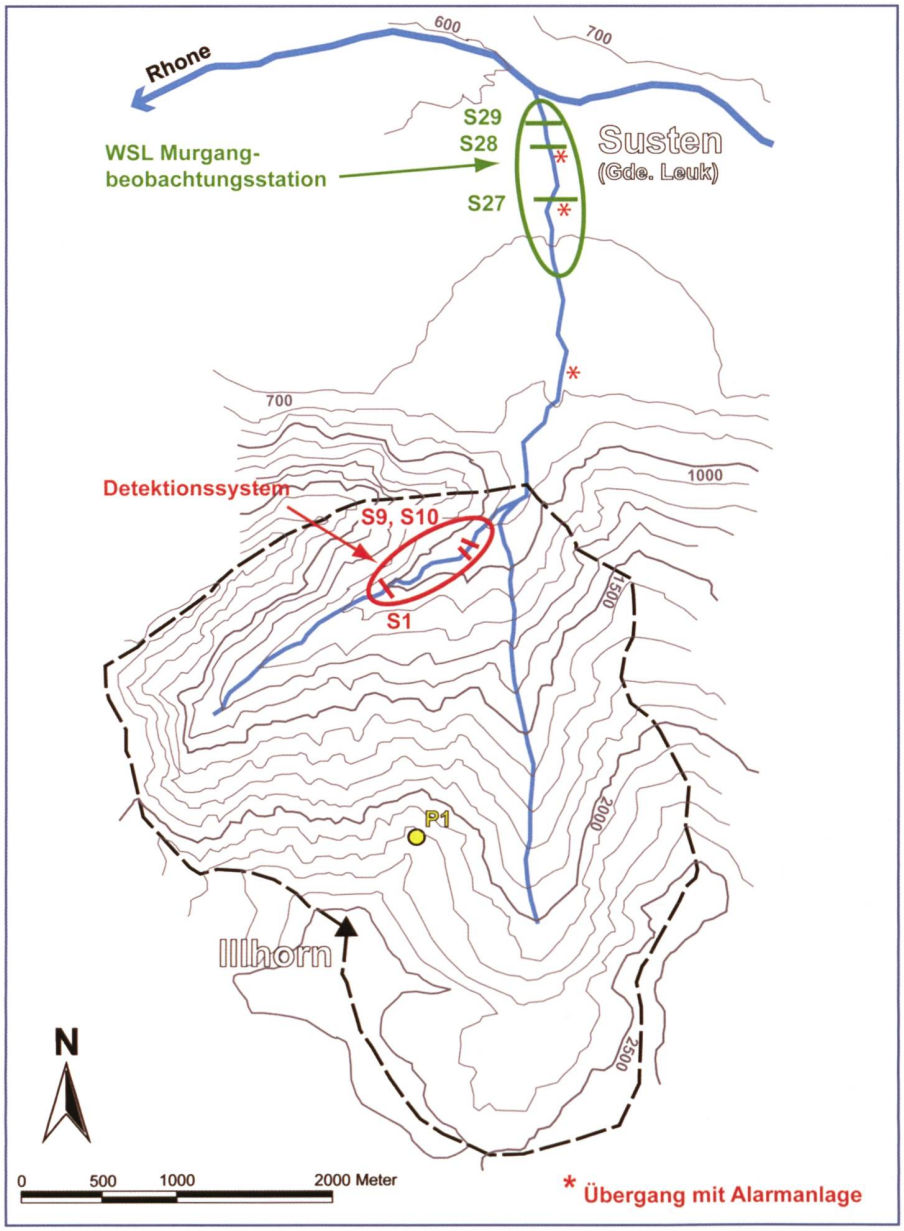

Bild 1: Überblick über das Einzugsgebiet des Illgraben mit Angabe der Standorte der Sperren (S), Pluviometer (P) und Alarmanlagen (*).

des Kegels auf einen Wert von rund 10%. Weitere Angaben zur Geomorphologie und Geologie des Einzugsgebietes sind in Schlunegger et al. (2009) und Hürlimann et al. (2003) dargestellt. Der östliche Teil des Murgangkegels wird im mittleren und oberen Bereich vor allem saisonal genutzt (Tourismusanlagen, Ferienwohnungen, Sportplatz). Im unteren Bereich liegt die ganzjährig bewohnte Ortschaft Susten. Die westliche Kegeloberfläche ist gänzlich vom Pfynwald bedeckt. Der Gerinnebereich wird vor allem im Sommerhalbjahr rege von Wanderern, Spaziergängern und Reitern besucht.

Seit dem Jahr 2000 betreibt die WSL am Illgraben eine Murgangbeobachtungsstation (Rickenmann et al., 2001). Im untersten Fliessabschnitt kurz vor der Mündung in die Rhone (Sperren 27 und 29, vgl. *Bild 1*) werden unter anderem die Abflusshöhe (Radar-, Laser- und Ultraschallsensoren), die Untergrunderschütterungen (Geophonsensoren) sowie die lateral und vertikal wirkenden Kräfte des Murganggemisches auf einer so genannten Murgangwaage gemessen (McArdell et al., 2007).

