

GEOFOKUS



Entdeckung und Interpretation von „slidequakes“ bei Lockergesteinshangrutschungen

Marco Walter¹ & Manfred Joswig²

Einleitung

Durch den seit Jahrzehnten zu verzeichnenden Klimawandel als auch durch anthropogene Ursachen (z.B. Waldrodung, wachsende Besiedlung von Bergregionen) führen Hanginstabilitäten weltweit in zunehmendem Maße zu menschlichen Opfern sowie hohen wirtschaftlichen und ökologischen Schäden. Gleichzeitig sind die komplexen, interagierenden geologischen, hydrologischen, hydraulischen und bodenmechanischen Prozesse sowie deren äußere Einflüsse (z.B. klimatische Verhältnisse, Erdbeben), die in der Summe zu Hanginstabilitäten führen, derzeit nicht umfassend erforscht.

Die mit dem Klimawandel verbundene Erderwärmung führt zu einem in alpinen Gebieten zu einer Verschiebung des Permafrostbodens in immer größere Höhenlagen und somit zu einer negativen Beeinflussung einst stabiler Boden-zonen. Zum anderen treten immer häufiger extreme Wetterereignisse, z.B. Starkregen, auf, die ebenfalls auf die Stabilität von Berghängen einwirken können.

Die Mehrzahl von Erd- und Hangrutschungen wird tatsächlich durch Starkregenereignisse getriggert. Erdbeben oder Murenabgänge stellen einmalige Vorgänge dar, bei denen Hangbereiche innerhalb kurzer Zeit ihre Stabilität verlieren und sich talabwärts bewegen. Dagegen sind sich langsamer bewegende Hangrutschungen mit Bewegungsraten von wenigen Zentimetern bis Metern pro Jahr deutlich komplexer und meist auch räumlich größere Systeme, die bei einem späteren möglichen Totalversagen der Hangstabilität eine wesentlich größere Bedrohung enthalten.

Um die vielfältigen, teils interagierenden Prozesse komplexer Hangrutschungen, wie sie auch in dieser Studie untersucht wurden, ganzheitlich zu verstehen, müssen multidisziplinäre Ansätze

aus den Bereichen der Geologie, der Hydrologie, der Geotechnik, der Fernerkundung und der Geophysik verfolgt werden.

In der Geophysik kann eine Vielzahl von Methoden zur Bestimmung statischer Eigenschaften und zur Überwachung dynamischer Prozesse angewendet werden. Die hinsichtlich der Untersuchung von Hangrutschungen relevantesten sind dabei die Verfahren der Geoelektrik, der Elektromagnetik, des Georadars, der aktiven Seismik und der passiven Seismik. Diese Studie befasst sich mit der raumzeitlichen Überwachung rutschungsinduzierter Bruchprozesse an Lockergesteinshangrutschungen, sog. „slidequakes“, mit Hilfe optimierter passiver seismischer Verfahren.

Die Möglichkeit der seismischen Erfassung rutschungsinduzierter Bruchprozesse konnte bei Hanginstabilitäten bestehend aus Festgestein (-schutt) in Norwegen (Roth et al. 2005), in den österreichischen Alpen (Brückl & Mertl 2006), in den schweizerischen Alpen (Spillmann et al. 2007) sowie in den französischen Alpen (Helmstetter & Garambois 2010, Levy et al. 2011) plausibel nachgewiesen werden. Im Gegensatz zu diesen Arbeiten bestehen die im Rahmen dieser Studie untersuchten Hanginstabilitäten aus bindigem Lockermaterial. Seismisch erfassbare Hangprozesse im Sinne einer spröden Deformation, die impulshafte Signale hinreichender Energie generieren könnten, konnten daher zu Beginn der Arbeiten nicht zwangsweise erwartet werden. Lediglich die Studien von Gomberg et al. (1995, 2011) belegen die Existenz von Bruchprozessen an der aus Lockermaterial bestehenden Slumgullion-Hangrutschung in Colorado, USA. Aufgrund der Analogie des räumlichen Auftretens der beobachteten Signale zu denen an seismo-tektonischen Plattengrenzen wurde von Gomberg et al. (1995) der Begriff ‚slidequakes‘ etabliert.

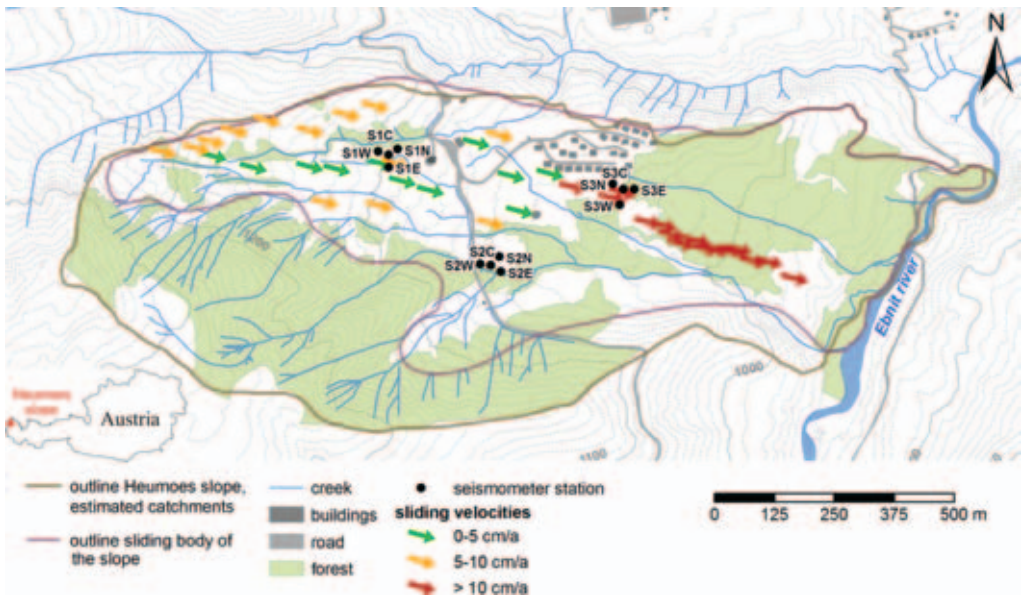


Abb.1: Struktureller Aufbau des Heumöser Hanges, durchschnittliche Bewegungsraten (nach Depenthal & Schmitt 2003) sowie Lokationen der installierten seismischen Kleinarrays des permanenten seismischen Netzwerks

