

Wieviel tragen sie wirklich?

Schutznetze aus Drahtseil werden heute weit verbreitet gegen abrutschende Gesteine und Erdmassen eingesetzt. Corinna Wendeler von der Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, hat sich im Zuge ihrer Dissertation eingehend mit Murganglasten befasst und versucht mit 1:1-Feldversuchen die effektiven Traglasten sowie das Verhalten der Netze zu erforschen.

Text und Bilder: Corinna Wendeler

Corinna Wendeler erforschte experimentell und rechnerisch das dynamische Tragverhalten von stählernen Schutznetzen gegen Murgang. Die aus den Feldversuchen gewonnenen Messdaten flossen in die einzelnen Berechnungsmodelle ein. Diese ermöglichen Aussagen zum Wirkungsgrad und zum Energieaufnahmevermögen der Schutznetze.

Schäden vermeiden

Murgänge werden meist durch Starkniederschläge in Bergregionen ausgelöst, bei welchen



Abb. 1: Murgangablagerungen vor einem Haus in Brienz.
Quelle: Abteilung Naturgefahren, Interlaken
Ill. 1: Dépôts de lave torrentielle devant une maison à Brienz.
Source : division des dangers naturels, Interlaken

das Wasser schnell in den Boden infiltriert und damit Erdmaterial loslösen kann. Die so entstehenden Gemische aus Wasser und Feststoffen fließen mehrheitlich in Gerinnen talwärts und können dabei grössere Steine und Blöcke transportieren. Bricht ein solcher Murgang aus dem Gerinne aus, können grosse Zerstörungen an Infrastruktur und Kulturland die Folge sein. (Abb. 1)

Um das Wissen über die Interaktion von Murgängen und flexiblen Schutzsystemen zu erhöhen, wurde im Jahre 2005 ein Forschungsprojekt zwischen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL und der Firma Geobrugg AG Schutzsysteme gestartet, finanziell unterstützt von der Kommission für Technologie und Innovation KTI. Für eine spätere korrekte numerische Simulation eines solchen Schutzsystems waren 1:1-Feldversuche erforderlich, um Skalierungseffekte zu vermeiden, wie sie bei Laborversuchen auftreten.

Beobachtungsstation Illgraben

Der Illgraben in Susten bei Leuk (Kanton Wallis) ist eines der aktivsten Murganggerinne der Schweiz. Im Durchschnitt ereignen sich sechs bis acht Murgänge im Jahr, welche jedes Mal mehrere tausend Kubikmeter Material transportieren. Der Illgraben wird zudem seit dem Jahr 2000 von der WSL mit verschiedenen Messinstrumenten und Videokameras überwacht. Zu den Messeinrichtungen gehören Geophone und Lasermessgeräte zur Messung der Frontgeschwindigkeit bzw. Fließhöhe sowie eine Murgangwaage zur Bestimmung von Gewicht und Dichte des Murgangs.

Testbarrieren liefern die Daten

Seit 2005 wird jedes Jahr am unteren Ende des Illgrabens nahe der Mündung in die Rhone eine flexible Murgangbarriere zu Testzwecken eingebaut. (Abb. 2/2 a)

Um die Interaktion zwischen Murgang und flexibler Barriere zu untersuchen, wurden verschiedenste Messeinrichtungen an der Barriere installiert. Oberhalb der Barriere misst ein Lasermessgerät die Füllhöhe der Barriere. Zusätzlich wurde eine Kamera mit einem Scheinwerfer installiert, um den Interaktionsprozess bei jedem Ereignis und zu jeder Tageszeit dokumentieren zu können. Als Kraftmessung sind sechs Kraftmesszellen (Messbereich bis zu 500 kN), in die Tragseile integriert worden. Die ganze Messtechnik wird über ein Signal von zwei Geophonen stromaufwärts gestartet.

Am 18. Mai 2006 wurde die Testbarriere durch einen grossen Murgang gefüllt und anschliessend überströmt. Die Messtechnik funktionierte ordnungsgemäss.

Aus den gemessenen Daten wurde ersichtlich, dass die Front beim Füllereignis mit ca. 2,9 m/s und einer Dichte von ungefähr 1600 kg/m³ auf die Barriere traf.

Die in den Tragseilen gemessenen Kräfte während des Füllprozesses sind in Abb. 3 dargestellt. Die maximalen Kräfte in jedem der unteren Tragseile (doppelte Tragseilführung) betragen 240 kN, jedes der oberen Tragseile ist mit maximal 150 kN belastet. (Abb. 3)

Das hinter der Barriere zurückgehaltene >>

FILETS MÉTALLIQUES DE PROTECTION

Que supportent-ils réellement ?