3. Das Detektionssystem als Teil des Alarmsystems

3.1 Das Alarmsystem

Das Alarmsystem Illgraben besteht aus den folgenden vier Modulen:

1) Organisatorische Massnahmen in der Gemeinde: Aufklärung über Gefährdung (Artikel in lokaler Zeitschrift, Flyer, Warntafeln etc.), Installation von Alarmeinrichtungen entlang des Gerinnes, Erstellung von Alarmierungsabläufen sowie Massnahmenplanung im Ereignisfall;
2) System für die Detektion von gefährlichen Abflussprozessen und für die automatische Alarmauslösung;
3) Systematische und standardisierte Beobachtung des Einzugsgebietes und Erstellung einer Datenbank;
4) Verbesserung der lokalen Wetterprognose und ihre Umsetzung für die Ermittlung der Ereigniswahrscheinlichkeit im Illgraben.

Das Alarmsystem wurde in erster Linie zum Schutz von Menschen vor Murgang- und Hochwasserereignissen im unmittelbaren Gerinnebereich eingerichtet. Bauliche Massnahmen sollen eine möglichst wirksame Reduktion der Gefährung auf dem Kegel bewirken. Später wird das Alarmsystem Illgraben dazu beitragen, das verbleibende Restrisiko zu verringern.

3.2 Detektionssystem

Die vier Module des Alarmsystems sind in Graf et al. (2007) detailliert beschrieben. Nachfolgend wird speziell auf das Detektionssystem eingegangen. Es hat zum Ziel, Murgang- und Hochwasserereignisse rasch und zuverlässig zu erkennen und zu melden. Das redundant aufgebaute System besteht aus verschiedenen Sensoren und kommuniziert täglich als Funktionskontrolle seinen Status. Die Maximierung der Vorwarnzeit wurde über die Wahl der Sensorstandorte erreicht. Die Sensoren sind unter Gewährleistung von dauerndem GSM-Empfang so weit gerinneaufwärts wie möglich platziert.

Der Übergang zwischen den Prozessen Murgang und hyperkonzentrierter Abfluss ist fliessend. Beide Fliesstypen können an ihrer Ereignisfront eine hohe Sedimentkonzentration aufweisen und führen Blöcke mit, welche in der Grössenordnung der Abflusshöhe liegen. Generell zeichnen sich Murgänge aber durch ein höheres Raumgewicht aus und weisen weniger oder teilweise überhaupt kein Wasser an ihrer Front auf. Sowohl Hochwasser- wie auch Murgangereignisse erreichen Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Sekunde. Daher sind beide Prozessformen als gefährlich einzustufen und müssen vom Detektionssystem erfasst werden *(Bild 2)*.

Für die Detektion von Hochwasser- und Murgangereignissen in Wildbachgerinnen eignen sich Erschütterungssensoren und Abflusshöhenmessgeräte. Diese Geräte werden an verschiedenen automatischen Murgangbeobachtungs-

Bild 2. Das Murgangereignis vom 01. Juli 2008 mit einer maximalen Abflusshöhe von 2 m und einer Frontgeschwindigkeit von rund 5 m s^{-1} (Typ D, vgl. Tabelle 1). Die Aufnahmen b–d zeigen die Ankunft des Murganges in Abständen von 10 Sekunden bei Sperre 28 im Illgraben (vgl. Bild 1). In Bild b ist der Standort der dritten Alarmeinrichtung mit optischer und akustischer Signalausgabe markiert (vgl. Bild 3). Die Aufnahme a stellt den Gerinneabschnitt wenige Tage vor dem Ereignis dar (alle Bilder: C. Berger, WSL).

stationen bereits seit mehreren Jahren erfolgreich eingesetzt, und entsprechend haben wir diesbezüglich eine grosse Erfahrung. Aufgrund unterschiedlicher Eigentümerschaft und abweichender Zielsetzungen wird das Detektionssystem mit seiner Alarmeinrichtung gänzlich unabhängig von der (wissenschaftlichen) Murgangbeobachtungsstation der WSL betrieben. An den drei Betonsperren 1, 9 und 10 oberhalb des Kegelhalses *(Bild 1)* sind Erschütterungssensoren befestigt. An Sperre 10 werden zwei Radare im Parallelbetrieb eingesetzt (Graf et al., 2007). Die Alarmdauer wurde entsprechend der erwarteten Fliesszeit eines typischen Murganges zwischen Detektionsstandort und Mündung in die Rhone definiert. Nach einer Alarmausgabe wird das Detektionskriterium alle fünf Minuten überprüft. Die Alarmeinrichtungen schalten zehn Minuten nach unterschreiten beider Sensorschwellenwerte des Detektionssystems aus.

