

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 114 (2023)
Heft: 3

Artikel: Studie zu Erdrutschen bei Staumauern = Dangers liés aux glissements de terrain
Autor: Vogel, Benedikt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1053152>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.05.2025

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



Das Dorf Erto war von der Katastrophe von Vajont unmittelbar betroffen.

Studie zu Erdrutschen bei Staumauern

Sicherheit von Stauanlagen | Die Forschung zur Sicherheit von Stauanlagen ist eine Daueraufgabe. Eine neue Studie der ETH Zürich hat nun untersucht, ob Erdrutsche als Folge von Erdbeben zu einem Überströmen von Staumauern und einer Gefährdung der talabwärts lebenden Menschen führen könnten. Die Ergebnisse der Fallstudie an einer Tessiner Stauanlage sind erfreulich.

BENEDIKT VOGEL

Wer die Gefahren der Bergwelt unterschätzt, bezahlt mitunter ein hohes Lehrgeld. Das gilt auch für die Erbauer von Stauanlagen in den Alpen. Beim Bau des Damms für den Mattmarkstausee im Walliser Saastal forderte im August 1965 ein Abbruch von Teilen des Allalingletschers das Leben von 88 Arbeitern. Noch verheerender war die Katastrophe, die sich am 9. Oktober 1963 im Nordosten Italiens beim Vajont-Stausee ereignet hatte: Bei einem Erdrutsch stürzten 270 Mio. Kubikmeter Gestein – fast das Doppelte des Stauvolumens – in den gefüll-

ten Stausee. Eine gewaltige Flutwelle schwappte über den Staudamm und riss talabwärts im Städtchen Longarone und weiteren Ortschaften rund 2000 Menschen in den Tod, ohne dass die 260 m hohe Staumauer erheblichen Schaden nahm.

Mögliche Gefahr durch Erdbeben

Spätestens seit diesem Unglück sind die Gefahren bekannt, die von Erdrutschen bei Stauseen ausgehen. Um solche Katastrophen zu vermeiden, werden heute Gefahrenstellen überwacht. Dazu gehören sogenannte Kriech-

hänge: Das sind Erdmassen aus Lockergestein, die sich pro Jahr wenige Zentimeter bis mehrere Meter talwärts bewegen. Gefährlich wird es, wenn sich ein Kriechhang in einen Erdrutsch verwandelt und das Gestein schlagartig in den Stausee stürzt und dort eine Flutwelle erzeugt. Entlang der gut 200 Schweizer Stauseen gibt es nach Auskunft von BFE-Fachpersonen rund ein Dutzend Kriechhänge von nennenswerter Grösse. Diese werden heute mit erd- und satellitengestützten Monitoringsystemen überwacht, um gefährliche Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Zudem wird die Gefahr,

die von den Kriechhängen für die Sicherheit der Stauanlagen ausgeht, regelmässig durch Fachleute beurteilt. Hierzu werden auch Berechnungen an geotechnischen und hydraulischen Modellen verwendet.

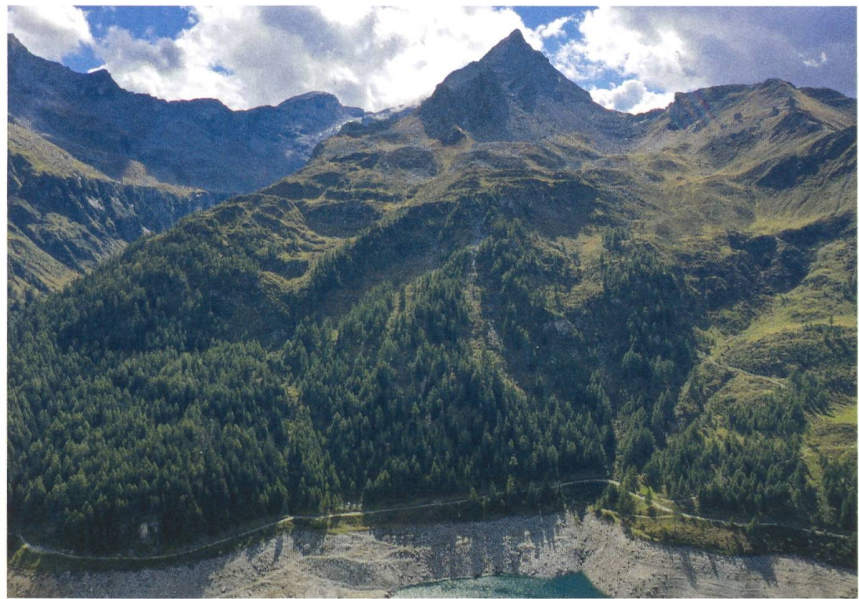
In den letzten Jahren richteten Sicherheitsverantwortliche ihre Aufmerksamkeit zunehmend auf die möglichen Gefahren, die von Erdbeben für Stauanlagen ausgehen. Vor gut fünf Jahren initiierte Markus Schwager, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Stauanlagensicherheit, zusammen mit Alexander Puzrin, Professor am Institut für Geotechnik der ETH Zürich, eine wissenschaftliche Untersuchung zum Thema. Seither ging Bauingenieur Marc Kohler in seiner Doktorarbeit der Frage nach, ob Erdbeben das Gefahrenpotenzial von Kriechhängen vergrössern und ggf. eine bisher unterschätzte Gefahrenquelle für Flutwellen darstellen. Die Ergebnisse des vom BFE unterstützten Forschungsprojekts liegen seit Frühjahr 2023 vor.

