

# Gefahrenmanagement der Murgänge im Spreitgraben, Guttannen

Autor(en): **Tobler, Daniel / Kull, Isabelle / Hählen, Nils**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Swiss bulletin für angewandte Geologie = Swiss bulletin pour la géologie appliquée = Swiss bulletin per la geologia applicata = Swiss bulletin for applied geology**

Band (Jahr): **17 (2012)**

Heft 2

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-349242>

## **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.

## Gefahrenmanagement der Murgänge im Spreitgraben, Guttannen

Daniel Tobler<sup>1</sup>, Isabelle Kull<sup>2</sup>, Nils Hählen<sup>3</sup>

**Stichworte:** Murgang, Gefahrenmanagement, Modellierung, Frühwarnsystem, Prognose.

### Zusammenfassung

Seit 2009 treten im Spreitgraben bei Guttannen im Berner Oberland jährlich mehrmals sehr grosse Murgänge auf, welche bis Ende 2011 über 600'000 m<sup>3</sup> Material in die Aare verfrachteten. Die Murgänge haben ihren Ursprung in einem aktiven Felssturzgebiet in der vermutlich mit Permafrost durchsetzten Nordflanke des über 3'000 m hohen Ritzlihorn. Sie führen dazu, dass Gebäude aufgegeben und Infrastrukturanlagen aufwändig gesichert oder sogar verlegt werden müssen. 2011 wurde durch Murgänge ein neues Teil-Einzugsgebiet aktiviert und hat, unabhängig vom Felssturzgebiet, erneut sehr grosse Gieschibemassen ins Tal verfrachtet. Aufgrund umfangreicher Analysen des gesamten Systems sowie der Ereignisse konnten Szenarien basierte Prognosemodellierungen mit dem Murgangmodell RAMMS vorgenommen werden.

Zur Sicherheit der Kantonsstrasse sowie gefährdeter Gebäude und Infrastrukturanlagen wird seit 2010 ein automatisches, redundantes Überwachungs- und Alarmierungssystem betrieben. Sobald mindestens eine Komponente der Anlage (Reissleinen, Geophone, Gerinneradar) einen Murgang detektiert, werden die Ampeln auf der Kantonsstrasse automatisch auf Rot gestellt und die Sicherheitsverantwortlichen per SMS informiert. Um die Entwicklung im Einzugsgebiet sowie entlang des Grabens zu beobachten, werden Überwachungskameras eingesetzt. Ein umfangreiches Überwachungskonzept definiert die Funktionsweise und die einzelnen Elemente der Überwachung sowie die Aufgaben und Kompetenzen aller weiteren Akteure.

### Abstract

Since 2009 several extremely erosive debris flows have occurred in the Spreitgraben near Guttannen (central Switzerland). They were initially triggered by rockfall events and started with small and harmless flows. Within three years they have increased to become destructive events with an enormous hazard potential. Strong erosion along the debris flow channel caused considerable depositions in the receiving stream. A total of 650,000 m<sup>3</sup> bedload has been deposited to date. Due to the scale of the erosion and deposition processes, no constructive protection measure can be implemented to stop the process evolution. Important infrastructures are increasingly affected; the major gas pipeline between Germany and Italy had to be relocated and two houses had to be abandoned. The main passroad is endangered in different places and has already been locally destroyed. The only reasonable solution to confront these natural hazard processes is land use planning, in order to avoid any human activity in this increasingly dangerous area.

As a matter of urgency a vast, sophisticated early warning system has been established. A profound knowledge of the ongoing processes is the precondition for reliable hazard and risk management. Scenario-based debris flows have been simulated for the near future in order to estimate the deposit progress of depositions and to define areas at risk. These simulations form the basis for the safety and monitoring concept. A project handbook defines the role, tasks, responsibilities and cooperation among all affected infrastructure owners and public authorities.

The article focuses on the hazard management in a highly endangered area with enormous vulnerability. The devastating debris flows are forcing the authorities to adapt yearly to new situations. Due to the high event-frequency in the Spreitgraben, the established system has already been approved after only three years – a unique case in Switzerland.