Untersuchungsgebiete

Diese Studie zeigt die Analyse der Generierung von slidequakes an drei verschiedenen Lockergesteins-Hangrutschungen: der Rutschung Slumgullion in Colorado (USA), dem Heumöser Hang im Vorarlberg (Österreich) und dem Schlammstrom in Super-Sauze (Südfrankreich). Die Rutschung Slumgullion befindet sich in den San Juan Mountains in Colorado, USA und besteht im Wesentlichen aus verwitterten Einheiten tertiären Basalts, Rhyolit und Andesit. Der Slumgullion ist ca. 3,9 km lang, ca. 300 m breit und hat eine durchschnittliche Mächtigkeit von 13 m, wodurch sich ein Hangvolumen von ca. $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ ergibt. Der Hang bewegt sich im Mittel mit ca. 0,5 bis 2 cm pro Tag (Fleming et al. 1999). Die Bewegungsraten des Hanges werden im Wesentlichen vom Porenwasserdruck innerhalb des Rutschungskörpers gesteuert, wobei Starkregenereignisse oder größere Schneeschmelzen

zu wesentlich höheren Bewegungsraten führen, die bis zu mehrere Wochen andauern können.

Die seismischen Feldmessungen wurden vom 18. bis 26. August 2009 durchgeführt. Im mittleren Hangbereich des Slumgullions wurde über eine Länge von ca. 450 m ein dichtes seismisches Netzwerk bestehend aus 88 kurzperiodischen 1c-Seismometern installiert (siehe Gomberg et al. 2011 für Details).

Der Heumöser Hang befindet sich ca. 25 km südlich der Stadt Bregenz im Vorarlberg, Österreich (Abb. 1). Die räumliche Ausdehnung des Hanges beläuft sich auf ca. 600 m von Nord nach Süd und ca. 1.800 m von West nach Ost. Der Hang erstreckt sich von ca. 940 m ü. Adria im Osten bis auf ca. 1.360 m ü. Adria im äußersten Westen. Der Rutschungskörper besteht im Wesentlichen aus lehmigem Geschiebemergel und hat eine durchschnittliche Mächtigkeit von ca. 20 m (Lindenmaier et al. 2005). Der Heumöser Hang lässt sich in drei Bereiche unterschiedlicher

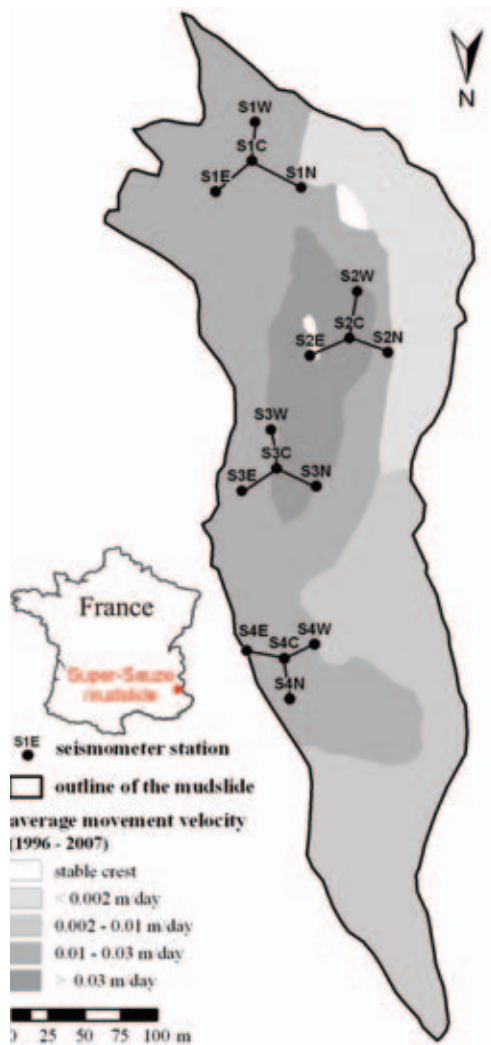


Abb. 2: Durchschnittliche Geschwindigkeiten des Schlammstroms in Super-Sauze (nach Amitrano et al. 2007) sowie Lokationen der installierten seismischen Kleinarrays im August 2008

Bewegungsraten an der Hangoberfläche unterteilen: Im oberen, nordwestlichen Hangbereich betragen die Bewegungen ca. 10 cm pro Jahr. Der mittlere, abgeflachte Hang zeigt Bewegungen von bis zu 5 cm pro Jahr. Im östlichen Hang-

bereich wurden die höchsten Bewegungsraten von über 10 cm pro Jahr registriert (Abb. 1). Wann der Heumöser Hang seine einstige Stabilität verlor, ist unbekannt.

Am Heumöser Hang wurden zwischen 2005 und 2008 mehrere einzelne Messkampagnen durchgeführt und zwischen Juli 2009 und Juni 2011 ein permanentes seismisches Netzwerk zur dauerhaften Überwachung von Hangprozessen installiert.

Der Schlammstrom in Super-Sauze befindet sich im sogenannten Becken von Barcelonnette, ca. 4 km südlich der gleichnamigen Stadt Barcelonnette und ca. 1 km südlich der Ortschaft Super-Sauze. Der Hang erstreckt sich über ca. 850 m in Längsrichtung (Nord-Süd) und weist eine maximale Breite von ca. 150 m in Ost-West-Richtung auf. Der im Norden gelegene Hangfuß liegt auf einer Höhe von ca. 1.740 m ü. NN, die südliche Hangbegrenzung liegt auf ca. 1.955 m ü. NN.