Hänge kriechen talwärts

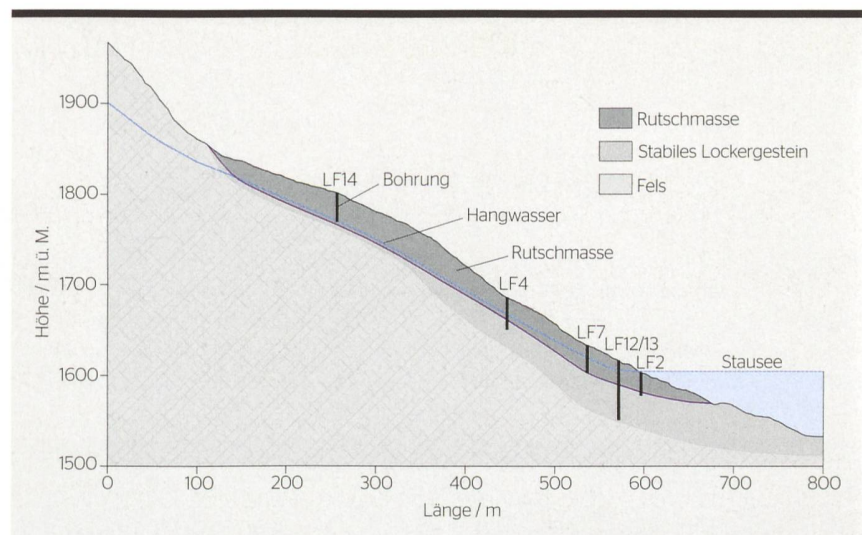
Der zentrale Befund der Studie: Es deutet nichts darauf hin, dass die Gefährdung durch Erdbeben bislang unterschätzt wird. Eher gilt das Gegenteil: Für den Kriechhang an der Flanke des Tessiner Luzzone-Stausees, der im Zentrum der Studie stand, ist die Gefahr sogar geringer als bisher angenommen. «Werden konventionelle Berechnungsverfahren auf Kriechhänge angewandt, ist bereits bei Erdbeben mittlerer Stärke von einer grossen Gefährdung durch Flutwellen auszugehen. Wir konnten jedoch zeigen, dass auch für starke Erdbeben solch ein Szenario unwahrscheinlich ist», fasst Kohler das Hauptergebnis seiner Studie zusammen.

Die Einschätzung des ETH-Wissenschaftlers beruht auf Computersimulationen sowie Feld- und Laboruntersuchungen. Er entwickelte ein Modell, welches das Verhalten von Kriechhängen im Erdbebenfall und die dafür relevanten Einflussgrössen abbildet.

Wurde für die Modellierung von Kriechhängen früher die Newmark-Methode eingesetzt, die die Erdmasse eines Hangs als festen Block beschreibt, der auf einer schiefen Ebene nach und nach abrutscht, wird heute die deutlich genauere «Material Point Method» (MPM) herangezogen. Die



Die Drohnenaufnahme zeigt in der Mitte den Kriechhang Marsc beim Luzzone-Stausee, der im ETH-Forschungsprojekt beispielhaft untersucht wurde.

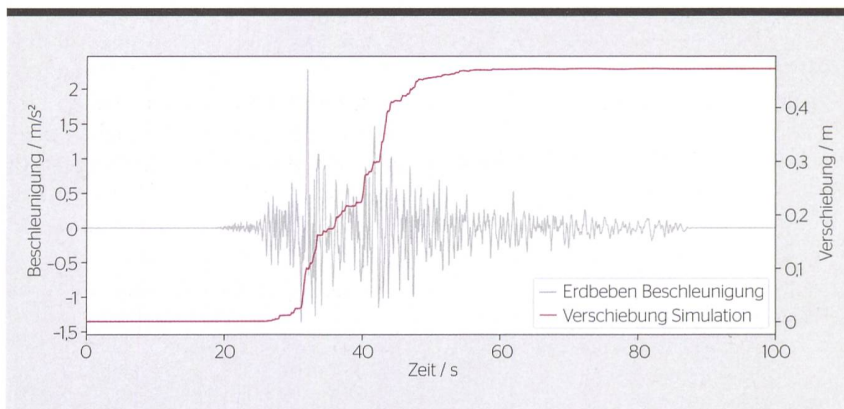


Schnittbild durch den Kriechhang an der Talflanke des Luzzone-Stausees. Dargestellt sind sechs von insgesamt zwölf Bohrungen, mit denen Fest- und Lockergestein aus dem Kriechhang entnommen wurde. Die Scherzone liegt grösstenteils in rund 20 Metern Tiefe, stellenweise auch über 30 Meter.