<sup>1</sup> GEOTEST AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen, daniel.tobler@geotest.ch

<sup>2</sup> GEOTEST AG, Birkenstrasse 15, 3052 Zollikofen, isabelle.kull@geotest.ch

<sup>3</sup> Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, 3600 Thun, nils.haehlen@bve.be.ch

# 1. Einleitung

## 1.1 Allgemeines

Die Gemeinde Guttannen liegt im östlichen Berner Oberland auf der Nordseite des Alpenhauptkammes auf rund 1'000 m ü. M. (Fig. 1, 8). Sie ist umgeben von hohen Bergen, Naturgefahren bilden einen wichtigen Bestandteil der Dorfgeschichte. Im Winter wird das Dorf regelmässig durch grosse Lawinen von der Aussenwelt abgeschnitten. Nun bahnt sich durch die Murgänge im nahegelegenen Spreitgraben das gleiche Schicksal auch für die Sommermonate an. Seit den grossen Felssturzereignissen am Ritzlihorn (3'263 m ü. M.) im Jahre 2009 bilden sich jährlich wiederkehrende Murgänge, die grosse Mengen von Geschiebe in den Talfluss verfrachten. Betroffen sind jedoch nicht nur

die Zufahrt zum Dorf Guttannen, sondern auch ganze Siedlungsbereiche in der Gemeinde sowie die internationale Gasleitung zwischen Deutschland und Italien.

## 1.2 Geologie und Geomorphologie

Die steilen Felswände des im Südwesten von Guttannen liegenden Ritzlihorns gehen auf 2'500 m ü. M. in eine leichte Geländeverflachung über, der sogenannten Schafegg. Dieses markante Geschiebedepot grenzt an eine weitere Felsstufe, die steil bis zum Kegelhals des Spreitgrabens abfällt. Das dominierende Element des Spreitgrabens ist der grosse, holozäne Schuttkegel, der sich bis zur Aare hinunter erstreckt. Er ist Zeuge von alten Murgangereignissen in vergangenen Zeiträumen.



Fig. 1: Ritzlihorn mit Spreitgraben und Modellierung der bisherigen Ablagerungen in der Aare mit dem Modell RAMMS (WSL). Rechts: Illustrationen entlang des Grabens.

Geologisch werden die Felsformationen des Ritzlihornes im Wesentlichen durch stark verschieferte Gneise aufgebaut (Kristallin des Aarmassivs, Fig. 2). Der Fels ist durch steil stehende Klufscharen intensiv zerschert. Der Gipfelbereich der markanten, nach Nordosten abfallenden, pyramidenförmigen Flanke des Ritzlihornes löst sich durch die Verwitterung in ein Haufwerk von Blockschutt auf. Die steil stehende Verschieferung des Gebirges macht den Gesteinsverband zusammen mit dem hohen Anteil an Schichtsilikaten besonders anfällig für die Verwitterung. Dieses Material trägt einen wesentlichen Bestandteil zur Bildung von Murgängen bei.

Der Gipfelbereich des Ritzlihornes befindet sich gemäss der Hinweiskarte der potentiellen Permafrostverbreitung in der Schweiz (BAFU 2005, Gruber 2012) im Gebiet mit flächenhaftem Permafrost (Fig. 3). Die Beob-

achtungen in den grobblockigen Gipfelflanken sowie Basistemperaturmessungen der Schneedecke im Winter 2010/2011 bestätigen die Hinweiskarte. Es kann mit grosser Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Auslösegebiete der Murgänge im degradierenden Permafrost liegen (Hasler et al. 2011).

### 1.3 Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet des Spreitgrabens erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 4.7 km<sup>2</sup> und reicht vom Ritzlihorn (3'263 m ü. M.) bis hinunter in die Aare (950 m ü. M.). Das kesselförmige Einzugsgebiet ist nord- bis nordöstlich ausgerichtet und kann grob in drei Bereiche unterteilt werden: einen oberen, sehr steilen Fels- und Geröllbereich (60–80% Gefälle) mit zahlreichen Runsen, einen mittleren, weitgehend firnbedeckten Kegelhalsbe-