Oberhalb des Hanges befinden sich steile Flanken anstehenden Festgesteins, an denen ständig, aufgrund der geologischen Beschaffenheit, Felsmassen ihre Stabilität verlieren und in Form von Felsstürzen abgehen. Die permanente Akkumulation von Felsmassen in diesem Quellgebiet führt letztlich zu der Dynamik des Schlammstroms (Malet 2003). Große Felsstürze im heutigen Quellgebiet des Hanges führten in den 1960er Jahren dazu, dass sich der Schlammstrom in Super-Sauze Anfang der 1970er Jahre entwickelte und aktiviert wurde (Maquaire et al. 2003).

Der Schlammstrom besteht aus schwarzen Mergeln, einer schluffig-tonig-sandigen karbonathaltigen Matrix, in die Komponenten unterschiedlicher Größe der geringmächtigen glazialen Sedimente eingebettet sind. Der Schlammstrom lässt sich nach Amitrano et al. (2007) in Bereiche unterschiedlicher Bewegungsraten unterteilen (Abb. 2). Dabei wird die Dynamik entscheidend von der Paläotopographie beeinflusst, da Festgesteinskämme bzw. die dazwischen liegenden Erosionsrinnen des basalen Festgesteins das Hangmaterial kanalisieren. Die höchsten Bewegungen von mehr als 3 cm pro Tag konnten im mittleren Hangbereich observiert werden, wohingegen der westliche Bereich

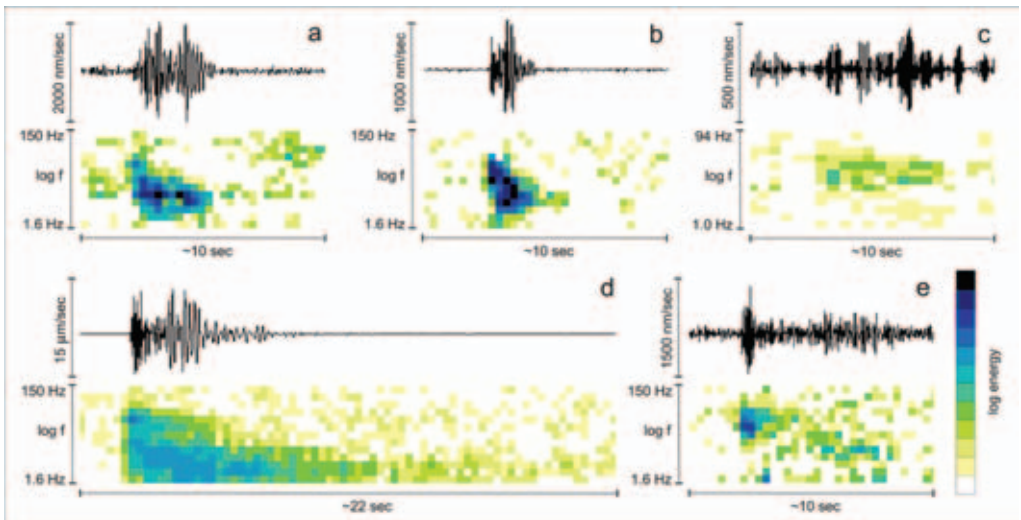


Abb. 3: Vergleich typischer Seismogramme und Sonogramme der beobachteten slidequakes mit lokalen Erdbeben: (a) slidequake registriert am Heumöser Hang ($M_L = -1,4$ in ~ 180 m Entfernung), (b) slidequake registriert in Super-Sauze ($M_L = -2,4$ in ~ 100 m Entfernung), (c) slidequake registriert am Slumgullion, (d) stärkeres lokales Erdbeben ($M_L = 2,3$ in ~ 11 km Entfernung), (e) schwaches lokales Erdbeben ($M_L = 0,7$ in ~ 22 km Entfernung). Man beachte die unterschiedlichen Amplituden- und Frequenz-Skalierungen

die geringsten Bewegungsraten von weniger als 2 mm pro Tag aufweist.

Am Schlammstrom in Super-Sauze wurden die seismischen Messungen im August 2008 im Rahmen einer 10-tägigen Messkampagne durchgeführt.

Nanoseismic Monitoring

Zur seismischen Überwachung des Heumöser Hanges und des Schlammstroms in Super-Sauze wurde das Verfahren Nanoseismic Monitoring angewendet. Nanoseismic Monitoring wurde ursprünglich für die UN im Rahmen des Kernwaffenteststopp-Vertrages (CTBTO) entwickelt und wird dort seit Jahren als Standardverfahren zur Erfassung potentieller nuklearer Nachbeben mit Magnituden $M_L = -2,0$ angewendet.

Die Registrierung seismischer Daten erfolgt mit Hilfe von wenigen Kleinarrays, die jeweils aus einer zentralen 3c-Station und drei äußeren 1c-Stationen bestehen. Seismische Kleinarrays

haben den Vorteil, Ausbreitungsgeschwindigkeit und Richtung eines Signals bestimmen zu können, was für eine Signalidentifizierung entscheidend sein kann. Im Gegensatz zu herkömmlichen STA/LTA-Triggern geschieht die Signaldetektion über manuelle Mustererkennungsverfahren noise-adaptierter Sonogramme. Mit Hilfe von Nanoseismic Monitoring können Signale prozessiert werden, deren Energien nahe an der natürlichen Bodenunruhe liegen. Damit kann eine, im Vergleich zu anderen Verfahren, wesentlich bessere Detektionsempfindlichkeit schwacher Ereignisse erreicht werden.

Die Signallokalisierung erfolgt, im Gegensatz zu herkömmlichen Inversionsverfahren, durch Softwareapplikationen, bei denen die Auswirkung eines jeden in den Lösungsraum einfließenden Parameters in Echtzeit ersichtlich wird. Weiterführende Details bzgl. des angewendeten Verfahrens können Joswig (2008) und Sick et al. (2013) entnommen werden.