Auf dem Kegel sind drei Alarmeinrichtungen an den am häufigsten benutzten Übergängen (Fusswege) nahe am Gerinne installiert *(Bild 1, Bild 3)*. Sie bestehen jeweils aus einer optischen und einer akustischen Alarmeinheit, welche über ein Solarpanel gespiesen werden. Ihre Aufgabe besteht darin, Personen vor einem unmittelbar bevorstehenden gefährlichen Abfluss zu warnen und zum sofortigen Verlassen des gefährdeten Bereichs (Bachbett oder nahe Umgebung des Gerinnes) aufzufordern. Die akustischen Signale weisen eine geringe Reichweite auf. Weiter weisen Warntafeln in fünf Sprachen beidseits des Gerinnes auf die Gefährdungssituation hin.

3.3 Datengrundlage

Im Gegensatz zur automatischen Murgangbeobachtungsstation der WSL werden für die Detektionsanlage der Gemeinde Leuk nur die beiden Parameter Bodenerschütterung und Abflusshöhe erfasst. Diese genügen, um das Auftreten von Murgängen und stark Geschiebe führenden Hochwassern zuverlässig zu erfassen. Für die wissenschaftliche Auswertung und Beurteilung der detektierten Ereignisse sowie für deren Charakterisierung (Hochwasser, stark Geschiebe führende Hochwasser, Murgang, Beispiel in *Bild 2*) stehen zusätzlich die Messdaten der Murgangbeobachtungsstation zur Verfügung.

4. Resultate und Diskussion

4.1 Pilotbetriebsphase 2007 und 2008

Das Detektionssystem und die drei damit verbundenen akustischen und optischen Alarmanlagen wurden im Frühjahr 2007 in Betrieb genommen. Sie gaben während zwei Murgangsaisons insgesamt 28 Alarme aus (2007: 20 Alarme; 2008: 8 Alarme). Es wurde zwischen Alarmereignissen unterschieden, welche eine Gefahr für Personen im Gerinnebereich darstellen, und Ereignissen, die zwar einen Alarm auslösten, aber weitgehend als ungefährlich taxiert werden können (d.h. unnötige Alarme). Die Grenze zwischen gefährlichen und ungefährlichen Hochwasserereignissen wurde anhand der Abflusshöhe definiert (Badoux et al., 2009) und sie quantifiziert die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person das Gerinne bei erhöhtem Abfluss unbeschadet queren kann (Abt et al., 1990). Das Hauptziel der vorliegenden Untersuchung liegt darin, Grundlagen für die Optimierung des Detektionssystems zu liefern. Idealerweise erfasst das System nämlich jedes gefährliche Ereignis und löst andererseits bei ungefährlichen Ereignissen keinen Alarm aus.

Über die gesamte Pilotbetriebsphase gesehen, lieferte das Detektionssystem zufriedenstellende Resultate. Erfreulich ist vor allem die Tatsache, dass in den zwei Sommerhalbjahren alle gefährlichen Murgang- und Hochwasserereignisse, die den Kegel des Illgraben erreichten, von den Sensoren erfasst wurden. Nur in einem einzigen Fall im Juli 2007 hatte das System einen möglicherweise durch Steinschlag oder Wildwechsel verursachten Fehlalarm zu verzeichnen.

Dreizehn der 28 Alarme betrafen allerdings eher kleine Hochwasserereignisse, welche an sich keine direkte Gefahr für Menschen darstellen (Typ A, Hochwasser mit einer Abflusshöhe unter 0.25–0.3 m). Um die Anzahl unnötiger Alarme in Zukunft zu reduzieren, werden die Grenzwerte der Detektionsinstrumente justiert. Die Detektion und Alarmierung bei diesen kleinen Hochwassern stellt jedoch kein schwerwiegendes Problem dar, das zu einer raschen Desensibilisierung der Bevölkerung gegenüber den Alarmen führen könnte, wie dies bei vermehrten Fehlalarmen sehr wahrscheinlich der Fall wäre. Die übrigen 14 Alarme wurden durch Ereignisse verursacht, welche für eine sich im Gerinne befindliche Person lebensgefährlich sind *(Tabelle 1)*. In zwei Jahren wurden sechs Murgänge (Typ D), drei grosse Hochwasser (Typ C, Abflusshöhe über