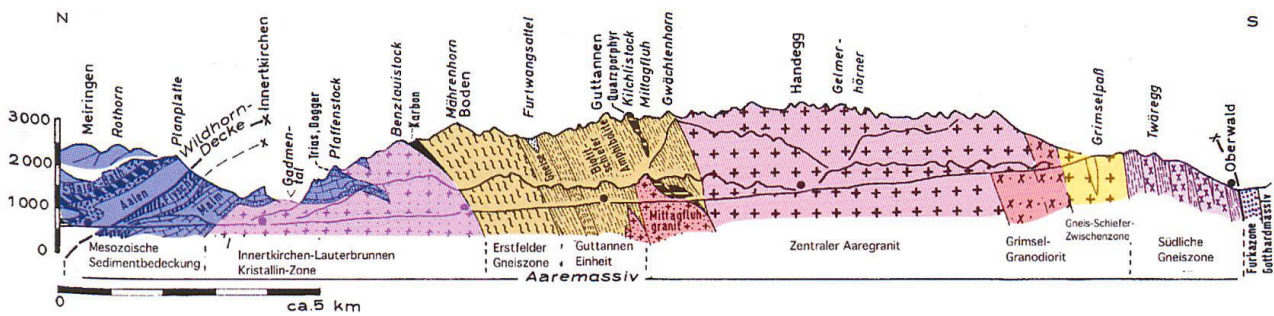


Fig. 2: Geologisches Profil zwischen Meiringen und Oberwald entlang der Grimsepassstrasse. Das Ritzlihorn bei Guttannen liegt in der Guttannen-Einheit und wird durch stark verschieferte Biotit-Plagioklas-Gneise aufgebaut (modifiziert nach Gwinner 1978).

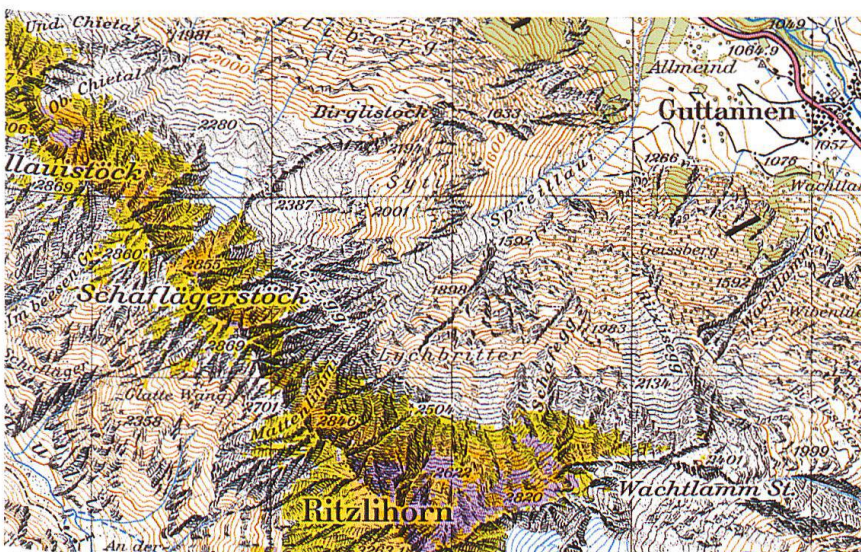


Fig. 3: Hinweiskarte der potentiellen Permafrostverbreitung in der Schweiz, Ausschnitt Ritzlihorn (BAFU 2005). Die violetten Bereiche weisen auf die Existenz von Permafrost hin, die orangen und gelben Lokalisationen widerspiegeln degradierenden Permafrost.

reich und einen unteren Kegelbereich, der ein Gefälle von rund 30% aufweist. Der Graben besteht aus zwei Teileinzugsgebieten: der südliche Bereich Schaflägerstöck-Ritzlihorn wird über den Innere Spreitbach und der nördliche Bereich Schaflägerstöck-Birgli über den Üssere Spreitbach entwässert. Die Konfluenzzone der beiden Gräben befindet sich auf dem Kegel im Gebiet Sattel (1'180 m ü. M.).

Im Unterlauf wird der Graben von der Kantonsstrasse gequert. Infolge immer wiederkehrender Strassensperrungen nach Lawenniedergängen aus dem Gebiet Spreitloui – einer der grössten Lawinenzüge im Kanton Bern – wurde im Jahr 1968 eine Lawinengalerie errichtet. Diese liegt heute aufgrund der starken Tiefenerosion durch die Murgänge im Längsprofil des Gerinnes zu hoch im Graben, was starke Erosionen auf der Unterstromseite ausgelöst hat und die Stabilität des Bauwerks gefährdete.

## 2. Ereignisse 2009 – 2011

Die Ereignisse im Jahre 2009, initiiert aus den Felssturzablagerungen auf 2'500 m ü. M., verfrachteten rund 100'000 m<sup>3</sup> Geschiebe in den Vorfluter Aare (GEOTEST 2012). Die

Murgänge verursachten im Spreitgraben eine starke Tiefenerosion. Im Jahr 2010 hat sich die Quelle der Murgänge in den Bereich des Kegelhalses auf rund 2'000 m ü. M. verschoben. Die Ereignisse setzten Mitte Juli 2010 ein und wurden mit jedem Ereignis grösser.