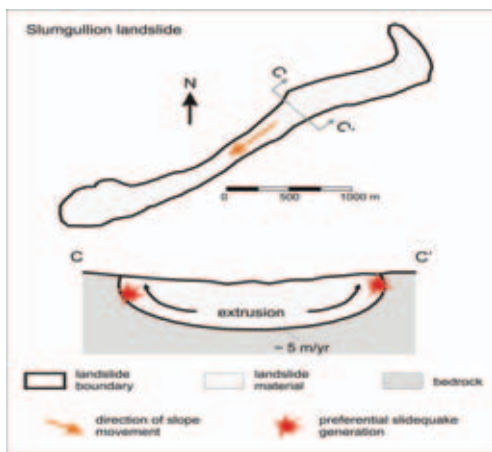


Abb. 4: Schematische Darstellung der bevorzugten Generierung von slidequakes am Slumgullion (Hanggeometrie verändert nach Fleming et al. 1999)

Ergebnisse

An allen drei vorgestellten Lockergesteins-Hangrutschungen konnten rutschungsinduzierte Bruchprozesse, slidequakes, mit Hilfe optimierter seismischer Verfahren beobachtet und lokalisiert werden. Die Abb. 3 zeigt typische Seismogramme und Sonogramme beobachteter slidequakes am Slumgullion, am Heumöser Hang und am Schlammstrom in Super-Sauze (Abb. 3a-c). Prinzipiell ähneln sich die Eigenschaften der an den unterschiedlichen Hängen registrierten Signale. Das Fehlen der Dispersionseffekte (Abnahme der Frequenz) bei den registrierten Signalen am Slumgullion liegt vermutlich an dem spezifischen Laufweg seismischer Wellen. Vergleichbare Effekte können bei den Registrierungen von lokalen Erdbeben beobachtet werden (Abb. 3d und Abb. 3e).

Während der seismischen Messungen im August 2009 konnten an der Rutschung Slumgullion mehr als 90 slidequakes observiert und deren Entstehungsort abgeschätzt werden. Die Mehrzahl der Ereignisse wurde an der lateralen Begrenzung der Hangrutschung zum anstehenden

Festgestein generiert (Abb. 4). Die Untergrundtopographie des Slumgullion besteht aus einer nahezu planaren Ebene, wodurch in diesem Bereich des Hanges aseismisches Kriechen des Rutschungskörpers dominiert. Dagegen kommt es an der lateralen Begrenzung des Hangkörpers zum Herauspressen von Hangmaterial, dort, wo auch die Mehrheit der slidequakes beobachtet wurde (Abb. 4).

Am Heumöser Hang konnten insgesamt 121 slidequakes mit Magnituden von $-2,5 \leq M_L \leq -0,5$ während der einzelnen Messkampagnen zwischen 2005 und 2008 (39 Ereignisse) und während der permanenten seismischen Überwachung 2009–2011 (82 Ereignisse) observiert und mit Hilfe von Nanoseismic Monitoring lokalisiert werden (Abb. 5). Die Mehrheit der Ereignisse wurde im mittleren Hangbereich lokalisiert, der die geringsten Bewegungsraten an der Oberfläche zeigt (vgl. Abb. 1).

Die Tatsache, dass die Mehrzahl der slidequakes im mittleren Bereich des Heumöser Hanges, der die geringsten Bewegungsraten zeigt, lokalisiert wurde, scheint auf den ersten Blick ein Widerspruch zu sein. Man könnte intuitiv vermuten, dass die slidequakes verstärkt in dem Hangbereich auftreten, der höhere Bewegungsraten aufweist. Um diesen Zusammenhang zu untersuchen, wurden aktive seismische Messungen entlang mehrerer Profile durchgeführt, um die Untergrundtopographie zu bestimmen (Walter et al. 2011). Die refraktionsseismischen Messungen belegen eine signifikante Erhöhung des Untergrundes im mittleren Bereich des Heumöser Hanges, die senkrecht zur Hauptbewegungsrichtung orientiert ist (Abb. 6). Diese Erhöhung könnte als Barriere für den Rutschungskörper fungieren, die zu einer Spannungsakkumulation innerhalb des Hangkörpers führt und somit die geringeren Bewegungsraten sowie das verstärkte Auftreten von slidequakes in diesem Hangbereich erklärt.

Am Schlammstrom in Super-Sauze konnten während der Messkampagne im August 2008 34 slidequakes mit Magnituden von $-3,2 \leq M_L \leq -1,3$ registriert und lokalisiert werden. Vergleichbar zum Auftreten der slidequakes am Heumöser

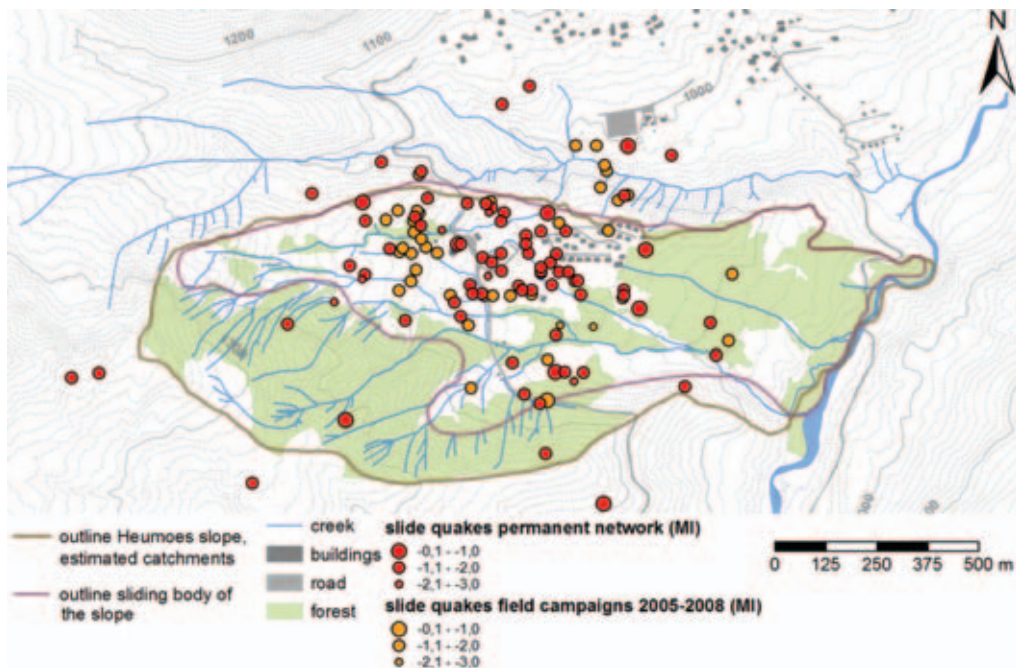


Abb. 5: Lokationen und Magnituden der beobachteten slidequakes am Heumöser Hang während der Messkampagnen zwischen 2005 und 2008 (orange) und der permanenten seismischen Überwachung zwischen Juli 2009 und Mai 2011 (rot)