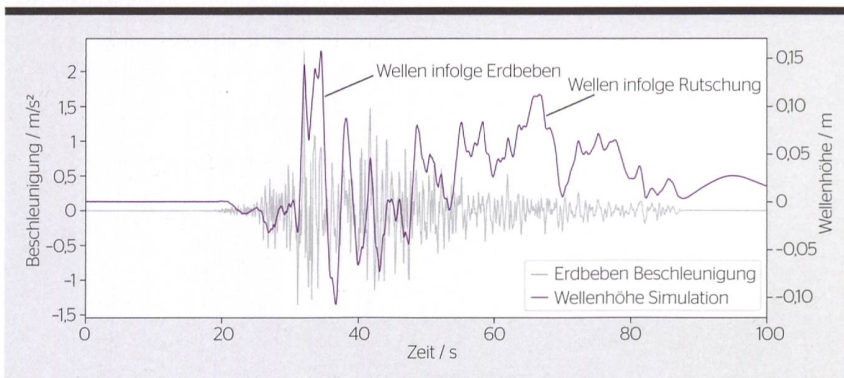
Rutschmasse, die stabile Unterlage sowie das Wasser des Stausees werden dabei in Millionen kleiner Elemente (sogenannte «Materialpunkte») zerlegt. Jedem dieser Elemente wird ein bestimmtes Materialverhalten zugeordnet, abhängig davon, ob es Fest- oder Lockergestein oder Wasser repräsentieren soll. Mit dem Modell lässt sich nun simulieren, wie sich der Hang unter bestimmten äusseren Einflüssen wie Regen oder eben Erdbeben bewegt.

Von besonderem Interesse war die sogenannte Scherzone: Das ist jene

geneigte Fläche, über die der Hang langsam talwärts «kriecht» – und die sich im ungünstigen Fall zu einer Gleitfläche für einen Erdrutsch verwandelt. Scherzonen haben unterschiedliche Materialzusammensetzungen, sind oft aber charakterisiert durch die feinen Lockergesteinsfraktionen aus Ton und Silt, welche eine Rutschbewegung begünstigen. Neben dem Material ist der Wasserdruck in der Scherzone die zweite wichtige Einflussgrösse: In regenreichen Zeiten bewegen sich Kriechhänge merklich schneller.



Die auf Berechnungen von Marc Kohler basierende Grafik zeigt, dass sich der Kriechhang am Luzzzone-Stausee unter dem Einfluss des starken Chichi-Erdbebens von 1999 in Zentral-Taiwan (Magnitude 7,3) um rund 50 cm verschieben würde.



Wellenhöhe als Folge von Rutschungen, die beim Kriechhang am Luzzzone-Stausee durch ein Erdbeben von der Stärke des Chichi-Erdbebens (Taiwan 1999) hervorgerufen würden: Es wären Wellen mit einer Höhe von nicht mehr als 15 cm zu erwarten. Interessant ist dabei, dass die Wellen, die durch das Erdbeben an sich hervorgerufen werden (Sekunde 30 bis 50) höher sind als die Wellen infolge des Hangrutsches (Sekunde 60 bis 70).



Kriechhänge gibt es nicht nur bei Stauseen. Das aktuell wohl bekannteste Beispiel ist die Bündner Ortschaft Brienz, die langsam talwärts rutscht. In früheren Jahren waren es einige Zentimeter pro Jahr, in jüngster Zeit ist es mehr als ein Meter pro Jahr. Zur Rettung des Dorfes werden nun Stabilisierungsmassnahmen durchgeführt.

Scherbewegungen im Laborgerät

Was im Innern eines Kriechhanges abläuft, lässt sich in der freien Natur schwer beobachten. Aber die Veränderungen in einer Scherzone lassen sich im Labor mit einem speziellen Gerät experimentell nachvollziehen: Das Ringschergerät imitiert den Vorgang des Scherens, der in der Natur als lineare Bewegung abläuft, mit einer kreisförmigen Bewegung. Dabei wird ein ringförmiges Volumen mit der Materialprobe gefüllt und anschließend die untere Hälfte der Materialprobe durch eine Drehbewegung gegenüber der oberen Hälfte der Materialprobe verschoben.

Marc Kohler hat – gemeinsam mit einem Team des Instituts für Geotechnik der ETH Zürich – ein besonders leistungsfähiges Ringschergerät entwickelt. Mit ihm kann man besonders schnelle Scherbewegungen, wie sie bei Erdbeben auftreten, untersuchen. Wurden mit früheren Geräten langsame Schergeschwindigkeiten (0,01 bis 100 mm/Minute) erforscht, ermöglicht die neue Apparatur die Untersuchung von schnellen Geschwindigkeiten bis zu 1 m/s. Mit diesem Gerät untersuchte Kohler Material aus der Scherzone eines Kriechhanges an der Flanke des Luzzzone-Stausees am oberen Ende des Tessiner Bleniotals. Das feinkörnige Material – ein Gemisch hauptsächlich aus Silt und Sand – wurde mithilfe von Kernbohrungen aus der Scherzone entnommen.