Durch die Murgänge aus den Felssturzablagerungen der Schafegg wurde Geschiebe in die unterhalb liegenden Firnfelder des Kegelhalses verfrachtet. Dieses Geschiebe hat an den bereits bestehenden, subnivalen Abflusskanälen zu Verklausungen geführt. Die beiden grössten Murschübe wurden vermutlich durch das Freisetzen des im Firn zurückgestauten Wassers nach Durchbrüchen solcher Verklausungen verursacht. Der Firn wurde durch die grossen subnivalen Abflüsse über weite Strecken unterspült und aufgerissen, bis er schliesslich kollabierte. Die Wasserdurchbrüche erzeugten sehr grosse Murgänge mit Abflussspitzen von 500–600 m<sup>3</sup>/s (Fig. 4). Insgesamt wurden 2010 rund 250'000 m<sup>3</sup> Geschiebe in die Aare verfrachtet (GEOTEST 2010). Rund ein Drittel davon stammte aus den Felssturzablagerungen der Schafegg, die anderen zwei Drittel aus der Sohlen- und Böschungserosion entlang des alten Bachkegels des Spreitgrabens.



Fig. 4: Grosse Murfront vom 23. Juli 2010 (Hählen 2012a).

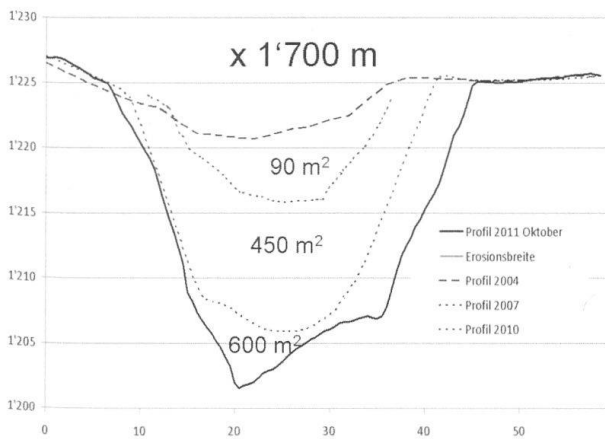


Fig. 5: Erosionsentwicklung im Gerinne im Gebiet Sattel auf 1'200 m ü. M. (Hählen 2012a). Man beachte die Zunahme der Gerinnebreite durch Böschungsrutschungen als Folge der starken Tiefenerosion.

Die Murgänge im September und Oktober 2011 waren dadurch gekennzeichnet, dass sie, anders als in den Vorjahren, nicht im Bereich der Felssturzaflagerungen der Schafegg ausgelöst wurden, sondern im westlich davon gelegenen Grabensystem. In diesem Grabensystem hatten sich vorgängig keine Massenverlagerungsprozesse ereignet. Vermutlich führte die Kombination schneearmer Winter, warmer Frühling und heisser August/September 2011 dazu, dass Teile der schon seit Jahrzehnten firnbedeckten Gräben freigelegt wurden (Hählen 2012a). Unter den Firnfeldern kamen umfangreiche Schuttablagerungen mit leicht mobilisierbarem Material zum Vorschein. Das bis anhin schneebedeckte und gefrorene Lockergestein war nun der Witterung (und damit der direkten Wärme) ausgesetzt und konnte einfach mobilisiert werden.

Durch die Ereignisse 2011 wurden gesamt-  
haft 260'000–300'000 m<sup>3</sup> Material in die Aare  
verfrachtet. Die Entwicklung der Gerinne-  
erosion ist in Figur 5 dargestellt.

Die Geschiebekubaturen der einzelnen  
Ereignisjahre konnten anhand von digitalen  
Geländemodellen detailliert eruiert werden.  
Für die Interpretation der Daten spielt die  
generelle Entwicklung der beitragenden  
Geschiebeherde eine wichtige Rolle.