Hang clustern sich die Ereignisse im mittleren Hangbereich (Abb. 7). Im Vergleich zum Heumöser Hang ist die natürliche Bodenunruhe in Super-Sauze ca. 20 dB geringer und gleichzeitig ist die Dynamik des Schlammstroms in Super-Sauze im Vergleich zum Heumöser Hang ca. 100-fach größer. Die geringere Bodenunruhe und die höheren Bewegungsraten resultieren in einer verbesserten Detektionsempfindlichkeit und einer größeren Anzahl von slidequakes: 83 Ereignisse in ca. 22 Monaten am Heumöser Hang gegenüber 34 Ereignissen in ca. 10 Tagen in Super-Sauze. Das Cluster von slidequakes in Super-Sauze korreliert sehr gut mit Hangbereichen erhöhter Bewegungsrate (Abb. 7). Glücklicherweise existiert ein Luftbild aus dem Jahr 1956, bevor sich der Schlammstrom entwickelt hatte. Dieses Luftbild repräsentiert die heutige Untergrundtopographie, die zum Großteil vom Schlamm-

strom bedeckt ist. Das Luftbild zeigt, dass die basale Grenze des Schlammstroms durch Festgesteinskämme geprägt ist, die in Bewegungsrichtung des Schlammstroms orientiert sind und zwischen denen einzelne Rinnen den Schlammstrom kanalisieren (Abb. 7). Die Abb. 8 zeigt, dass die Mehrheit der lokalisierten slidequakes nicht nur an die Festgesteinskämme gekoppelt ist, sondern ebenso vermehrt in den Rinnen auftritt, die die höchsten Bewegungsraten an der Oberfläche zeigen. Abb. 8 zeigt eine schematische Darstellung der Generierung von slidequakes am Schlammstrom in Super-Sauze.

Zusammenfassung

Mit Hilfe optimierter seismischer Verfahren konnte erfolgreich an drei Lockergesteinshangrutschungen die Generierung diskreter Bruchprozesse, slidequakes, nachgewiesen

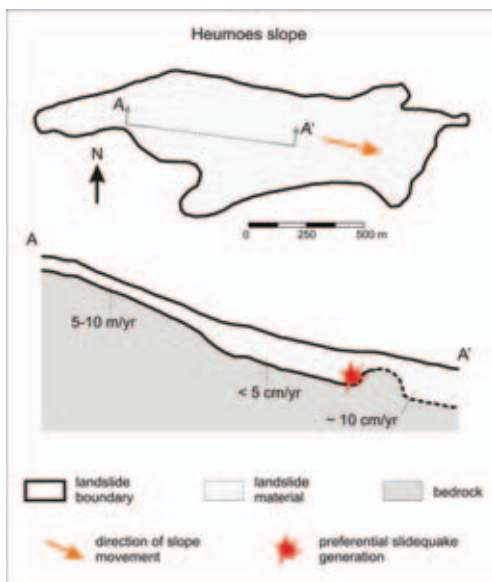


Abb. 6: Schematische Darstellung der bevorzugten Generierung von slidequakes am Heumöser Hang (Hanggeometrie verändert nach Walter et al. 2011)

werden. Mit Hilfe des Verfahrens Nanoseismic Monitoring konnten am Heumöser Hang sowie am Schlammstrom in Super-Sauze slidequakes lokalisiert und deren Magnituden ermittelt werden. Dabei entsprechen die beobachteten Magnituden von $-3,2 \leq M_L \leq -0,5$ Bruchlängen im Bereich von wenigen Metern.

Es konnte gezeigt werden, dass unabhängig von der spezifischen Situation die Generierung von slidequakes an Lockergesteinshangrutschungen generell an die jeweilige Untergrundtopographie gekoppelt zu sein scheint. Am Slumgullion traten die slidequakes verstärkt an der lateralen Begrenzung des Rutschungskörpers auf, wo Hangmaterial seitlich herausgepresst wird. Am Heumöser Hang clustern sich die lokalisierten slidequakes im mittleren Hangbereich, der zwar die geringsten Bewegungsraten an der Oberfläche zeigt, dessen Untergrundtopographie aber in diesem Bereich von einer senkrecht zur Aus-

breitungsrichtung orientierten Barriere geprägt ist. Am Schlammstrom in Super-Sauze werden slidequakes verstärkt an Festgesteinskämmen bzw. in den Rinnen zwischen den Festgesteinskämmen generiert, die die höchsten Bewegungsraten zeigen.

Obwohl die Existenz der slidequakes an Lockergesteinshangrutschungen plausibel nachgewiesen und ein Zusammenhang zur jeweiligen Untergrundtopographie beobachtet werden konnte, ist derzeit unklar, welche Prozesse dazu führen, dass Lockersedimente eine spröde Deformation zeigen. Lockersedimente zeigen lediglich bei geringer Wassersättigung eine spröde Deformation, die für die beobachteten slidequakes notwendig ist. Bei höherer Wassersättigung deformieren Lockersedimente plastisch bzw. fließend. Prinzipiell wird durch die Erhöhung der Wassersättigung bei Sedimenten deren Scherfestigkeit herabgesetzt. Zusätzlich führt eine erhöhte Wassersättigung bei Lockergesteinshangrutschungen zu einer erhöhten Gravitationskraft sowie zu Auftriebseffekten. Daher vermuten wir, dass an den signifikanten Änderungen der jeweiligen Untergrundtopographie Prozesse der Entwässerung stattfinden, die letztlich eine spröde Deformation von Lockersedimenten und die Generierung von seismisch erfassbaren slidequakes ermöglichen. Gleichzeitig ist allerdings derzeit ungeklärt, in welchem Zusammenhang das raumzeitliche Auftreten der slidequakes mit dem möglichen Totalversagen eines Hanges steht.