Datum / Alarmzeit	Alarmdauer	Ereignistyp (1)	Max. Abflusshöhe Sperre 29	Frontgeschwindigkeit auf Kegel (2)	Zeitdifferenz Δt Sperren 27 / 29 (3)	Ereignisniederschlag (4)	Max. 10-min Intensität	Einfluss Schneeschmelze
	[min]	[-]	[m]	[m s^{-1}]	[min]	[mm]	[mm 10min^{-1}]	Ja / Nein
28.05.2007 / 01:49	109	D	1.32	6.5	0 / 10 (★)	20.4	1.4	Ja
10.06.2007 / 20:30	88	C	1.30	2.5	22 / 26	13.0	2.0	Ja
15.06.2007 / 12:21	159	D	1.71	3.0	39 / 43	9.0	0.8	Ja
25.06.2007 / 00:33	36	B	0.33	n. bestimmbar	n. bestimmbar / 8	14.2	1.2	Nein
01.07.2007 / 20:17	94	C	0.70	5.5	17 / 18	18.6	2.6	Nein
21.07.2007 / 18:07	42	D	0.72	0.8	41 / 69 (♱)	6.2	4.8	Nein
21.07.2007 / 20:39	77	C	1.41	7.0	7 / 8	16.4	4.8	Nein
08.08.2007 / 14:31	275	B	0.49	2.0	-13 / -3 (★)	10.2	2.0	Nein
29.08.2007 / 08:02	76	B	0.25	n. bestimmbar	n. bestimmbar / 37	13.0	1.8	Nein
16.06.2008 / 20:02	58	D	0.80	2.5	30 / 33	10.2	1.0	Ja
01.07.2008 / 19:14	33	D	2.05	5.1	9 / 10	22.8	11.4	Nein
07.08.2008 / 20:22	21	B	0.30	2.2	29 / 31	7.6	4.6	Nein
19.08.2008 / 19:31	42	B	0.25	n. bestimmbar	n. bestimmbar / 39	12.2	2.6	Nein
31.08.2008 / 20:00	36	D	1.25	2.6	16 / 21	12.8	6.6	Nein

(1) B = mittleres Hochwasser (Abflusshöhe zw. 0.25 und 0.5 m); C = grosses Hochwasser (Abflusshöhe über 0.5 m); D = Murgang

(2) Abgeschätzt über die Ankunftszeit der Fronten an Sperre 10 (Detektionssystem des Alarmsystems, vgl. *Bild 1*) und Sperre 29 (automatische Beobachtungsstation). An der automatischen Beobachtungsstation wurden nicht alle Ereignisse des Typs B erfasst.

(3) Zeitdifferenz zwischen Alarmierung und Ankunft der Front bei den Sperren 27 und 29 (vgl. *Bild 1*).

(4) Ereignisniederschlag (Graf et al., 2007) vor dem Start des Alarms, gemessen im Einzugsgebiet.

(★) Mangelhafter Alarm (erster Alarm fällt zu kurz aus und nachfolgender zweiter Alarm wird nicht zeitgerecht gestartet).

(♱) Mangelhafter Alarm (zu kurze Alarmdauer).

Tabelle 1. Durch das Detektionssystem ausgelöste Alarme während der Pilotbetriebsphase 2007 und 2008 (für gefährliche Ereignistypen B, C und D).

0.5 m) sowie fünf mittlere Hochwasser (Typ B) verzeichnet.

Für 11 der gesamthaft 14 als gefährlich taxierten Ereignisse war die Alarmierungszeit ausreichend lang. D.h., alle drei Alarmeinrichtungen entlang des Gerinnes wurden jeweils mindestens einige Minuten vor Ankunft des Prozesses bei Sperre 27 *(Bild 1)* eingeschaltet. Für drei Alarme war das Timing allerdings unbefriedigend, da die vom Detektionssystem gesteuerte Alarmdauer zu kurz ausfiel und die Einrichtungen daher zu früh ausschalteten (teilweise bevor der Murgang oder das Hochwasser den untersten Bereich des Kegels erreicht hatte). Diese Fälle unzureichender Alarmierungsdauer zeigen auf, dass es nicht einfach ist, der Komplexität der Gerinneprozesse gerecht zu werden. Dies möchten wir anhand des nachfolgenden Ereignisses aufzeigen.

Am Abend des 21. Juli 2007 sind im Gerinne des Illgraben zwei verschiedene Ereignisse abgelaufen: Kurz nach 18 Uhr ereignete sich ein Murgang, und rund zweieinhalb Stunden später folgte ein grosses Hochwasser (Typ C). Die unterschiedlichen Prozessformen lassen sich am eindrücklichsten durch die Frontgeschwindigkeiten der beiden Ereignisse zeigen. Während sich die Front des Murgangs mit einer mittleren Geschwindigkeit von nur 0.8 m s^{-1} bewegte, erreichte das nachfolgende Hochwasser mit 7 m s^{-1} eine rund zehn Mal höhere Geschwindigkeit *(Tabelle 1)*. Beim granularen Murgang schalteten die Alarmeinrichtungen aus, bevor die Front den untersten Kegelbereich erreichte *(Bild 4a)*. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Murgang beträchtlich langsamer als erwartet floss. Tatsächlich blieb das Gemisch sogar mehrmals einige Minuten lang im unteren Kegelbereich stehen, was die mittlere Geschwindigkeit von weniger als 1 m s^{-1} verursachte. Während des darauf folgenden Hochwassers mit hohen Fliessgeschwindigkeiten (die Pegelanstiege erfolgen bei den beiden Messpunkten in *Bild 4b* fast gleichzeitig) tritt dieses Problem selbstverständlich nicht mehr auf, und die Alarmierung erfolgt zeitlich zufriedenstellend.