### 3. Murgangauslösung

Die Analysen der Ereignisse 2009 bis 2011  
zeigen, dass zur Auslösung von Murgängen  
nicht nur die Niederschlagsintensität, son-  
dern vielmehr die Temperatur und die Vor-  
feuchte zu den wichtigsten meteorologi-  
schen Einflussfaktoren gehören (GEOTEST  
AG 2010, 2012). Neben den oben aufgeföh-  
rten Faktoren spielen insbesondere auch die  
Verfügbarkeit von leicht mobilisierbarem  
Geschiebe (z. B. aus den Felssturzaflagerun-  
gen der Schafegg) sowie allfällige Verklau-  
nungsmöglichkeiten im Bereich der Firnfel-  
der eine wichtige Rolle bei der Murgangen-  
stehung. In der Folge wird der Einfluss der  
meteorologischen Faktoren näher beschrie-  
ben.

#### 3.1 Niederschlag

Die minimale Niederschlagsintensität zur  
Murgangauslösung betrug 2009/2010 rund  
10 mm/h, wobei festzuhalten ist, dass bis ins  
Jahr 2010 im Gebiet noch keine Nieder-

Geschiebequelle / Ort	Kubatur in m <sup>3</sup>		
	2009	2010	2011
Kegelerosion (Aare bis ehemaliger Firn)	65'000	120'000	230'000
Erosion Firnbereich und Seitengräben	0	~ 30'000	~ 50'000
Felssturzmateriel (Schafegg)	35'000	100'000	0
Ablagerungen Aare	100'000	230'000	260'000

Tab. 1: Geschiebebilanzen des Spreitgrabens 2009 – 2011 ohne Austrag durch die Aare (Geotest 2012).

schlagsmesser mit hochauflösendem Messintervall installiert waren. Die Aufzeichnungen der hochauflösenden Niederschlagsstationen der Transitgas AG (Transitgas AG 2011) zeigten, dass 2011 zur Auslösung grosser Murgänge Niederschlagssummen von mindestens 40 mm bei Intensitäten von 3 mm/h oder mehr notwendig waren (Hählen 2012a). Bis heute konnte jedoch keine kritische Niederschlagsmenge respektive -intensität definiert werden. Denn obige Grenzwerte wurden 2011 auch mehrmals erreicht, ohne dass ein Murgang aufgetreten ist. Für die Murgangauslösung spielen somit neben dem Niederschlag noch weitere Faktoren eine entscheidende Rolle (siehe folgende Kapitel).

### 3.2 Temperatur

In den Jahren 2009 bis 2011 traten die ersten Murgänge erst auf, nachdem an der Messstation Jungfrauoch (3'580 m ü. M.) 24 Tage mit positiver Tagesmitteltemperatur verzeichnet wurden (Hählen 2012a). Dies deutet darauf hin, dass ein gewisser Wärmeeintrag in den Boden der höheren Bereiche des Einzugsgebietes Spreitgraben notwendig ist, ehe Murgänge ausgelöst werden können. Zudem ist der Temperaturverlauf während des Niederschlagsereignisses entscheidend. Lag die Tagesmitteltemperatur auf 2'900 m ü. M. unter 2 °C, waren selbst bei starken Niederschlägen keine Murgänge zu verzeichnen (GEOTEST 2012).

### 3.3 Vorfeuchte

Bei der Ereignisanalyse wurde festgestellt, dass für die Auslösung von Murgängen im Einzugsgebiet eine minimale Vorfeuchte herrschen musste. Gemäss den Beobachtungen schien die 14-Tagessumme der vorausgegangenen Niederschläge den grössten Einfluss auf die Ereignisauslösung zu haben. Entsprechend wurde die Vorfeuchte im Einzugsgebiet des Spreitgrabens über diesen Wert definiert. Im Sommer 2009 war noch

eine kritische Vorfeuchte von mindestens 100 mm pro 14-Tage notwendig, um kleine Murgänge auszulösen. Im Gegensatz dazu wurden in den Jahren 2010 und 2011 – bedingt durch die zunehmende Schuttverfügbarkeit im Einzugsgebiet – bei solchen Vorfeuchtebedingungen bereits grosse bis sehr grosse Ereignisse ausgelöst (GEOTEST 2012).

## 4. Schadenpotenzial

Die Kantonsstrasse (Lawinengalerie), die internationale Gasleitung zwischen Deutschland und Italien sowie einzelnen Häuser liegen im Einflussbereich der Murgänge des Spreitgrabens und bilden somit das Schadenpotenzial (Situation Fig. 1). Zwischen 2009 und 2011 wurde die Gasleitung an zwei Lokalisationen durch Murgänge und Hochwasser gefährdet; bei der Querung des Spreitgrabens im Bereich der Lawinengalerie sowie weiter talauswärts bei der ARA. Während der Wintermonate 2010/2011 wurde die Leitung im Bereich der Einmündung des Spreitgrabens in die Aare auf die orographisch rechte Talseite verlegt. Dort scheint sie mittelfristig sicher zu sein (Tobler et al. 2012). Das Wohnhaus unmittelbar gegenüber der Einmündung des Spreitgrabens in die Aare wurde bereits im Jahre 2010 aufgegeben und abgerissen (Fig. 6).

