



## Dem Steinschlag auf der Spur

Steinschlagereignisse und Hangmuren sind eine ernst zu nehmende Bedrohung für Infrastruktur- und Wohnbauten. Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) forscht deshalb zusammen mit Industriepartnern an drei Standorten daran, die Ereignisse besser zu verstehen und Schutzverbauungen zu optimieren.

Text: Mirko Gentina // Fotos: Reinhard Lässig (WSL)

Im Alpen- und Voralpenraum, aber auch im Jura und im Mittelland sind viele Strassen, Bahnverbindungen und Wohnsiedlungen durch Steinschlag oder Hangmuren bedroht. Im Gedächtnis haften geblieben ist etwa das Bild, als im Bereich Gurtellen am Gotthard zwei Felsbrocken auf die Autobahn stürzten und ein deutsches Touristenpaar in ihrem Auto erschlug. Aber auch die diversen Ereignisse im «Katastrophen-Sommer» 2005 haben nicht nur bei Fachleuten bleibende Erinnerungen hinterlassen. So wurden auch zahlreiche Wohnbauten durch Hangmuren zerstört (siehe forangehender Artikel). Um die Schäden möglichst gering zu halten oder ganz zu verhindern, betreibt die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) zusammen mit Herstellern von Steinschlag-schutz- und Hangmuren-Verbauungen angewandte Forschung. An drei Standorten in der Schweiz – nämlich in Walenstadt, in Veltheim und in St. Léonard – werden dafür aufwändige Tests durchgeführt.

### Ein neuer Standort am Walensee

Im Jahr 1999 begann die WSL zusammen mit Partnern aus der Industrie mit der Suche nach einem geeigneten, neuen Standort, um Steinschlagversuche durchzuführen. Ziel war, dass man am neuen Standort die Trefferquote gegenüber bisherigen Versuchsstandorten merklich erhöhen und zudem eine zentrale Schweizerische Prüf-anlage entstehen konnte. Bis zu diesem Zeitpunkt haben die verschiedenen Hersteller von Schutzsystemen ihre Produkte in eigenen Anlagen getestet. So betrieb etwa die Firma Geobruagg früher in Beckenried am Vierwaldstättersee einen Testhang. Dabei handelte es sich um einen schrägen Hang, bei dem man die Steine mit Hilfe einer Seilbahn geführt hat. Mit viel Glück haben diese dann an der gewünschten Stelle das Netz getroffen. Obschon sich die Trefferquote mit der Zeit und der Erfahrung erhöhte, war sie nicht optimal. Die passende Versuchsumgebung wurde schliesslich mit dem alten Steinbruch Lochezen im St. Gallischen Walenstadt gefunden. Hier treffen die Prüfkörper im vertikalen Fall präzise die Schutznetze.

Die Anlage Lochezen wird einerseits von der Firma Geobruagg AG aus Romanshorn

genutzt, um neu entwickelte Barrieren zu testen oder bestehende Systeme weiterzuentwickeln und zu optimieren. Die WSL nutzt die Anlage andererseits für Forschung im Bereich Steinschlag und für die sogenannte Typenprüfung, bei der neue Schutzsysteme auf Herz und Nieren untersucht werden. Die verschiedenen Hersteller von Schutznetzen testen zwar jeder für sich die Netze vorab in eigenen Anlagen. Sämtliche Typenprüfungen für alle Systemanbieter, welche dann zu einem Zertifikat führen, finden jedoch unter Aufsicht der WSL in Walenstadt statt.

#### Der Steuerzahler will wissen, was verbaut wird

Die bisherige Schweizerische Richtlinie für die Typenprüfung besagt: Jedes System, das in der Schweiz von der öffentlichen Hand verbaut wird, muss offiziell zertifiziert werden. Der Steuerzahler soll sicher sein, dass die Systeme, die verbaut werden und die er ja eigentlich bezahlt, auch halten, was sie versprechen. Damit gelten für alle Anbieter die gleichen Bedingungen und deren Produkte werden somit direkt vergleichbar. Aufgrund der Schweizer Initiative ist im letzten Jahr auch eine europäische Norm entstanden. Durch die bilateralen Verträge wird in Zukunft nur noch die Eu-