Am Schlammstrom in Super-Sauze konnten während einer Messkampagne im Sommer 2010 dahingehend erste Erkenntnisse gewonnen werden. Neben der Observierung der slidequakes konnten weitere Signale unter Anwendung des Verfahrens Nanoseismic Monitoring beobachtet und interpretiert werden (Abb. 9). Zum einen konnten Signale, die auf Felsstürze im Akkumulationsgebiet zurückzuführen sind, identifiziert werden. Des Weiteren konnten Bruchsignale, die denen der beschriebenen slidequakes ähneln, beobachtet und im massiven Felsverband lokalisiert werden. Außerdem konnten Signale beobachtet werden, die denen von Tremor-

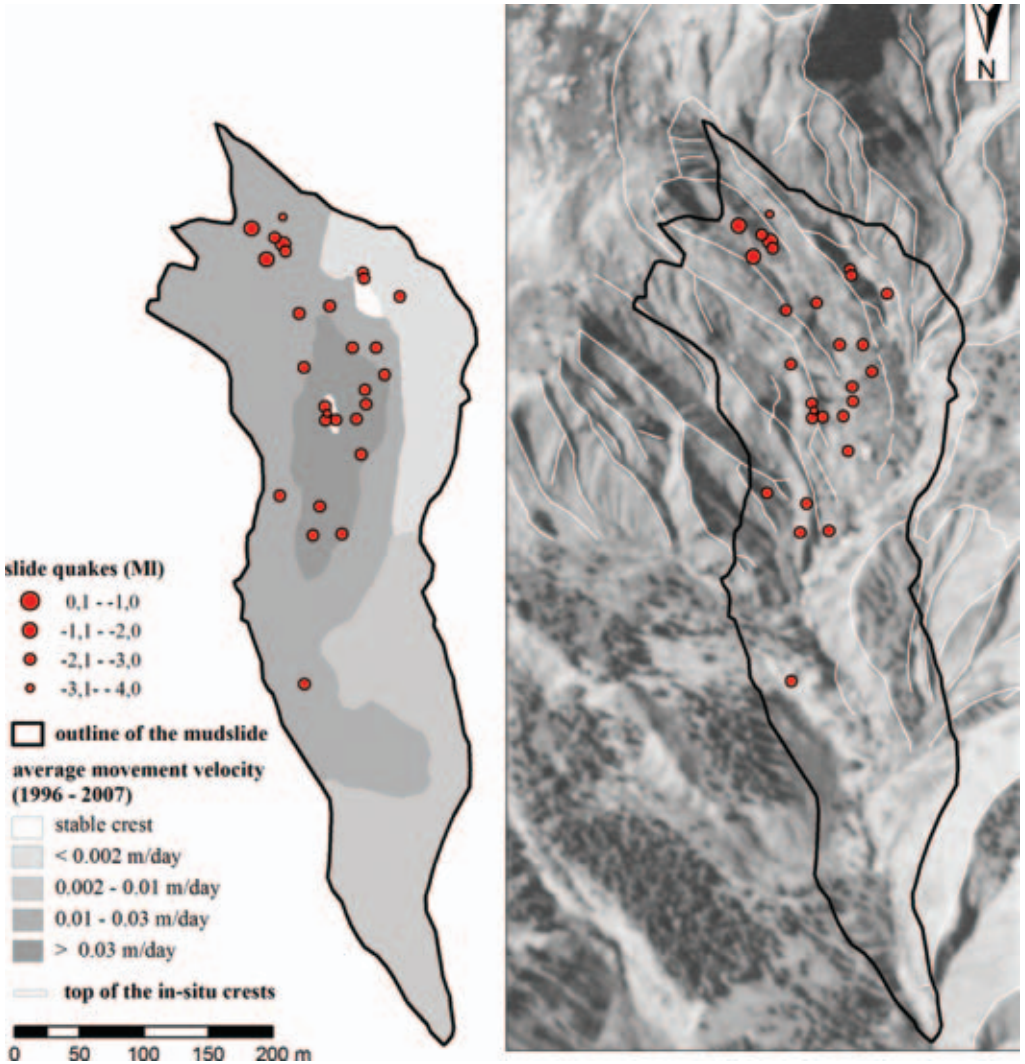


Abb. 7: Lokationen und Magnituden der beobachteten slidequakes am Schlammstrom in Super-Sauze während der Messkampagne im August 2008. Links: geplottet auf die durchschnittlichen Bewegungsraten nach Amitrano et al. (2007), rechts: geplottet auf ein Satellitenbild von 1956 (zur Verfügung gestellt von IGN (Institut Geographique National, Campaign F3139–3639

Signalen bzw. ETS-Signalen (engl. ETS – Episodic Tremor and Slip) ähneln. Diese treten vorrangig an der lateralen Begrenzung des Hangkörpers auf und werden von uns als Signale interpre-

tiert, die durch das „Reiben“ des sich bewegenden Hangkörpers am lateralen Festgestein generiert werden. Diese Beobachtungen zeigen, dass es mit Hilfe hoch empfindlicher seismischer Ver-

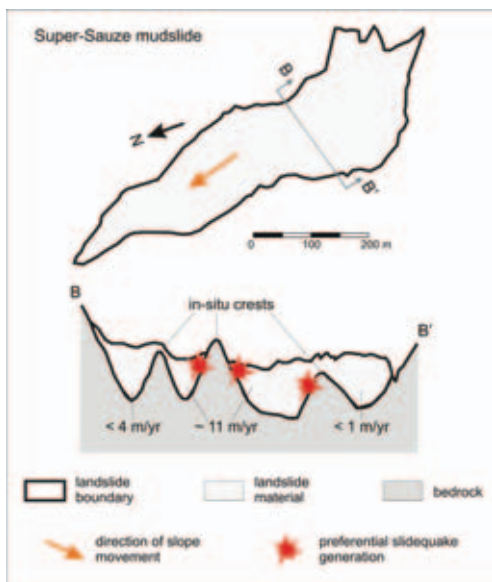


Abb. 8: Schematische Darstellung der bevorzugten Generierung von slidequakes am Schlammstrom in Super-Sauze (Hanggeometrie verändert nach Malet et al. 2005)

fahren möglich ist, derartige Prozesse zu beobachten. Die Fragen, welcher Zusammenhang zwischen dem raumzeitlichen Auftreten der beschriebenen Prozesse besteht und inwieweit sich die seismische Überwachung von Hangrutschungen zur Frühwarnung eignet, sind Gegenstand aktueller Forschung.