Anhand von Nachmodellierungen der bisherigen Ereignisse konnten die Modellparameter geeicht und für Prognosemodellierungen der künftigen Murgangentwicklung eingesetzt werden. Die Modellierungsergebnisse deuten durch die zunehmenden Auflandungen auf eine flächenmässig immer grösser werdende Betroffenheit hin. Wird künftig von Murgangereignissen ähnlicher Grössenordnung wie 2011 ausgegangen, so kommen in unmittelbarer Zukunft auch weitere Siedlungsteile von Guttannen (Flesch, Leen) und die ARA Guttannen in den Ablagerungsbereich der Murgänge zu liegen und bilden ein neu hinzukommendes Schadenpotenzial

(Fig. 7). Auch Kantonsstrasse und Gasleitung würden dadurch zusätzliche Gefahrenstellen aufweisen.

## 5. Risikomanagement

Durch die Existenz des enorm grossen Schadenpotenzials besteht heute ein umfangreiches, hoch technologisiertes Monitoring- und Alarmsystem (Fig. 8). Das ursprüngliche, einfache Überwachungssystem (Tobler et al. 2010) wurde zu einem umfassenden Frühwarn- und Alarmdienst für den Strassenbetrieb und die Baustellen im Unterlauf weiterentwickelt. Dieses muss hohe Anforderungen erfüllen. Es muss zuverlässig, redundant und wartungsarm sein sowie höchste Auslösesicherheit garantieren. Eine Kombination von Reissdrähten mit hochsensiblen Bewegungs- und Erschütterungs-

messgeräten bildet das Herzstück der Anlage. Die registrierten Signale werden mittels Funk auf die Alarmgeräte für Strassendienst, Werkbetreiber und Bevölkerungsschutz übermittelt. Messdaten und auch Kamerabilder können online via Internet jederzeit eingesehen werden, was eine wichtige Stütze des Gefahrenmanagements darstellt.

Das gesamte Frühwarn- und Alarmsystem ist ein wichtiger Bestandteil des umfangreichen Sicherheits- und Überwachungskonzeptes. Das Konzept definiert die Funktionsweise und die einzelnen Elemente der Überwachung sowie die Aufgaben und Kompetenzen aller weiteren Akteure. Die Verantwortlichkeiten werden den beteiligten Akteuren zugeteilt und die Handlungsanweisungen beschrieben. Das Konzept ist mehrfach erprobt und hat sich als äusserst effizientes und unerlässliches Mittel und Dokument im Ereignisfall herausgestellt.