ropäische Variante gelten. Im Wesentlichen beinhalten die Richtlinien das ähnliche Verfahren. Idealerweise würden die Schweizer Zertifikate umgewandelt, so dass die ausgestellten Zertifikate ihre Gültigkeit auch im europäischen Kontext behalten, aber dies steht zurzeit noch in der Diskussion. Die Typenprüfung von Steinschlagbarrieren und deren Richtlinien unterscheiden sich vom üblichen Normenwesen. Wenn im Zertifikat eine bestimmte Energiemenge ausgewiesen wird, dann verträgt das System genau diese Energiemenge. Es liegt nun am entsprechenden Geologen, das passende System auszuwählen. Das heisst: Er rechnet noch einen Sicherheitszuschlag dazu und zwar aufgrund der zu erwartenden Niedergänge. In Walenstadt werden nur die Netze selber geprüft, nicht aber die Verankerung. Kraftmessungen an den Seilen erlauben allerdings Rückschlüsse auf die Kräfte, welche auf die Anker wirken. Im Zertifikat werden die an die Anker weitergeleiteten Kräfte ausgewiesen. Hersteller und Planer müssen nun auf Anker zurückgreifen, welche die ausgewiesenen Kräfte aufnehmen können. Die Anker werden bewusst nicht in die Tests integriert, weil der Untergrund eine grosse Rolle spielt. Es kommt auf die vor Ort herrschenden Bodenverhältnisse an. Die Zertifikate werden

aber ebenfalls vom Bundesamt für Umwelt ausgestellt.

#### Weltweit einzigartige Testanlage

Das besondere an der Anlage in Walenstadt ist, und das war damals weltweit einzigartig, dass man die Barrieren an einer senkrechten Felswand montieren kann. Man macht dies in einem Winkel von etwa 30 Grad zur Horizontalen. Den Stein lässt man vertikal in das montierte Netz fallen. Der vertikale Fall hat den Vorteil, dass nur die Schwerkraft diesen beeinflusst. Dadurch erhält man eine sehr hohe Zielgenauigkeit. Man kann die vorgesehene Stelle auf weniger als zehn Zentimeter genau treffen. Ebenfalls lässt sich so die exakte Energie berechnen. Steinschlag wird typischerweise über seine Energie quantifiziert. Aus der Masse und der Geschwindigkeit des Steins ergibt sich dessen kinetische Energie. In Walenstadt wird in der Regel eine Richtgeschwindigkeit von 25 Metern in der Sekunde verwendet. Das entspricht 90 Kilometer/Stunde. Für die verschiedenen Energien wird dann die Masse des Fallkörpers variiert. Das Spektrum reicht von ein paar hundert Kilo bis zu 16 Tonnen. Die Versuchskörper können aus einer Höhe von 63 Metern fallen gelassen werden. Um die geforderten 90 Kilometer/Stunde zu ▶



erreichen, ist allerdings nur eine Höhe von 32 Metern notwendig. Auf dem Boden ist zusätzlich ein Stahlrahmen mit einer Fläche von 4 x 4 Metern montiert. Hier werden nur die Netze eingehängt. Mit einer Kugel (800 Kilogramm) wird nun das Netz selber getestet. Die Kugel ist zusätzlich mit Geschwindigkeitssensoren bestückt. So erhalten die Forschenden Informationen über die Verzögerung, den maximalen Bremsweg und die vernichtete Energie bzw. die verbleibende Restenergie. Mit dem Stahlrahmen können Netze und einzelne Netzkomponenten geprüft werden.

#### Wie werden Galerien sicherer?

Ebenfalls wurde eine Beton-Galerie im Massstab 1:2 aufgebaut, da in der letzten Zeit bei Grossereignissen auch vermehrt Galeriedurchschläge beobachtet werden konnten. Ein aktuelles Projekt: Mit dem Versuchsstand wird die Wirkungsweise der Eindeckung der Galerie im Ereignisfall getestet. Gesucht werden alternative Materialien, die anstelle von typischem Kies verwendet werden können und mit welcher anfallende Energie besser verteilt werden kann. Als Alternative hat sich die Verwendung des leichten und gewichtsstabilen Baustoffes Glasschotter in hochfesten Modulen der Geobrugg AG bewährt. Damit

können Galerien den neuen Umständen, also vermehrter und intensiverer Steinschlag, kostengünstig und sehr wirksam angepasst werden.