Les filets de protection conçus à partir de câbles en acier sont aujourd'hui très répandus en tant que moyen de protection contre les chutes de pierres et les glissements de terrain. Corinna Wendeler de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP) à Birmensdorf a consacré une thèse détaillée aux laves torrentielles et tente de déterminer par le biais d'essais in situ à échelle réelle les charges limites de résistance effectives ainsi que le comportement des filets.

Corinna Wendeler a étudié de façon expérimentale et par calculs le comportement dynamique sous différentes sollicitations de filets en acier conçus comme moyen de protection contre les laves torrentielles. Les résultats obtenus dans le cadre

de ses essais sur le terrain ont été intégrés dans les différents modèles de calcul, permettant ainsi d'obtenir des informations concernant le degré d'efficacité et le pouvoir d'absorption d'énergie des filets de protection.

Prévention des dégâts

Les laves torrentielles sont déclenchées la plupart du temps par de fortes précipitations dans les régions montagneuses ; l'eau s'infiltré rapidement dans les sols, détachant des blocs de terre. Les mélanges d'eau et

de matières solides ainsi générés s'écoulent généralement en forme de cônes en direction de la vallée et peuvent charrier de grosses pierres ou blocs. Si une telle coulée déborde du cône d'écoulement, cela peut entraîner une destruction majeure des



Abb. 2/2 a
Installierte Versuchssperre 2006 im leeren und gefüllten Zustand, am Illgraben.

III. 2/2 a
Barrage d'essai installé en 2006, vide et rempli, au niveau de l'Illgraben.

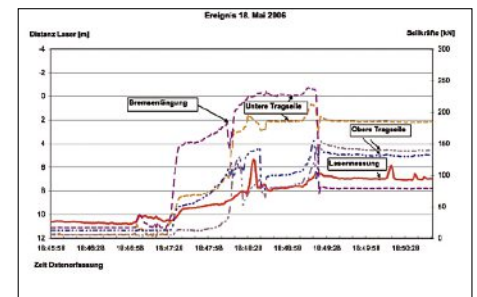


Abb. 3
Die Grafik zeigt die gemessenen Seilkräfte und Füllhöhen des Ereignisses vom 18. Mai 2006.

III. 3
Ce graphique montre les tensions des câbles ainsi que les hauteurs de remplissage de l'incident survenu le 18 mai 2006.

infrastructures et des terrains cultivés. (III. 1).

Afin de compléter les connaissances relatives à l'interaction entre les laves torrentielles et les systèmes de protection flexibles, un projet de recherche a été initié en 2005 par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP) et la société Geobrugg AG Schutzsysteme, soutenu financièrement par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI). En vue d'une simulation numérique ultérieure d'un tel système, des essais in situ à l'échelle réelle se

sont avérés nécessaires afin d'éviter tout changement d'échelle lors d'essais en laboratoire.

Station d'observation de l'Illgraben
L'Illgraben à Loèche-Susten (dans le canton du Valais) est l'un des cônes de laves torrentielles les plus actifs de Suisse. Six à huit coulées surviennent en moyenne chaque année, charriant à chaque fois des milliers de m³ de matière. Depuis l'an 2000, l'Illgraben fait en outre l'objet d'une surveillance par l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le

paysage (FNP) au moyen de divers instruments de mesure et caméras vidéo. Les systèmes de mesure englobent des géophones et des appareils de mesure au laser conçus pour mesurer la vitesse de front ou la hauteur d'écoulement ainsi qu'un dispositif de mesure du poids et de l'épaisseur de la coulée.

Des barrières d'essai fournissent les données

Depuis 2005, une barrière de protection flexible contre les coulées torrentielles est mise en place chaque

année à des fins d'essais en aval de l'Illgraben, à proximité de son embouchure dans le Rhône. (III. 2-2 a)

Afin d'analyser l'interaction entre la lave torrentielle et la barrière flexible, différents systèmes de mesure ont été installés au niveau de la barrière. En amont de la barrière, un appareil de mesure au laser évalue la hauteur de remplissage de la barrière. De plus, une caméra avec projecteur a été installée pour pouvoir documenter le processus d'interaction lors de chaque incident et à tout moment. Six cellules de mesure de force >>

GELÄNDESCHUTZ

> Volumen wurde mittels 3D-Vermessung vor und nach dem Ereignis bestimmt und betrug ca. 1000 m³. (Abb. 4)

Die Barriere wurde während des Jahres 2006 nochmals von 5 grossen Murgängen und insgesamt über 200 000 m³ Murgangmaterial überströmt, ohne dabei Schaden zu nehmen.