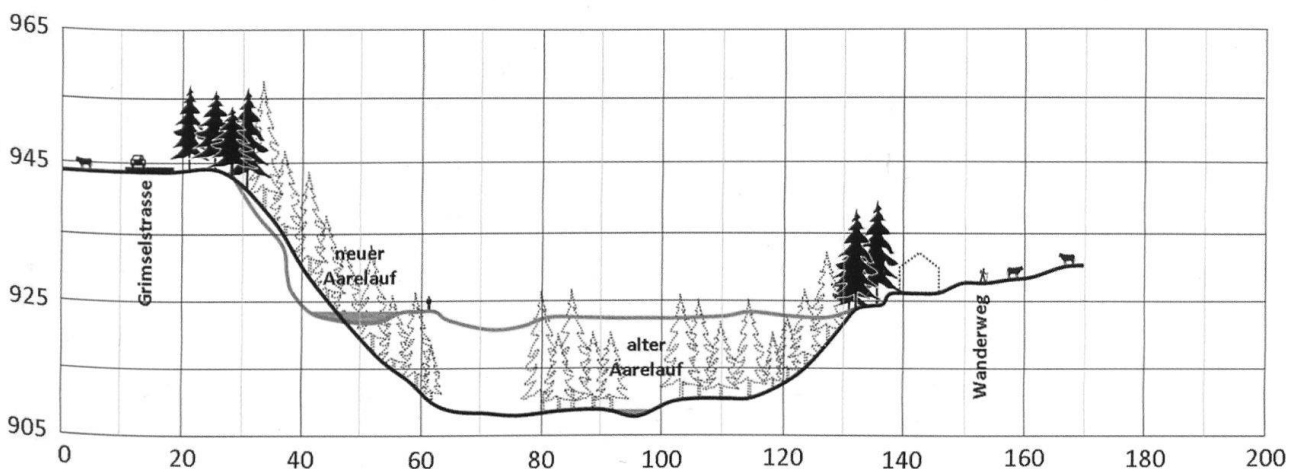


Fig. 6: Geschiebeablagerungen im Aarebett: Zustand 2009 [links] und 2011 [rechts], dargestellt im Orthofoto [oben] sowie im Querprofil im Bereich Aegersteinkurve [unten] (Hählen 2012b).



Die Kommunikation zwischen den einzelnen Hauptakteuren (Gemeinde, Strassenbetreiber, Gasleitungsbetreiber, Werkleitungsbetreiber sowie gefährdete Privathaushalte) ist im Ereignisfall essentiell. Je schneller, besser und genauer kommuniziert wird, desto schneller herrscht Klarheit über den aktuellen Sachverhalt. So können die richtigen Entscheidungen im kürzest möglichen Zeitraum getroffen werden.

## 6. Schlussbemerkungen

Die Prozesse am Spreitgraben in Guttannen zeigen auf eindrückliche Weise die Auswirkungen der Veränderungen, welche seit ein-

gen Jahren an der alpinen Kryosphäre vor sich gehen (Hählen 2012). Die in den letzten drei Jahren aufgetretene, grosse Murgangtätigkeit im Spreitgraben wird sich in den nächsten Jahren mutmasslich fortsetzen. Die enormen Geschiebeablagerungen sowie die sich ständig ändernde Gefährdung von Siedlungen und Infrastrukturanlagen stellen hohe Ansprüche an das Gefahren- und Risikomanagement. Das im Jahre 2009 installierte Überwachungs- und Frühwarnsystem wurde seither zu einem hoch technologisierten und redundanten Monitoring- und Alarmsystem ausgebaut. Dabei bildet das tiefgründige Verständnis der ablaufenden Prozesse die wichtigste Grundlage für die Positionierung der Messgeräte sowie das