#### Netze wie Kettenhemden

Es gibt verschiedene Netztypen. Einerseits Netze aus Stahlringen, die wie ein Kettenhemd miteinander verbunden sind. Jeder Ring hat immer vier Nachbar-Ringe. Andererseits gibt es Netze, deren Ringe immer sechs Nachbar-Ringe haben. Diese ähneln von der Struktur her eher Bienenwaben. Das Netz wird dann insgesamt schwerer und dichter – hat aber bei gleicher Grösse auch mehr Kapazität. Weiter werden Diagonalseil-Netze eingesetzt. Die Seile, welche diagonal verlegt werden, sind an den Kreuzungspunkten mit speziellen Klemmen verbunden. Dann gibt es Netze, die wie ein Maschendrahtzaun (Chain-Link) aufgebaut sind. Sie sind für kleinere Steinschlagereignisse gedacht. Gemeinsam ist diesen Netztypen, dass sie relativ kostengünstig zu produzieren sind, jedoch eine sehr hohe Aufnahmekapazität besitzen. In der Praxis spielt auch die Höhe des Netzes eine entscheidende Rolle, da bei Steinschlagereignissen die Steine ja aufspringen. Dafür wird ein Ereignis x-mal simuliert. Durch statistische Normalverteilung erhält man den

wahrscheinlichsten Weg des Steins und kann aufgrund dieses Resultates den optimalen Standort und die Höhe eines Steinschlagernetzes planen. Da die praktischen Tests in der Versuchsanlage Lochezen sehr teuer sind (>60.000 Franken pro System), gibt es Bestrebungen, verschiedene Elemente in einer ersten Phase elektronisch zu rechnen. Vor zehn Jahren begann ein Forschungsprojekt, an dem Axel Volkwein, der heutige Leiter im Bereich Steinschlag des WSL, massgeblich beteiligt war, dessen Ziel die Entwicklung eines ausgereiften Simulationsprogrammes ist. Mit dieser Software kann ein optimales Netz generiert werden. Die Simulationsergebnisse aus der Software können mit den realen Ergebnissen aus dem Praxistest verglichen werden. Die Simulation kann so optimiert werden. Das führt zu Resultaten mit einer Genauigkeit von rund 15 Prozent.

#### Hangmuren als Gefahr für Infrastrukturen

Häufigere Starkniederschläge führen zu mehr Hangmuren. Davon sind nicht nur steile Hänge in den Alpen betroffen, sondern auch weniger geneigte Hänge im Schweizer Mittelland, im Jura oder in den Voralpen. Da auch Hangmuren oftmals grosse Schäden an der Infrastruktur und ▶



an den Wohnbauten hinterlassen, waren bis anhin grossflächige Sicherheitsverbauungen notwendig, insbesondere von Stützmauern und Schutzwänden.

Hangmuren können mit Schneeblettern verglichen werden. Wenn ein Hang sehr stark beregnet wird, kann das Erdreich abreißen und sich Richtung Tal bewegen. Geomorphologisch sind Hangmuren schwierig zu definieren. Rutscht die Erde en bloc, so spricht man von einer Sackung oder von einem Hangrutsch, wenn die Rutschung an Geschwindigkeit aufnimmt und eine grössere Distanz zurücklegt, spricht man eher von einer Hangmure. Allerdings gehen hier auch unter Fachleuten die Definitionen auseinander. Durch diese Umstände bedingt, machte man sich bei der WSL auf die Suche nach einem Testgelände, welches spezielle Versuche im Bereich Hangmuren zulassen würde. Dank Partnern aus der Industrie (Geobrugg AG, Geotest, Jura Cement) wurde man im aargauischen Veltheim fündig. Die Anlage ist seit dem letzten Jahr in Betrieb. Der Hang ist etwa 30 Grad geneigt. Das Oberflächenmaterial wurde bis auf den Fels abgetragen. Der Testhang ist rund 40 Meter lang, kann aber bei Bedarf auf bis zu 130 Meter verlängert werden. So ist quasi eine Rinne entstanden. Oben am Hang ist ein Behälter angebracht, der Platz für 60 Kubikmeter oder etwa 120 Tonnen Material bietet. Die untere Hälfte des Behälters ist mit einer Klappe ausgerüstet, die sich öffnen lässt und aus dem sich dann das Materialgemisch auf den Hang ergiesst. Mit einer Geschwindigkeit von etwa 10 Metern pro Sekunde (entspricht 36 Kilometer/