Literatur

Amitrano, D., Gafet, S., Malet, J.-P. & Maquaire, O. (2007): *Understanding mudslides through microseismic monitoring: the Super-Sauze (South-East French Alps) case study.* – *Bulletin de la Société Géologique de France*, 178(2), 149-157.

Brückl, E. & Mertl, S. (2006): *Seismic Monitoring of Deep-Seated Mass Movements.* – In: *Proceedings of INTERPRAEVENT International Symposium „Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides“*, 571-580

Depenthal, C. & Schmitt, G. (2003): *Monitoring of a landslide in Vorarlberg / Austria.* – In: *Proceedings 11th International FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini (Thera) Island, Greece*, 289-295.

Fleming, R.W., Baum, R.L. & Giardino, M. (1999): *Map and description of the active part of the Slumgullion landslide, Hinsdale County, Colorado.* – U.S.. Geol. Surv. Misc. Invest. Map, I-2672.

Gomberg, J., Bodin, P., Savage, W. & Jackson, M.E. (1995): *Landslide faults and tectonic faults, analogs? The Slumgullion earthflow, Colorado.* – *Geology*, 23(1), 41-44.

Gomberg, J., Schulz, W., Bodin, P. & Kean, J. (2011): *Seismic and geodetic signatures of fault slip at the Slumgullion Landslide Natural Laboratory.* – *Journal of Geophysical Research*, 116, B09404.

Helmstetter, A. & Garambois, S. (2010). *Seismic Monitoring of Séchillienne rockslide (French Alps): Analysis of seismic signals and their correlation with rainfalls.* – *Journal of Geophysical Research*, 115, F03016.

Joswig, M. (2008): *Nanoseismic Monitoring fills the gap between microseismic networks and passive seismic.* – *First Break*, 26, 121-128.

Levy, C., Jongmans, D. & Baillet, L. (2011): *Analysis of seismic signals recorded on a prone-to-fall rock column (Vercors massif, French Alps).* – *Geophysical Journal International*, 186, 296-310.

Lindenmaier, F., Zehe, E., Dittfurth, A. & Ihringer, J. (2005): *Process identification at a slow-moving landslide in the Vorarlberg Alps.* – *Hydrological Processes*, 19, 1635-1651.

Malet, J.-P. (2003): *Les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique.* – PhD thesis, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 364p.

Malet, J.-P., Laigle, D., Remaître, A. & Maquaire, O. (2005): *Triggering conditions and mobility of debris flows associated to complex earthflows.* – *Geomorphology*, 66(1-4), 215-235.

Maquaire, O., Malet, J.-P., Remaître, A., Locat, J., Klotz, S. & Guillon, J. (2003): *Instability conditions of marly hillslopes: towards landsliding or gullyng? The case of the Barcelonnette basin,*

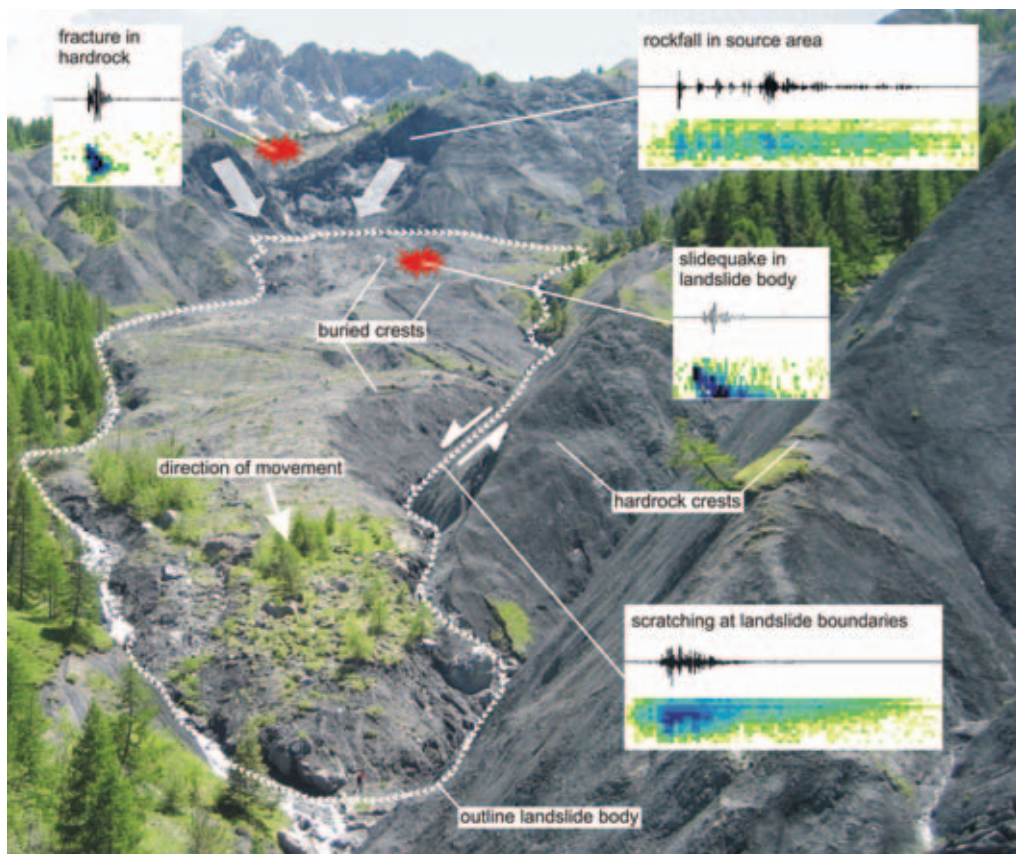


Abb. 9: Darstellung der wesentlichen Prozesse am Schlammstrom in Super-Sauze mit den dazugehörigen seismischen Signalen

South East France. – *Engineering Geology*, 70(1-2), 109-130.