Verschiedene Zugkräfte wirken auf die Tragseile

Eine wichtige Beobachtung während des Füllprozesses ist, dass die unteren Tragseile stärker als die oberen Tragseile belastet werden. Während des Überfließens ist das Verhältnis genau umgekehrt: Aufgrund des überfließenden Murgangmaterials sind die oberen Tragseile dann stärker belastet.

Durch die gemessenen Seilkräfte bei den 1:1-Feldversuchen konnte ein Lastmodell entwickelt werden, das als untere Lastgrenze einen Strömungsdruck auf das Ringnetz aufweist. Sobald es zur Verkeilung der ersten Steine kommt, füllt sich die Barriere in sog. Druckstosswellen bis zu ihrer Oberkante auf. Dabei wirken der hydrostatische Druck sowie der Impuls des gestoppten Murgangmaterials auf die Barriere ein. Ist die Barriere gefüllt und wird anschliessend überströmt, wird durch ihre durchlässige Struktur das gestoppte Murgangmaterial entwässert und der Belastungszustand nähert sich dem aktiven Erddruck an.

Numerische Modellierung mit EDV-Programm
Mit dem erhaltenen Lastansatz können numerische Simulationen durchgeführt werden, um verschiedene Barrieren-Typen zu berechnen. Die Simulationen werden mit der Finite-Elemente-Software FARO durchgeführt. Mit den Resultaten aus den 1:1-Feldversuchen im Illgraben

konnte die ursprünglich für Steinschlagbarrieren entwickelte Software auf die für Murgang typischen Flächenlasten angepasst werden. Die maximal berechneten Kräfte und die auftretenden Deformationen der Barriere stimmen gut mit den Messungen im Feld überein. (Abb. 5)

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Verhältnisse im Illgraben sind ideal, um flexible Ringnetzbarrieren unter realen Bedingungen zu testen, da pro Jahr mehrere grosse Murgänge auftreten. Die Testresultate aus den Jahren 2005 und 2006 sowie die Resultate von zusätzlich durchgeführten kleinmassstäblichen Laborversuchen mit verschiedenen Murgangmaterialien führten zu einem entsprechenden Lastmodell für diese Barrieren. Eine Implementierung des Modells in das Finite-Elemente-Programm FARO dient zur einfachen Bemessung

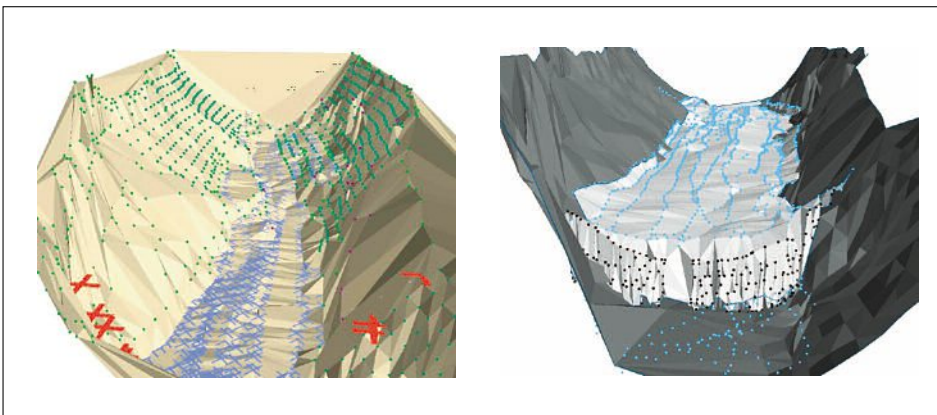


Abb. 4 / 4 a: 3D-Vermessung des Illgrabens an der Testsperre vor und nach dem Füllereignis.
Ill. 4 / 4 a: Relevé 3D de l'Illgraben au niveau du barrage d'essai, avant et après le remplissage.

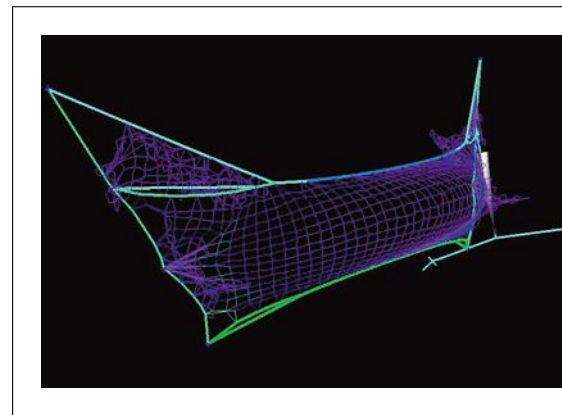


Abb. 5 / 5 a: Die berechneten Kräfte und Deformationen
Ill. 5 / 5 a: Les forces évaluées ainsi que les déformations

FILETS MÉTALLIQUES DE PROTECTION

> (plage de mesure jusqu'à 500 kN) ont été intégrées au niveau des câbles porteurs. L'ensemble des dispositifs de mesure est déclenché en amont par un signal provenant de deux géophones.