Stunde) fliesst das Materialgemisch den Hang hinunter.

In der Anlage in Veltheim möchten die WSL und ihre Partner mehr über das Auslösen und Verhalten von Hangmuren in Erfahrung bringen. Das betrifft Fragen wie: Was passiert in einer Hangmure? Weshalb und wie schnell fliesst eine solche Hangmure? Wann fliesst eine Hangmure und wann bleibt sie stehen? Bildet sich vorne eine Front aus? Hier geht es in erster Linie um den Prozess der Hangmure. Mit Lasern entlang des Testhanges und Sensoren für Fliess- und Anpralldruck sowie Geschwindigkeitskameras werden die nötigen Daten gesammelt, um diesen Fragen auf den Grund zu gehen. Die gewonnenen Daten können dann wieder für die Entwicklung von Simulationsprogrammen verwendet werden. Der zweite Forschungsschwerpunkt ist der Protektion gewidmet. Deshalb wurden in Veltheim bereits Barrieren installiert. Es werden die Kräfte gemessen, mit welcher eine Hangmure auf eine Schutzverbauung trifft. Man erhält Auskunft darüber, wie kleinschichtig ein Netz beschaffen sein muss, dass es das Material zurückhält oder wie sich die Wartung und Instandstellung einer Schutzverbauung gestaltet. Das Ziel der Entwicklungs- und Forschungsarbeit ist es, Schutznetze so zu dimensionieren, dass diese einerseits wirksam und andererseits kostengünstig in der Herstellung sind.

#### Das Fliessverhalten ändert sich

Eine steilere Anlage, um Muren und Hangrutsche zu testen, befindet sich bei St. Léonard im Wallis. Der Hang in

St. Léonard, der ebenfalls von der WSL gemeinsam mit dem Industriepartner Geobrugg AG betrieben wird, ist mit 50 Grad Neigung wesentlich steiler als sein Gegenpart in Veltheim. Im Unterschied zu Veltheim gibt es in St. Léonard keine Rinne, sondern eine freie Felsfläche. Dies entspricht auch eher den Begebenheiten in der Natur. Trotzdem konnte man in Tests beobachten, dass das Material bei einer Hangmure nicht sonderlich zur Seite ausbricht, sich also quasi wie in einem Kanal abwärts bewegt. Das Material, so die Erkenntnisse der WSL, hat schlicht keine Zeit zur Seite auszubrechen, denn es bewegt sich zu schnell vorwärts. Wird der Hang allerdings flacher, ist auch die Tendenz des Materials, sich vermehrt in die Breite zu bewegen, zu beobachten. In St. Léonard haben die Forschenden die Erkenntnis gewonnen, dass sich mit der Steilheit des Hanges auch das Fliessverhalten der Mure ändert. Während man bei einem 30-Grad-Hang wie in Veltheim noch von einem Fliessen sprechen kann, stürzt das Material bei 50 Grad Hangneigung eher. In St. Léonard werden denn auch vermehrt Daten zu den Verbauungssystemen gewonnen und weniger über den Prozess von Hangmuren. Eine Erkenntnis, die man in Bezug auf die Muren-Barrieren aus den Tests in St. Léonard gewonnen hat, ist, dass wenn man zwischen Netz und Hang eine kurze Berme einbringt, die Einschlagkräfte bereits enorm reduziert werden. ■

## Zertifizierte Unternehmen für Ankertechnik und Ankermörtel:

**PFEIFER**  
ISOFER

**favo**

**MARMORAN**

**ROFIX**  
Bauen mit System

**FIXKIT**

**weber**

**maxit**

**stahlton avt**