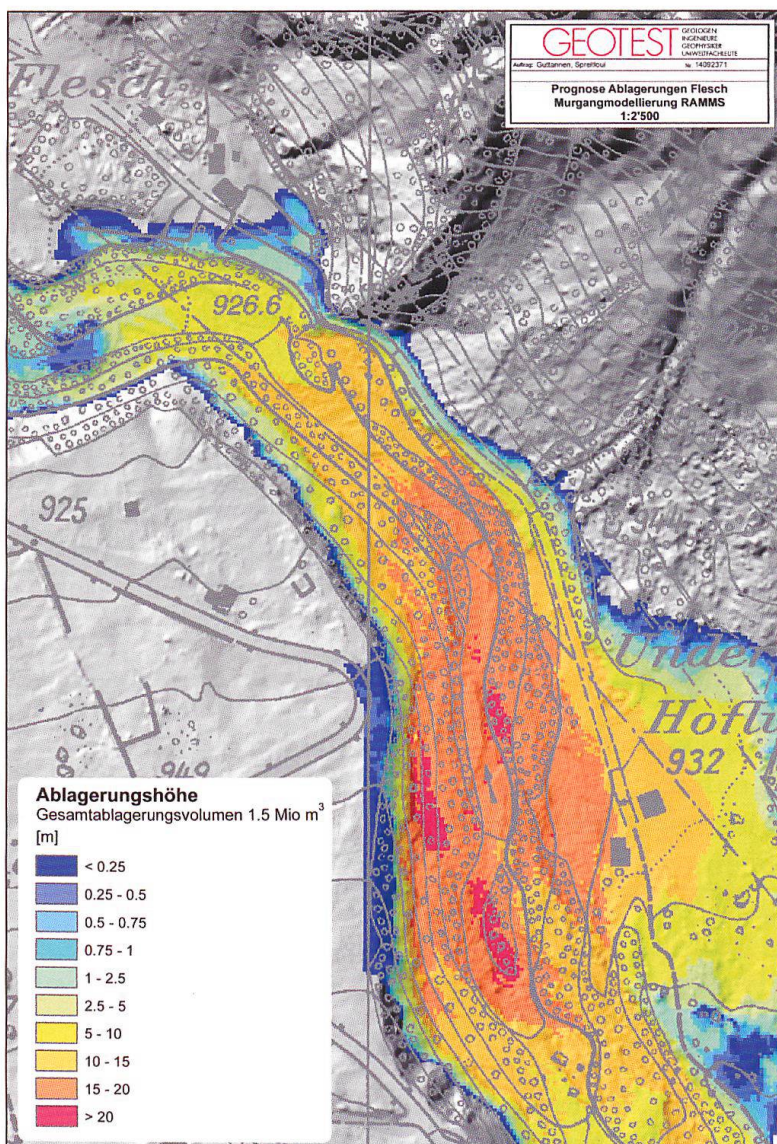


Fig. 7: Murgangmodellierung mit dem Simulationsprogramm RAMMS (WSL). Die Situation verdeutlicht das grosse Schadenpotenzial im Ablagerungsraum (GEOTEST 2012).

gesamte Gefahrenmanagement. Auf Szenarien basierte Prognosemodellierungen helfen die Geschiebeentwicklung in der Aare abzuschätzen sowie Gefahrenbereiche aufzuzeigen. Die Murgänge zwingen die Behörden, die gesamten involvierten Abläufe jährlich an die neuen Situationen anzupassen. In einem Projekthandbuch werden Rollen, Aufgaben und Verantwortlichkeiten der verschiedenen Akteure und Infrastrukturbesitzer detailliert beschrieben und geregelt. Durch die hohe Ereignisdichte konnte das Gefahrenmanagement im Spreitgraben bereits mehrmals auf seine Funktionalität hin geprüft und verbessert werden.

### Literatur

Bundesamt für Umwelt BAFU 2005: Hinweiskarte der potenziellen Permafrostverbreitung der Schweiz. Bern.  
 GEOTEST AG 2010: Guttannen, Murgang Spreitloui – Analysen und Prognosen. Bericht Nr. 09237.8, 63 S., Zollikofen.  
 GEOTEST AG 2012: Guttannen, Murgang Spreitloui – Analyse und Prognose. Bericht Nr. 1409237.3, 39 S., Zollikofen.  
 Gruber, S. 2012: Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. In Bamber, Gruber, Gudmundsson & Van den Broeke (Hrsg.), *The Cryosphere*, 6, 221–233.

Gwinner, M. P. 1978: *Geologie der Alpen*. 2. Auflage. Schweizerbart, Stuttgart.  
 Hählen, N. 2012a: Murgänge Spreitgraben 2011 – Ereignisse und Erkenntnisse. Unveröffentlichte Arbeit. 8 S., Oberingenieurkreis I, Thun.  
 Hählen, N. 2012b: Murgänge Spreitgraben und Rotloui – Folgen für Infrastrukturanlagen. Vortragunterlagen OcCC Workshop 21. September 2012.  
 Hasler, A., Gruber, S., Haeberli, W. 2011: Temperature variability and offset in steep alpine rock and ice faces. In Bamber, Gruber, Gudmundsson & Van den Broeke (Hrsg.), *The Cryosphere*, 5, 977–988.  
 Oberingenieurkreis I 2012: Aktuelle Situation Spreitgraben. Zugriff: September 2012: <http://www.spreitgraben.ch>.  
 Tobler, D., Raemy, V., Graf, K. 2010: Monitoring mittels Feldmessung: Systemwahl und Kostenentwicklung am Beispiel Spreitgraben in Guttannen. Zertifikatslehrgang ETH in Angewandten Erdwissenschaften. Zürich. 8 S.  
 Tobler, D., Kull, I., Hählen, N. 2012: Hazard management in a Debris Flow Affected Area – The Spreitgraben in Central Switzerland. Extended Abstract, International Disaster and Risk Conference, Global Risk Forum, August 2012, Davos.  
 Transitgas AG 2011: Niederschlags- und Temperaturdaten der Stationen Ritzli, Birgli und Ta. Unveröffentlichte Messdaten der Sommermonate 2011. Zürich.



- ★ Reissleinen
- ◆ Pegel-Radar
- ⬡ Geophon
- ◇ Webcam
- ✦ Datenstation
- △ Niederschlagsmessung
- ▲ Temperaturmessung
- Laserscanner
- FMCW-Doppler-Radar
- Interferometrie-Radar
- Ampeln/Alarm

Fig. 8: Darstellung der verschiedenen Elemente des Monitoring- und Alarmsystems im Sommer 2012.