Heikel sind zudem Ereignisse mit mehreren Schüben, wie sie im Illgraben häufig mit jeweils typischen zeitlichen Abständen von weniger als einer Stunde vorkommen. Solange die erste Front ein Murgang ist, bleibt die Unfallgefahr relativ gering, da Personen auch bei ausgeschalteten Alarmvorrichtungen den Gerinnebereich aufgrund der charakteristischen, schlammigen und teilweise tiefen Sedimentablagerungen nach dem Durchgang meiden werden. Problematischer ist die Situation im Falle einer Ereignisabfolge beginnend mit einer kleinen Hochwasserwelle ohne bedeutende Rückstände im Gerinne. Folgt darauf ein grösseres Hochwasser oder ein Murgang, sind Personen in Gefahr, die sich bei wieder ausgeschalteten Alarmanlagen zur Querung des Wildbaches entscheiden. Solche Fälle können vermieden werden, wenn die Alarmierungsdauer verlängert wird oder durch die Installation zusätzlicher Detektionssensoren im obersten Kegelbereich.

4.2 Vergleich mit empirischen Grenzwerten zur Murgangauslösung

McArdell and Badoux (2007) untersuchten im Rahmen einer unabhängigen Studie den Einfluss verschiedener Niederschlagscharakteristiken bei der Auslösung von Murgängen im Illgraben. Dabei ergab sich eine Grenzbeziehung *(Bild 5)* zwischen Niederschlagsintensität und -dauer, über der Murgangereignisse erwartet werden können und unter welcher der Prozess in der Beobachtungsperiode nie registriert wurde.

$$I_{df} = 5.4\, D_{df}^{-0.79}$$

Dabei entspricht I_{df} der mittleren Intensität (mm h^{-1}) und D_{df} der Dauer (h) eines Murgang auslösenden Niederschlagsereignisses. Zur Bestimmung der beiden Parameter wurden 10-Minuten-Niederschlagsdaten verwendet. Das zu diesem Zweck eingesetzte Pluviometer *(Bild 1)* liegt auf 2210 m ü.M. in der Nähe der Murgangauslösezone.

Zum Vergleich sind die Niederschlagskennwerte von Ereignissen, die während der Pilotbetriebsphase zur Auslösung von Alarmen führten in *Bild 5* eingetragen. Neben den Murgangereignissen (Typ D) liegen auch die anderen gefährlichen Ereignisse (grosse und mittlere Hochwasser des Typs C bzw. B) über der angegebenen Grenzbeziehung. Allerdings ist dies auch für die Mehrheit der ungefährlichen Hochwasser (Typ A) der Fall. Dies zeigt, dass Murgangereignisse im Illgraben bereits bei unspektakulären Niederschlägen auftreten können. Tatsächlich ist es so, dass die empirisch definierte Grenzbeziehung tiefer liegt als entsprechende Beziehungen für andere alpine Wildbacheinzugsgebiete (z.B. Deganutti et al., 2000; Zimmermann et al., 1997). *Bild 5* legt aber auch dar, dass sich diese Beziehung nicht für die Unterscheidung zwischen den Naturengefahrenprozessen Murgang und Hochwasser eignet und

Bild 3. Alarmeinrichtung mit Blinklicht und Sirene auf Sperre 28. Im Hintergrund die Kantonsstrassenbrücke über den Illgraben.

zudem nur beschränkt dazu dient, gefährliche Ereignisse von weniger gefährlichen abzugrenzen. Die aktuelle Datengrundlage genügt allerdings noch nicht, um den dargestellten Ansatz abschliessend zu bewerten. Hierfür müssen für einige weitere Jahre die Daten der Detektionsanlage und Pluviometer gesammelt und ausgewertet werden. Ob die akustischen und optischen Alarmanlagen entlang des Gerinnes als Alternative zu Sensoren im Gerinne auch durch Niederschlagsmessungen oder Niederschlagsprognosen eingeschaltet werden könnten (vgl. *Abschnitt 4.4*), ist fraglich und steht momentan noch offen. Einem potenziellen Zeitgewinn zur Einleitung von Massnahmen steht ein allfälliger Verlust der Treffsicherheit bei der Identifikation von gefährlichen Ereignissen gegenüber.

4.3 Saisonale Unterschiede bei der Murgangauslösung

Die Murgänge, die im Verlauf der Pilotbetriebsphase in den Hochsommermonaten Juli und August aufgetreten sind, wurden