Keine generelle Entwarnung

Die Laboruntersuchung und die Modellierungen mit den Proben aus Luzzzone zeigen: Eine höhere Schergeschwindigkeit führt nicht etwa – wie oft befürchtet – zu einer Abnahme des Widerstandes, sondern zu einer deutlichen Zunahme. Dies hat zur Folge, dass bei starken Erdbeben (und der damit verbundenen höheren Kriechgeschwindigkeit) eine Art automatischer Bremsmechanismus wirksam wird, der die Rutschung schnell in den Ursprungszustand einer sehr langsamen Bewegung zurückführt. «Die Gefahr, die von Erdbeben ausgeht, ist damit tendenziell geringer als bisher schon angenommen», sagt Marc Kohler. Diese Aussage beziehe sich auf den untersuchten Kriechhang am Luzzzone-

Stausee, könnte tendenziell aber auch für viele andere, ähnlich aufgebaute Hänge gelten, betont der Wissenschaftler.

Alexander Puzrin, der die Doktorarbeit von Marc Kohler betreut, betont allerdings, die Erkenntnisse der neuen Studie dürften nicht als allgemeine Entwarnung verstanden werden. «Die Erkenntnisse zur Rutschung in Luzzone geben den aktuellen Wissenstand wieder. Geotechnische Problemstellungen, wie die einer alpinen Rutschung, sind äusserst komplex. Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit beruht daher auf diversen Vereinfachungen und unterliegt grossen Unsicherheiten», sagt Puzrin. In künftigen Forschungsprojekten sollen unter anderem flache Hänge mit einer Scherzone aus feinem Tonmaterial

genauer untersucht werden, da solche Materialien bei höheren Schergeschwindigkeiten dazu tendieren, Widerstand zu verlieren.

Vergleich mit starken Erdbeben

Im Fall des Luzzzone-Stausees zeigen die Messungen der letzten Jahre, dass gemessene schwache Erdbeben die Bewegung des Kriechhangs nicht beschleunigt haben. Selbst von einem für die Schweiz ungewöhnlich starken Erdbeben ist laut Kohler gemäss aktuellem Wissensstand keine Katastrophe zu erwarten. Das zeigen Modellrechnungen, bei denen angenommen wurde, dass die Erde im Bleniotal so stark beben würde wie 2016 beim Norcia-Erdbeben in Italien (Magnitude 6,6) oder 1999 beim Chichi-Erdbeben in Zentral-Taiwan (Magni-

tude 7,3). In beiden Fällen wäre der Kriechhang gemäss Computersimulation nicht mehr als einen Meter talwärts gerutscht. Und die Wellen, die im Stausee durch das Erdbeben bzw. das abrutschende Lockergestein hervorgerufen würden, hätten nicht die Gewalt, um eine nennenswerte Zerstörung hervorzurufen.

Autor

Dr. **Benedikt Vogel** ist Wissenschaftsjournalist.
→ Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin
→ vogel@vogel-komm.ch

Auskünfte zu dem Projekt erteilen BFE-Projektleiter Philipp Oberender (philipp.oberender@bfe.admin.ch) und Markus Schwager (markus.schwager@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Stauanlagensicherheit.

Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Wasserkraft finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-wasser.



Schienenverteiler-Systeme SIVACON 8PS

Energie für Parkhäuser: sicher und skalierbar

SIVACON 8PS sind dort im Einsatz, wo eine zuverlässige, flexible und wirtschaftliche Energieverteilung gewährleistet werden soll und ermöglichen mithilfe der innovativen powerline-Technologie, dass Strom und Daten denselben Weg nehmen. In Parkhäusern oder der Tiefgarage eines Hochhauses unterstützen die Systeme BD01 und BD2 eine sichere Versorgung der Ladeinfrastruktur mit hoher Erweiterungsfähigkeit. Energiedaten können einfach erfasst und an übergreifende Systeme weitergegeben werden. SIVACON 8PS: eine innovative Alternative zu Kabel für die eMobility.

siemens.ch/smartinfrastructure

Kostenloses
SIVACON 8PS-
Webinar!



SIEMENS

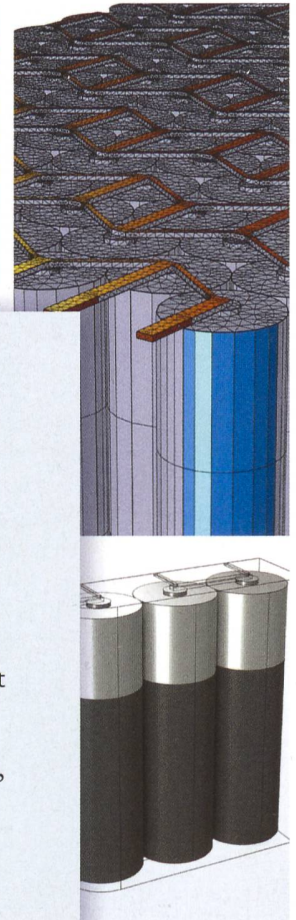
The COMSOL logo is located in the top left corner of the advertisement. It consists of a small square icon followed by the word "COMSOL" in a sans-serif font.

Batteriesysteme designen

mit COMSOL Multiphysics®

Multiphysikalische Simulation unterstützt die Entwicklung von innovativen Batterietechnologien. Sie erhöht das Verständnis für Mechanismen, die sich auf Betrieb, Sicherheit und Haltbarkeit auswirken. Virtuelle Experimente auf der Grundlage von multiphysikalischen Modellen, von der detaillierten Zellstruktur bis hin zum Akkupack, helfen Ihnen, genaue Vorhersagen über die reale Akkuleistung zu treffen.