Roth, M., Dietrich, M., Blikra, L.H. & Lecomte, I. (2005): *Seismic monitoring of the unstable rock slope at Åknes, Norway.* – NORSAR, Report for the International Centre for Geohazards.

Sick, B., Walter, M. & Joswig, M. (2013): *Near-surface fracture and impact discovery from landslides and sinkholes by sonogram screening.* – *First Break*, 31, 95–101.

Spillmann, T., Maurer, H., Green, A.G., Heincke, B., Willenberg, H. & Husen, S. (2007): *Microseismic investigations of an unstable mountain*

slope in the Swiss Alps. – *Journal of Geophysical Research*, 112, B07301.

Walter, M., Walser, M., & Joswig, M. (2011): *Mapping Rainfall-Triggered Slidequakes and Seismic Landslide-Volume Estimation at Heumoes slope.* – *Vadose Zone Journal*, 10 (2): 487-495, doi:10.2136/vzj2009.0147.

¹ Seismic Solutions, Mettinger Straße 103-105, 73728 Esslingen

E-Mail: Marco.Walter@seismicsolutions.de

² Institut für Geophysik, Universität Stuttgart, Azenbergstraße 16, 70174 Stuttgart

Impressum

© GMIT – Geowissenschaftliche Mitteilungen
Heft 58, Dezember 2014

GMIT ist ein deutschsprachiges Nachrichtenorgan und dient dem Berufsverband Deutscher Geowissenschaftler (BDG), der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft (DGG), der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (DGG), der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft (DMG), der Deutschen Quartärvereinigung (DEUQUA), der Geologischen Vereinigung (GV), dem Oberrheinischen Geologischen Verein (OGV) und der Paläontologischen Gesellschaft (PalGes) als Nachrichtenorgan. Die Zeitschrift ist für die Mitglieder der genannten Gesellschaften bestimmt. Der Bezug des Heftes ist im Mitgliedsbeitrag enthalten.

Herausgeber: ARGE GMIT c/o BDG-Bildungsakademie, Lessenicher Straße 1, 53123 Bonn

Satz und Layout: Dipl.-Geol. U. Wutzke

Auflage: 9.500 · ISSN: 1616-3931

Redaktion: Klaus-Dieter Grevel (DMG; klaus-dieter.grevel@rub.de; *kdg.*), Michael Grinat (DGG; michael.grinat@liag-hannover.de; *mg.*), Sabine Heim (GV; sabine.heim@rwth-aachen.de; *sh.*), Christian Hoselmann (DEUQUA; christian.hoselmann@hlug.hessen.de; *ch.*), Hermann Rudolf Kudraß (GV; kudrass@gmx.de; *hrk.*), Jan-Michael Lange (DGG; geolange@uni-leipzig.de; *jml.*), Alexander Nützel (Paläontologische Gesellschaft; a.nuetzel@lrz.uni-muenchen.de; *an.*), Birgit Terhorst (DEUQUA; birgit.terhorst@uni-wuerzburg.de; *bt.*), Eckhard Villinger (OGV; eckhard.villinger@t-online.de; *ev.*), Hans-Jürgen Weyer (BDG; BDG@geoberuf.de; *hju.*), Ulrich Wutzke (*uw.*).

Die Redaktion macht darauf aufmerksam, dass die unter einem Namen oder einem Namenszeichen erscheinenden Artikel persönliche Meinungen und Ansichten enthalten können, die nicht mit der Meinung und Ansicht der Herausgeber übereinstimmen müssen. Für den Inhalt der Artikel sind die Autoren verantwortlich. Die Autoren erklären gegenüber der Redaktion, dass sie über die Vervielfältigungsrechte aller ihrer Fotos und Illustrationen verfügen und übertragen diese sowohl für die Print- wie für die Online-Ausgabe an GMIT.

Bitte senden Sie Beiträge – am besten per E-Mail mit angehängten Windows-lesbaren Formaten – nur an einen der GMIT-Redakteure (Adressen in diesem Heft). Textbeiträge sind deutschsprachig. Beachten Sie bitte die Autorenhinweise, die in diesem Heft publiziert sind.

Einsender erklären sich mit der redaktionellen Bearbeitung und eventuellen Kürzung ihrer Zuschrift einverstanden und treten die Rechte an die Herausgeber ab. Für unverlangt eingereichte Einsendungen übernimmt die Redaktion keine Verantwortung. Eingesandte Fotos und sonstige Unterlagen werden nur auf ausdrücklichen Wunsch zurückgesendet.

Angaben zu Preisen, Terminen usw. erfolgen ohne Gewähr.

GMIT Nr. 59 erscheint im März 2015. Redaktionsschluss ist der 15. Januar 2015. Anzeigenschluss ist der 31. Januar 2015. Auskunft erteilt die BDG-Geschäftsstelle, Lessenicher Straße 1, 53123 Bonn; Tel.: 0228/696601, Fax: 0228/696603; E-Mail: BDG@geoberuf.de; Internet: www.geoberuf.de.

Personenbezogene Angaben der Mitglieder werden zum Zwecke der Mitgliederverwaltung und des Versandes von GMIT gespeichert. Die Datei zum Versand von GMIT wurde aus verschiedenen Einzeldateien zusammengesetzt. Bei unterschiedlicher Schreibweise oder verschiedenen Anschriften (z.B. Dienst- und Privatanschrift) kann es vorkommen, dass ein Mitglied das Heft doppelt erhält. Für entsprechende Hinweise ist die Redaktion dankbar. Die Redaktion dankt den Inserenten und bittet die Leser, diese zu berücksichtigen.