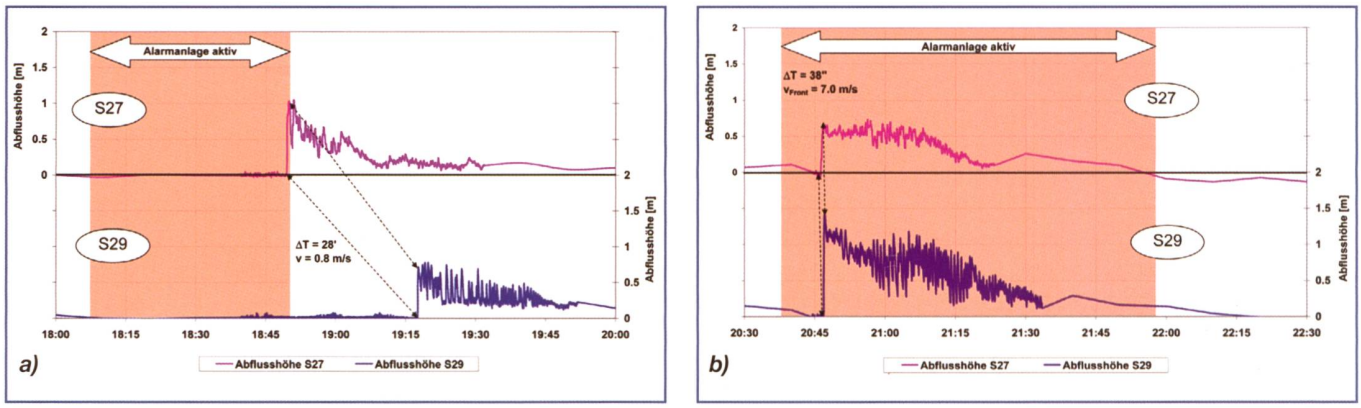

Bild 4. Vergleich zwischen der Aktivierung der Alarmanlagen durch die Sensoren des Detektionssystems und der Messung der Abflusshöhe bei der Murgangbeobachtungsstation für die beiden Abflussereignisse vom 21.07.2007. Die oberen roten Kurven zeigen den Verlauf der Abflusshöhe bei Sperre 27, die unteren blauen den Verlauf der Abflusshöhe bei Sperre 29. Die roten Flächen stellen die Phase der Alarmierung durch die gerinnenah angebrachten Blinklichter und Sirenen dar. Bild 4a zeigt das erste, sehr langsame Murgangereignis. In Bild 4b ist das zweite, nachfolgende und sehr schnelle Hochwasserereignis dargestellt.

durch starke, eher kurze Niederschläge (oftmals Gewitter) verursacht und sind durch höhere mittlere Intensitäten gekennzeichnet (rote Symbole in *Bild 5*). Während dieser Periode des Jahres ist die maximale Niederschlagsintensität für das Auftreten von Murgängen meistens entscheidend. Leichte und ausgiebige Regenfälle führen dann nur selten zur Bildung von Murgängen. Die Ereignisse, welche sich in den Monaten Mai und Juni (typische Schneeschmelzmonate) ereigneten, wurden durch weniger intensive Niederschläge ausgelöst. Diese Murgänge sind in *Bild 5* blau gekennzeichnet und weisen tiefere mittlere Niederschlagsintensitäten auf. Wir gehen davon aus, dass im Frühjahr das Schmelzwasser in den Murgangentstehungsbereichen des oberen Einzugsgebietes die Böden teilweise sättigt und so auch Niederschläge unter der Grenzbeziehung zur Auslösung von Ereignissen führen.

4.4 Vorwarnung anhand von Punktniederschlagsmessungen

Zur Diskussion stand zudem, ob basierend auf Niederschlagsmessdaten aus dem Einzugsgebiet eine Meteo-Vorwarnung per SMS an die Mitglieder der Sicherheitskommission Illgraben ausgestellt werden sollte. Entscheidend ist dabei die Frage, ob durch eine solche Vorwarnung ein Informationsmehrwert für die verantwortlichen Personen entsteht oder ob die Anzahl Fehlvorwarnungen zu gross wäre. Als Fehlvorwarnung ist eine Meteo-Vorwarnung zu verstehen, die nicht durch einen Alarm des Detektionssystems bestätigt wird bzw. die vor einem ungefährlichen Ereignis ausgegeben wird.

Um dieser Frage nachzugehen, wurde die Niederschlagsmessreihe des Pluviometers im Einzugsgebiet ausgewertet. Zu diesem Zweck haben wir zwei Grenzkriterien für eine Meteo-Vorwarnung definiert: (1) Ein Intensitätsschwellenwert, um der Tatsache gerecht zu werden, dass im Hochsommer die Murgangentstehungsbereiche oft auf kurze, aber intensive Regenperioden reagieren, und (2) ein Schwellenwert für die Niederschlagssumme, da während der Schmelzperiode auch ohne die Einwirkung hoher Intensitäten Murgangereignisse auftreten. Zudem sind hohe Niederschlagsintensitäten keine Voraussetzung für die Entstehung von gefährlichen Hochwasserereignissen mit fluvialem Geschiebetransport.