Le 18 mai 2006, une importante coulée a rempli la barrière d'essai puis débordé. Les dispositifs de mesure ont fonctionné correctement.

Les résultats ont démontré que lors du remplissage, la partie frontale a frappé la barrière à une vitesse d'env. 2,9 m/s et une densité d'environ 1600 kg/m³.

Les forces mesurées au niveau des câbles porteurs au cours du processus de remplissage sont schématisées dans l'ill. 3. Les forces maximales au niveau de chacun des câbles

porteurs inférieurs (double guidage du câble porteur) s'élèvent à 240 kN, et chacun des câbles supérieurs résiste à une charge maximale de 150 kN. (Ill. 3)

Le volume retenu derrière la barrière, déterminé au moyen d'un relevé 3D avant et après le processus, s'élève à env. 1000 m³. (Ill. 4)

La barrière a été inondée par 5 autres coulées torrentielles importantes en 2006, totalisant plus de 200'000 m³ de matière, sans subir le moindre dégât.

Différentes forces de traction agissent sur les câbles porteurs

Une observation décisive dans le cadre du processus de remplissage montre que les câbles porteurs inférieurs

sont soumis à une charge plus importante que les câbles supérieurs. Au moment du débordement, c'est précisément le contraire. En raison du débordement de matière lors de la coulée, ce sont les câbles supérieurs qui sont alors soumis à une charge plus importante.

La résistance des câbles mesurée lors des essais in situ à échelle réelle a permis d'élaborer un modèle de charge dont la limite de charge inférieure présente une pression d'écoulement au niveau du filet à anneaux. Dès le blocage des premières pierres, la barrière se remplit entièrement par vagues successives en coups de bélier. La pression hydrostatique ainsi que l'impulsion du blocage des matières qui s'écoulent influent sur la barrière.

Si cette dernière est remplie puis débordée, sa structure perméable permet un drainage de la matière stoppée et l'état de charge s'approche de la poussée active des terres.

Modélisation numérique au moyen d'un programme informatique

L'évaluation de la charge ainsi obtenue permet d'effectuer des simulations numériques afin d'évaluer différents types de barrières. Les simulations sont effectuées à l'aide du logiciel d'analyse par éléments finis FARO. Les résultats obtenus lors des essais 1:1 dans l'Illgraben ont permis d'adapter le logiciel, développé initialement pour les barrières de protection contre les chutes de pierres, aux charges locales typiques des laves torrentielles.



**Das Forschungsteam im Einsatz:
in der Mitte Corinna Wendeler.**

L'équipe de recherche en action :
au centre, Corinna Wendeler.

der Systeme. So kann in Zukunft schon bald ein neuartiges System als Murgangschutz dienen, welches sich optisch ideal in die Landschaft einpasst und zudem einfach zu installieren ist.

Projektbeteiligte

Corinna Wendeler und Axel Volkwein, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz. Matthias Denk und Andrea Roth, Geobrug AG Schutzsysteme, Romanshorn, Schweiz. ■



der Barriere stimmen gut mit den Messungen im Feld überein.

de la barrière correspondent parfaitement aux mesures effectuées sur le terrain.

Les forces maximales calculées ainsi que les déformations survenant au niveau de la barrière correspondent aux mesures effectuées sur le terrain. (Ill. 5)

Conclusions et perspectives

Les conditions au niveau de l'illgraben sont idéales pour tester des barrières flexibles constituées de filets à anneaux dans des conditions réelles, étant donné que plusieurs coulées importantes surviennent chaque année. Les résultats des essais effectués en 2005 et 2006 ainsi que les résultats d'autres essais en laboratoire à échelle réduite avec différentes matières de coulée ont permis d'élaborer un modèle de charge approprié pour ces barrières. L'in-

tégration du modèle dans le programme d'analyse par éléments finis FARO permet d'effectuer une évaluation en toute simplicité des systèmes. Un nouveau type de système se fondant esthétiquement dans le paysage et en outre facile à installer contribuera donc à l'avenir à assurer une protection contre les laves torrentielles.

Participants au projet

Corinna Wendeler et Axel Volkwein, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP) à Birmensdorf, Suisse.

Matthias Denk et Andrea Roth, Geobrug AG Schutzsysteme à Romanshorn, Suisse. ■