» comsol.com/feature/battery-innovation

The main image of the Fronius advertisement shows a man in a grey t-shirt standing next to a white Fronius GEN24 PLUS inverter mounted on a wall. The man is looking towards the camera with a slight smile. The background is a plain wall with some greenery visible on the left.

Designed to empower.

The Fronius logo is located in the top right corner of the advertisement. It features the word "Fronius" in a stylized, italicized font inside a red oval.

Fronius
GEN24 PLUS

www.fronius.ch/gen24-wechselrichter

Bereit für die private Energiewende: Mit unserem Wechselrichter Fronius GEN24 Plus als Herz der privaten PV-Anlage produzieren Haushalte ihre eigene Energie flexibel, nachhaltig und günstig. Der Hybrid-Wechselrichter ermöglicht sogar die Nutzung eines Batteriespeichers – und damit die Energieselbstversorgung. **Volle Sonnenkraft für die private Energiewende mit dem Fronius GEN24 Plus. Designed to empower.**



Le village d'Erto a été directement touché par la catastrophe de Vajont.

Dangers liés aux glissements de terrain

Sécurité des barrages | Des travaux de recherche sont régulièrement dédiés à la sécurité des barrages. Une étude de l'ETHZ a récemment cherché à savoir si des glissements de terrain consécutifs à des tremblements de terre étaient à même d'entraîner le débordement des lacs de retenue et de mettre ainsi en danger les personnes vivant en aval. Les résultats de l'étude de cas réalisée sur un barrage tessinois sont réjouissants.

BENEDIKT VOGEL

Quiconque sous-estime les dangers de la montagne peut en payer le prix fort. Il en va de même pour les constructeurs de barrages dans les Alpes. Lors de la construction du barrage de Mattmark, dans la vallée de Saas, en Valais, l'effondrement d'une partie du glacier de l'Allalin a coûté la vie à 88 ouvriers en août 1965. La catastrophe qui s'est produite le 9 octobre 1963 dans le nord-est de l'Italie, près du barrage de Vajont, s'est avérée encore plus dévastatrice : lors d'un glissement de terrain, 270 millions de mètres cubes de roches – soit pratiquement le double du

volume du lac de retenue – sont tombés dans ce dernier alors qu'il était plein. Un énorme raz-de-marée a déferlé sur le barrage, provoquant la mort d'environ 2000 personnes en aval, dans la petite ville de Longarone et dans d'autres localités, sans que le barrage de 260 m de haut ne subisse de dommages considérables.

Risques potentiels liés aux tremblements de terre

Cette tragédie a définitivement mis en évidence les dangers que représentent les glissements de terrain près des lacs de barrage. Aujourd'hui, afin d'éviter

de telles catastrophes, les zones dangereuses sont surveillées. Parmi celles-ci, les versants dits rampants : il s'agit de masses de terre constituées de roches meubles qui se déplacent vers l'aval de quelques centimètres à plusieurs mètres par an. La situation devient dangereuse lorsqu'un versant rampant se transforme en glissement de terrain et que les roches tombent brusquement dans le lac de retenue, provoquant ainsi un raz-de-marée. Selon les spécialistes de l'OFEN, il existe une douzaine de versants rampants de taille notable le long des quelque 200 lacs de retenue suisses.

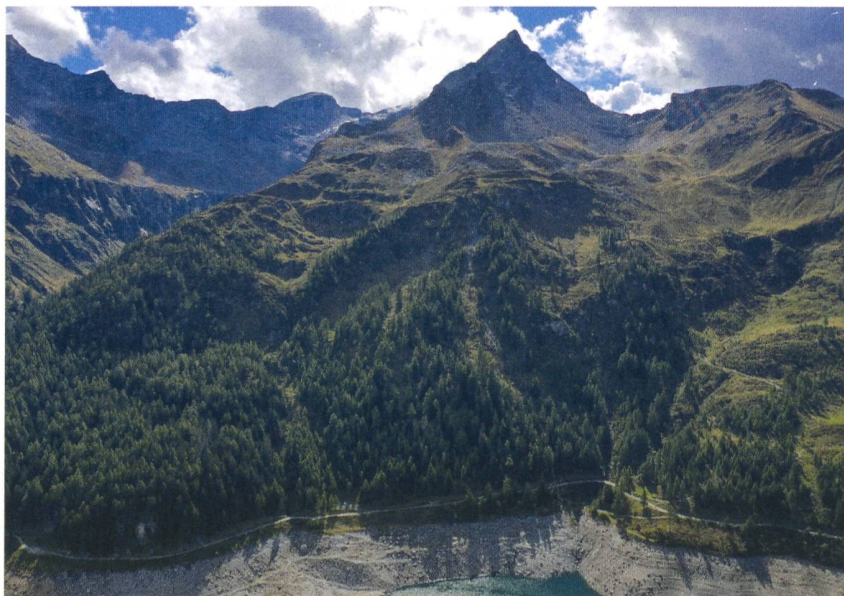
Ceux-ci sont actuellement surveillés par des systèmes de monitoring – ici-bas et via des satellites – afin de détecter à temps toute évolution dangereuse. De plus, le danger que représentent les versants rampants pour la sécurité des barrages est régulièrement évalué par des spécialistes. Pour ce faire, des calculs basés sur des modèles géotechniques et hydrauliques sont également utilisés.