Die Auswertung der insgesamt 56 Schwellenwertüberschreitungen zeigt, dass für alle 14 gefährlichen Ereignisse der Pilotbetriebsphase eine Meteo-Vorwarnung ausgegeben worden wäre. Die Benachrichtigung wäre zwischen 1 und 389 Minuten vor dem Ansprechen der Detektionsanlage erfolgt. Das Mittel der Vorwarnzeit beträgt rund 70 Minuten und in 10 der 14 betrachteten Fälle beträgt sie maximal 60 Minuten. In 42 Fällen wäre zudem eine Meteo-Vorwarnung erfolgt, ohne dass sich danach ein gefährlicher Prozess ereignete (24 in 2007 und 18 in 2008). Dies entspräche einer Trefferquote von 25%. Diese Quote erscheint uns für eine Meteo-Vorwarnung zu tief. Zusätzlich zu den Benachrichtigungen vor ungefährlichen Ereignissen wären rund 30 Vorwarnungen erfolgt, ohne dass im Gerinne eine Abflusserhöhung registriert wurde. Derzeit kann deshalb eine Vorwarnung nur als Hinweis auf eine erhöhte Ereigniswahrscheinlichkeit interpretiert werden und zur Sensibilisierung der verantwortlichen Personen beitragen. Letztlich muss die Gemeinde respektive die Sicherheitskommission Illgraben entscheiden, ob und in welcher Form sie automatisch erstellte, auf gemessenen Pluviometerdaten basierende Benachrichtigungen erhalten will.

Die Auswertungen zur Meteo-Vorwarnung bestätigen zudem, dass im Frühjahr das Kriterium Ereignissumme für die Murgangauslösung wichtig ist und im Hochsommer zusätzlich das Intensitätskriterium relevant wird. Der Schwellenwert für einen Ereignisniederschlag von 8 mm ist adäquat gewählt und könnte nicht wesentlich erhöht werden, ohne dass gefährliche Ereignisse nicht erfasst würden.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Alarmsystem Illgraben wurde erfolgreich umgesetzt, und während einer zweijährigen Pilotbetriebsphase konnten positive Erfahrungen gesammelt werden. Das System löst kurz vor Ankunft eines Hochwasser- oder Murgangereignisses Alarme in Form von akustischen und optischen Signalen an drei häufig benutzten Gerinneübergängen aus und benachrichtigt zudem die zuständige Sicherheitskommission Illgraben.

Die Evaluation des Detektionsmoduls nach den ersten zwei Betriebsjahren zeigt, dass die Detektions- und Alarmeinrichtungen zufriedenstellend funktionieren. Das System erkannte insgesamt 28 Ereignisse und löste die entsprechenden Alarme aus. Zu diesen Ereignissen zählten 6 Murgänge, 3 grosse und 5 mittlere gefährliche Hochwasser sowie 13 kleine ungefährliche Hochwasser. Des Weiteren musste ein Fehlalarm in Kauf genommen werden (möglicherweise durch Steinschlag oder Wildwechsel verursacht). Das System muss insbesondere dahingehend verbessert werden, dass die Anzahl der

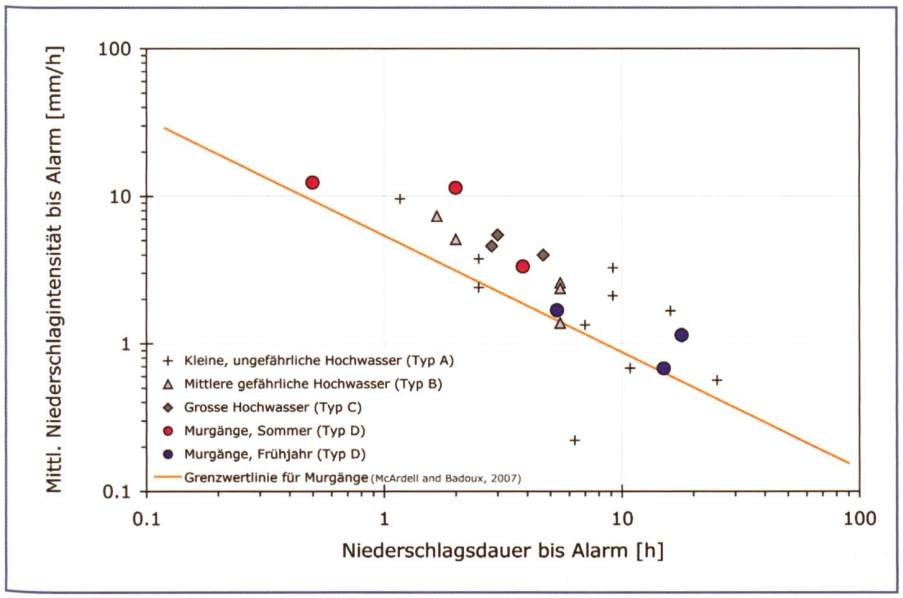

Bild 5. Grenzbeziehung zwischen Niederschlagsdauer und mittlerer Niederschlagsintensität für die Murgangbildung im Illgraben (McArdell and Badoux, 2007). Die verschiedenen Symbole stellen diejenigen Murgang- und Hochwasserereignisse dar, welche in der Pilotbetriebsphase 2007 und 2008 des Projektes zu einem Alarm führten. Rote Punkte bezeichnen Murgänge, die sich während dem Sommer ereignet haben, blaue solche im Frühjahr. Alle gefährlichen Ereignisse des Typs B, C und D (Tabelle 1) liegen oberhalb der Grenzwertlinie (ergänzt, aus Badoux et al., in press 2009).

