



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

Studie zu Erdbeben bei Staumauern

Sicherheit von Stauanlagen | Die Forschung zur Sicherheit von Stauanlagen ist eine Daueraufgabe. Eine neue Studie der ETH Zürich hat nun untersucht, ob Erdbeben 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 Erdbeben 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 Erdbeben 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 Erdbeben 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

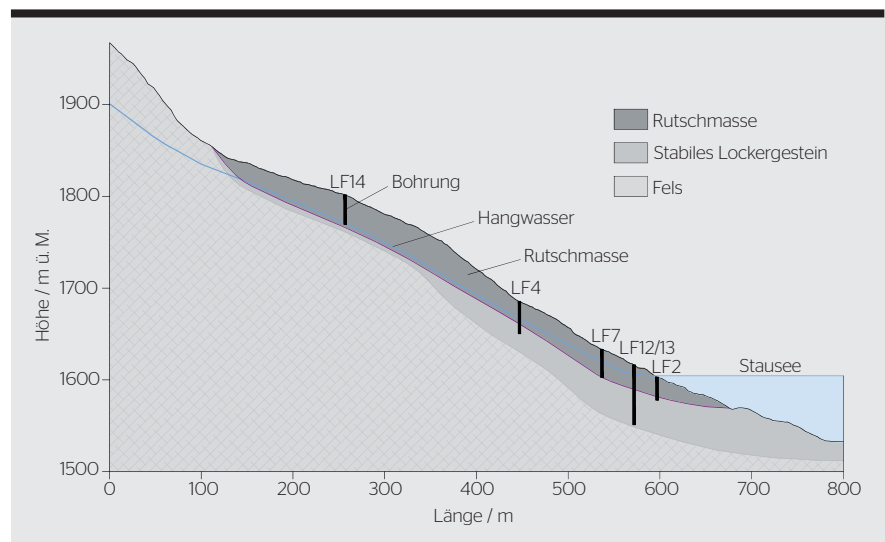
Der zentrale Befund der Studie: Es deutet nichts darauf hin, dass die Gefährdung durch Erdbeben bislang unterschätzt wird. Eher gilt das Gegenteil: Für den Kriechhang an der Flanke des Tessiner Luzzzone-Stausees, der im Zentrum der Studie stand, ist die Gefahr sogar geringer als bisher angenommen. «Werden 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 Luzzzone-Stausee, der im ETH-Forschungsprojekt beispielhaft untersucht wurde.

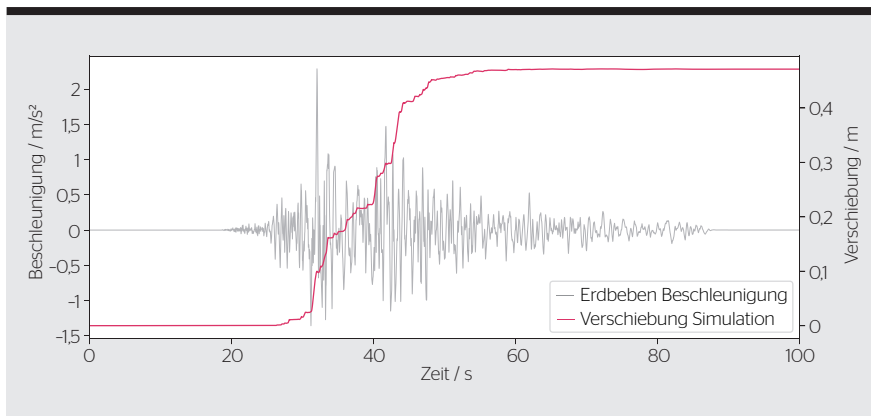


Schnittbild durch den Kriechhang an der Talflanke des Luzzzone-Stausees. Dargestellt sind sechs von insgesamt zwölf Bohrungen, mit denen Fest- und Lockergestein aus dem Kriechhang entnommen wurde. Die Scherzone liegt grösstenteils in rund 20 Metern Tiefe, stellenweise auch über 30 Meter.

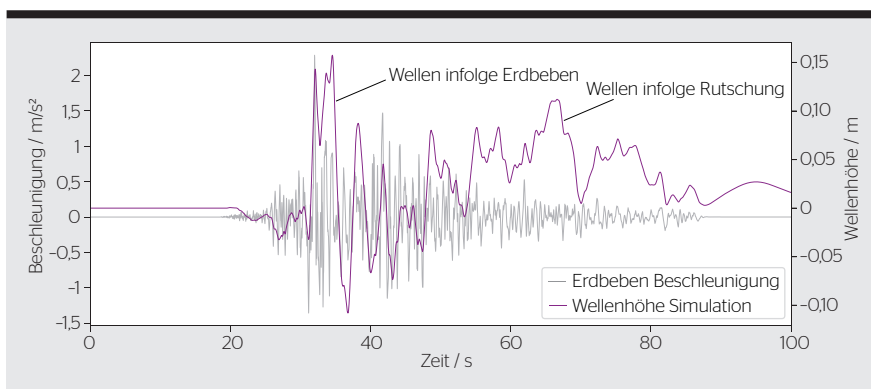
Rutschmasse, die stabile Unterlage sowie das Wasser des Stausees werden dabei in Millionen kleiner Elemente (sogenannte «Materialpunkte») zerlegt. Jedem dieser Elemente wird ein bestimmtes Materialverhalten zugeordnet, abhängig davon, ob es Fest- oder Lockergestein oder Wasser repräsentieren soll. Mit 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 Luzzone-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 Luzzone-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 Luzzone-Stausees am oberen Ende des Tessiner Blenioals. 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 Luzzone 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 Luzzone-

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 Luzzone-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 (Magnitudo 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.



Kostenloses
SIVACON 8PS-
Webinar!



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

SIEMENS