Au cours des dernières années, les responsables de la sécurité ont accordé une attention croissante aux dangers potentiels que représentent les tremblements de terre pour les barrages. Il y a un peu plus de cinq ans, Markus Schwager, responsable du programme de recherche de l'OFEN sur la sécurité des barrages, a lancé une étude scientifique consacrée à ce sujet avec Alexander Puzrin, professeur à l'Institut de géotechnique de l'ETHZ. Depuis, l'ingénieur civil Marc Kohler s'est penché, dans le cadre de sa thèse de doctorat, sur la question de savoir si les tremblements de terre augmentent le potentiel de danger des versants rampants et représentent, le cas échéant, une source de risque de raz-de-marée jusqu'ici sous-estimée. Les résultats du projet de recherche soutenu par l'OFEN sont disponibles depuis le printemps 2023.

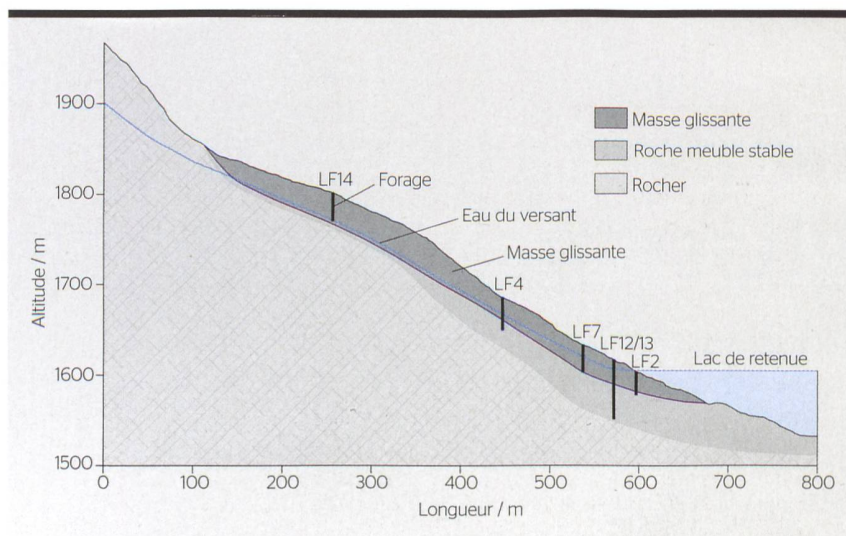
Les versants rampent vers la vallée

La principale conclusion de l'étude: rien n'indique que le risque de tremblement de terre ait été sous-estimé jusqu'à présent. Il s'agit plutôt du contraire: en ce qui concerne le versant rampant sur le flanc du lac de retenue du barrage tessinois de Luzzone – le sujet principal de l'étude –, le danger est même moins important qu'on ne le pensait. «En appliquant les méthodes de calcul conventionnelles aux versants rampants, les résultats indiqueraient que les raz-de-marée représentent déjà un grand danger en cas de séismes d'intensité moyenne. Nous avons toutefois pu montrer qu'un tel scénario est improbable, et ce, même en cas de séismes de forte magnitude», explique Marc Kohler en résumant le principal résultat de son étude.

L'évaluation du scientifique de l'ETHZ se base sur des simulations informatiques ainsi que sur des études



Cette photo prise par un drone montre, au centre, le versant rampant Marsc, près du lac de retenue du barrage de Luzzone, qui a été étudié à titre d'exemple dans le projet de recherche de l'ETHZ.

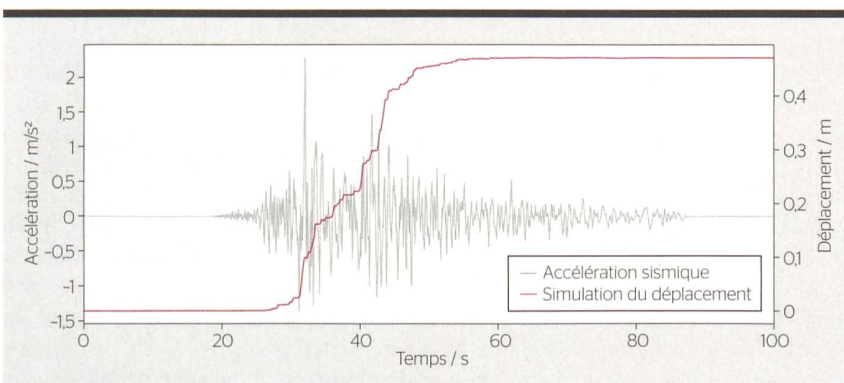


Vue en coupe du versant rampant sur le flanc de la vallée du lac de retenue de Luzzone. Sont représentés six des douze forages qui ont permis de prélever des roches solides et meubles du versant rampant. La zone de cisaillement se situe en grande partie à environ 20 m de profondeur, voire à plus de 30 m par endroits.