Alarme für kleine Hochwasser reduziert wird.

Die hohe Variabilität und Komplexität der verschiedenen Abflussereignisse und Prozesstypen stellt eine grosse Herausforderung an die adäquate Alarmierung vor einem Ereignis dar. Bei 11 von 14 gefährlichen Abflussereignissen stellte sich die Zeitspanne zwischen Alarmierung und Eintreffen des Prozesses als ausreichend heraus (vgl. *Tabelle 1*). Für 3 Alarme war das Timing allerdings unbefriedigend, da die vom Detektionssystem gesteuerte Alarmdauer zu kurz ausfiel und deshalb die Einrichtungen zu früh ausschalteten (vgl. *Bild 4*). Eine Lösung für dieses Problem besteht darin, die Alarmdauer zu erhöhen um so sicherzustellen, dass die Alarmanlagen auf dem Kegel auch bei langsam fliessenden Ereignissen noch in Betrieb sind. Zudem könnten durch diese Massnahmen Unterbrüche bei schubartigen Ereignissen überbrückt werden.

Sämtliche gefährlichen Prozesse wurden durch Niederschlagsereignisse ausgelöst, deren Dauer und Intensität über der für den Illgraben definierten Grenzwertlinie für die Auslösung von Murgängen liegen. Leider kann dieser empirische Zusammenhang nicht für eine Meteo-Vorwarnung verwendet werden, da auch die meisten ungefährlichen Ereignisse über der Grenzwertlinie liegen. Der Vergleich von Alarmdaten mit Niederschlagsinformationen zeigt, dass die alleinige Verwendung von Niederschlagsmesswerten aus dem Einzugsgebiet keinen zuverlässigen Ersatz für das Detektionssystem darstellt. In Kombination mit meteorologischen Vorhersagen können jedoch aktuelle Niederschlagsdaten bei speziellen Situationen (z.B. im Falle eines Aufstaus von Wasser hinter einer Rutsch-/Sturzmasse) als Hinweis auf eine erhöhte Gefahr dienen.

Durch die fortwährende Analyse von künftigen Ereignissen können die Schwellenwerte der Prozessdetektion und die Auslaufdauer von ausgelösten Alarmen optimiert werden. Davon dürfte auch die Planung und Realisierung ähnlicher Systeme für die Alarmierung vor Sommernaturgefahren in anderen Gebirgsregionen profitieren.

Danksagung

Wir danken Richard Kuntner, Philippe Teysseire, François Dufour und Jakob Rhyner für die ausgezeichnete Zusammenarbeit in der Projektgemeinschaft. Dominique Bérod (BAFU), Eric Vez (DSFB/SRCE Kanton Wallis), Charly Wuilloud (DWL/SFP Kanton Wallis) sowie der Gemeinde Leuk sei für die Unterstützung des Projekts gedankt. Zudem bedanken wir uns bei Bruno Fritschi für die Entwicklung und Umsetzung des Detektionssystems und Christian Rickli für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

Abt, S.R., Wittler, R.J., Taylor, A., Love, D.J. (1989): Human stability in a high flood hazard zone. Water Resour. Bull., 25(4), 881–890.

Badoux, A., Graf, C., Rhyner, J., Kuntner, R., McArdell, B.W., (2009): A debris-flow alarm system for the Alpine Illgraben catchment: design and performance. Natural Hazards, 49(3), 517–539.

BWG (2001): Hochwasserschutz an Fliessgewässern., Wegleitungen des BWG, Bern, 72 S.

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.

Graf, C., Badoux, A., Dufour, F., McArdell, B.W., Rhyner, J., Kuntner, R., Teysseire, P., Nigg, U. (2007): Alarmsystem für murgangfähige Wildbäche – Beispiel Illgraben. Wasser Energie Luft, 99 (2), 119–128.

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.

McArdell, B.W., Badoux, A. (2007): Influence of rainfall on the initiation of debris flows at the Illgraben catchment, canton of Valais, Switzerland. Geophysical Research Abstracts 9, 08804.

McArdell, B.W., Bartelt, P., Kowalski, J. (2007): Field observations of basal forces and fluid pore pressure in a debris flow. Geophysical Research Letters, 34, L07406.

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

Schlunegger, F., Badoux, A., McArdell, B.W., Gwerder, C., Schnydrig, D., Rieke-Zapp, D., Molnar, P. (2009): Limits of sediment transfer in an alpine debris-flow catchment, Illgraben, Switzerland. Quaternary Science Reviews, 28(11–12), 1097–1105.

Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS basierter Ansatz, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Schlussbericht NFP 31, 161 S.

Anschrift der Verfasser

Christoph Graf, Alexandre Badoux, Brian W. McArdell

Eidg. Forschungsanstalt WSL

Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf

christoph.graf@wsl.ch