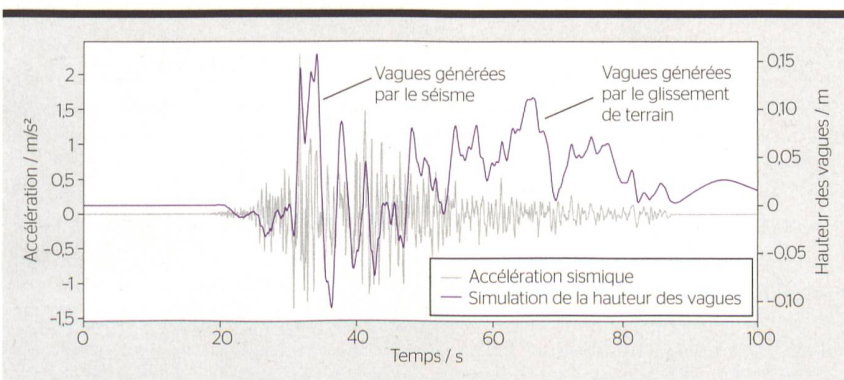
réalisées sur le terrain et en laboratoire. Il a conçu un modèle qui représente le comportement des versants rampants en cas de séisme ainsi que les facteurs d'influence importants.

Sil la méthode de Newmark, qui décrit la masse de terre d'un versant comme un bloc solide glissant progressivement sur un plan incliné, était utilisée auparavant pour modéliser les versants rampants, on applique aujourd'hui plutôt la «Material Point Method» (MPM), nettement plus précise. La masse glissante,

le support stable ainsi que l'eau du lac de retenue sont alors décomposés en millions de petits éléments (appelés «points matériels»). Un comportement matériel spécifique est attribué à chacun de ces éléments, en fonction du matériau qu'il doit représenter: roche solide, roche meuble ou eau. Le modèle permet alors de simuler comment le versant rampant se déplace sous certaines influences extérieures telles que la pluie ou, justement, les tremblements de terre.



Ce graphique, basé sur des calculs effectués par Marc Kohler, montre que le versant rampart du lac de retenue de Luzzone se déplacerait d'environ 50 cm sous l'effet du fort tremblement de terre de Chichi de 1999, dans le centre de Taiwan (magnitude de 7,3).



Hauteur des vagues résultant d'un glissement de terrain provoqué par un séisme de la magnitude de celui de Chichi (Taiwan, 1999) au niveau du versant rampart à proximité du barrage de Luzzone: il faudrait s'attendre à des vagues d'une hauteur ne dépassant pas 15 cm. Il est intéressant de noter que les vagues provoquées par le tremblement de terre en lui-même (secondes 30 à 50) sont plus hautes que celles dues au glissement de terrain (secondes 60 à 70).



Les versants rampants ne sont pas l'apanage des lacs de retenue. L'exemple le plus connu est celui de la localité grisonne de Brienz, qui glisse lentement vers la vallée. S'il était à l'époque question de quelques centimètres par an, il s'agit aujourd'hui de plus d'un mètre par an. Des mesures de stabilisation sont désormais mises en œuvre pour sauver le village.

La zone dite de cisaillement est particulièrement intéressante: il s'agit de la surface inclinée sur laquelle le versant «rampe» lentement vers la vallée – et qui, dans le pire des cas, se transforme en plan glissant pour un glissement de terrain. Les zones de cisaillement présentent différentes compositions de matériaux, mais sont souvent caractérisées par la présence de fines fractions de roches meubles d'argile et de limon, qui favorisent un mouvement de glissement. Outre le matériau, la pression de l'eau dans la zone de cisaillement constitue le second facteur d'influence important: en période de pluie, les versants rampants se déplacent beaucoup plus rapidement.

Mouvements de cisaillement dans un appareil en laboratoire

Ce qui se passe à l'intérieur d'un versant rampart est difficile à observer dans la nature. Toutefois, les changements dans une zone de cisaillement peuvent être reproduits expérimentalement en laboratoire à l'aide d'un dispositif spécial: l'appareil de cisaillement annulaire. Celui-ci imite, par le biais d'un mouvement circulaire, le processus de cisaillement qui se déroule dans la nature sous la forme d'un mouvement linéaire. Pour ce faire, un volume annulaire est rempli avec l'échantillon de matériau, puis la moitié inférieure de l'échantillon est déplacée par rapport à la moitié supérieure via un mouvement de rotation.

Marc Kohler a développé, en collaboration avec une équipe de l'Institut de géotechnique de l'ETHZ, un appareil de cisaillement annulaire particulièrement performant. Celui-ci permet d'étudier des mouvements de cisaillement très rapides, tels que ceux qui se produisent en cas de tremblement de terre. Alors que les vitesses de cisaillement analysées à l'aide des dispositifs antérieurs étaient plutôt lentes (0,01 à 100 mm/min), le nouvel appareil permet quant à lui d'étudier des vitesses pouvant atteindre 1 m/s. Marc Kohler l'a utilisé pour examiner du matériel provenant de la zone de cisaillement d'un versant rampart sur le flanc du lac de retenue du barrage de Luzzone, à l'extrémité supérieure du Val Blenio, au Tessin. Le matériau à grain fin, principalement un mélange de limon et de sable, a été prélevé dans la zone de cisaillement à l'aide de carottages.

Pas de levée générale d'alerte

Les modélisations et l'étude réalisée en laboratoire avec les échantillons prélevés à Luzzzone montrent qu'une vitesse de cisaillement plus élevée n'entraîne pas une diminution de la résistance, comme on le craint souvent, mais une nette augmentation. Ceci a pour conséquence qu'en cas de séisme important (et donc de vitesse de fluage plus élevée), une sorte de mécanisme de freinage automatique entre en action, qui ramène rapidement le glissement à son état initial de mouvement très lent. « Le danger que représentent les tremblements de terre a donc tendance à être moins important que ce que l'on pensait », explique Marc Kohler. Cette affirmation se réfère au versant rampant étudié à proximité du barrage de Luzzzone, mais elle pourrait s'appliquer à de nombreux autres versants de structure similaire, ajoute le chercheur.

Alexander Puzrin, qui dirige la thèse de doctorat de Marc Kohler, souligne toutefois que les conclusions de cette nouvelle étude ne doivent pas être interprétées comme une levée générale d'alerte. « Les conclusions relatives aux

glissements à Luzzzone reflètent l'état actuel des connaissances. Les problèmes géotechniques, tels que les glissements de terrain alpins, sont extrêmement complexes. Le présent travail scientifique repose donc sur diverses simplifications et il en découle de grandes incertitudes », explique-t-il. Dans les futurs projets de recherche, il s'agira notamment d'étudier plus en détail les pentes douces présentant une zone de cisaillement composée de matériaux argileux fins, car ceux-ci ont tendance à perdre de leur résistance à des vitesses de cisaillement plus élevées.

Comparaison avec de forts tremblements de terre

Dans le cas du lac de barrage de Luzzzone, les mesures effectuées ces dernières années montrent que les faibles séismes enregistrés n'ont pas accéléré le mouvement du versant rampant. Selon Marc Kohler, même un tremblement de terre d'une intensité inhabituelle pour la Suisse ne devrait pas, selon l'état actuel des connaissances, provoquer de catastrophe. C'est ce que montrent les modélisations réali-

sées en prenant l'hypothèse d'un séisme dans le Val Blenio d'une magnitude aussi élevée que celle du tremblement de terre de Norcia, en Italie, en 2016 (magnitude de 6,6), ou que celle enregistrée lors du tremblement de terre de Chichi, dans le centre de Taiwan, en 1999 (magnitude de 7,3). Dans les deux cas, selon la simulation informatique, le versant rampant n'aurait pas glissé de plus d'un mètre vers l'aval. Et les vagues, provoquées par le séisme ou le glissement de terrain meuble dans le lac de retenue, ne seraient pas suffisamment violentes pour provoquer des destructions notables.

Auteur

D' **Benedikt Vogel** est journaliste scientifique.
→ Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin
→ vogel@vogel-komm.ch

Des informations sur le projet peuvent être obtenues auprès du responsable de projet de l'OFEN Philipp Oberender (philipp.oberender@bfe.admin.ch) ainsi qu'auprès de Markus Schwager (markus.schwager@bfe.admin.ch), responsable du programme de recherche de l'OFEN sur la sécurité des barrages.

D'autres articles spécialisés à propos des projets de recherche, des projets pilotes et de démonstration ainsi que des projets phares dans le domaine de la force hydraulique sont disponibles sur www.bfe.admin.ch/ec-hydro.



**VSAS
USAT
USAQ**

Interessen verbinden

Das Qualitäts-Label des VSAS



VSAS-certified

Das VSAS-Qualitäts-Label fördert und stärkt die Qualität im Schaltanlagenbau und verschafft entscheidende Marktvorteile.

Um das VSAS-Qualitätslabel zu erhalten werden folgende Kriterien durch eine unabhängige Zertifizierungsstelle überprüft:

▼ Unternehmen	▼ Infrastruktur / Arbeitsmittel
▼ Produkt	▼ Personal
▼ Produktion	▼ Marketing

Wir setzen auf Swissness!

Swissness hat beim VSAS-Qualitätslabel einen grossen Stellenwert. Die nachhaltige Entwicklung unserer Mitglieder ist uns ein grosses Anliegen.

Die Mitgliedsfirmen verbessern sich laufend und auch das Label wird kontinuierlich den Anforderungen angepasst. Der VSAS hat ein starkes Interesse, qualitativ hochstehende Firmen im Verbandsgefüge zu verbinden. Dem VSAS sind die Vernetzung Schweizer Unternehmen und die Förderung qualitativ hochwertiger Produkte aus der Schweiz zentrales Anliegen.



VSAS – Verband Schaltanlagen und Automatik Schweiz
USAT – Union Suisse Automation et Tableaux électriques
USAQ – Unione Svizzera Automazione e Quadri elettrici

Werkhofstrasse 9
CH-2503 Biel

Tel. +41 32 322 85 78
LinkedIn

www.vsas.ch
info@vsas.ch



HITACHI
Inspire the Next

Hitachi Energy en Suisse

Hitachi Energy est un leader technologique mondial qui défend l'urgence d'une transition énergétique propre par l'innovation et la collaboration - vers un avenir neutre en carbone.



Avec environ 3000 employés répartis sur 11 sites en Suisse, l'entreprise poursuit sa longue tradition en introduisant des technologies pour intégrer les énergies renouvelables en collaboration avec ses clients, des partenaires et des universités.

Advancing a sustainable energy future for all

 **Hitachi Energy**