

Mittwoch 16. Oktober 2013

11:30-12:00

## Die Toma Hügel des Fernpass Bergsturzes – Hinweise zur Entstehung aus physikalischen Experimenten

Roman Meili<sup>1</sup>, Bernd Imre<sup>2</sup>, Jan Laue<sup>1</sup>, Amin Askarinejad<sup>1</sup> & Sarah M. Springman<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut für Geotechnik, ETH Zürich, Schweiz

<sup>2</sup> Bernard Ingenieure ZT GmbH, Bahnhofstrasse 19, 6060 Hall i.T.

### Abstract

Sturzströme sind Landslides von großem anfänglichen Volumen, hoher Geschwindigkeit und extremer Reichweite. Past investigations showed that the fragmentation of blocks of rock is associated with high initial potential energy and extreme run-out. Based on a PhD thesis describing the concept of inertial entrainment friction (Imre, 2010), the fragmentation of sturzströme was investigated experimentally in the ETH Zurich geotechnical drum centrifuge with both a rough sliding surface as well as fine-grained subsoil (sand and clay) in the run-out zone.

The observation of the detachment of projectiles from the front of the rock debris in the experiment with the clay basal layer reproduces the phenomenon of the formation of Toma hills, as seen after the Fernpass sturzstrom in Austria.

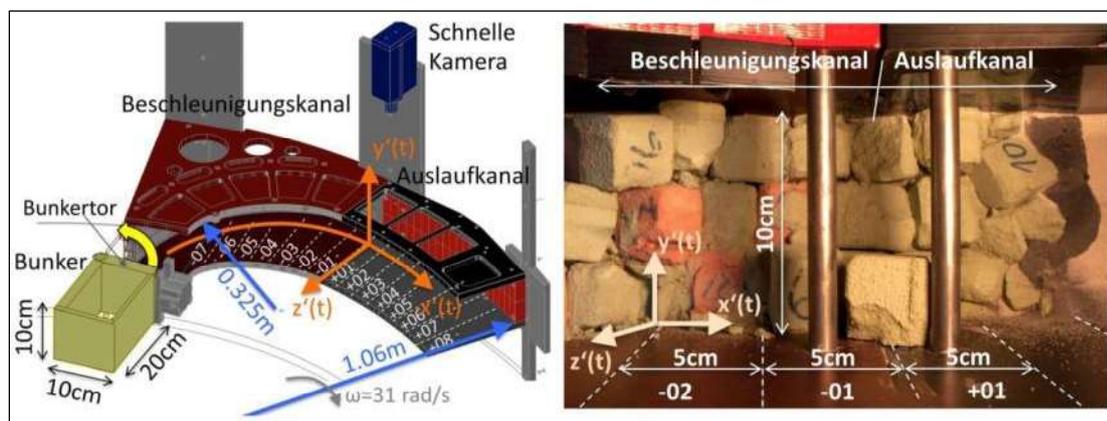
### 1. Einleitung

Sturzströme sind Schuttströme mit Geschwindigkeiten von oft über 100 km/h und übermäßiger Reichweite, welche durch die Fragmentierung von Bergstürzen mit einem Abbruchvolumen von normalerweise mehr als  $10^6 \text{ m}^3$  entstehen (Heim, 1932; Hsü, 1975). Das Institut für Geotechnik an der ETH Zürich forscht an der Mechanik dieser Massenbewegungen und damit an der Entwicklung eines Voraussagemodells für die Reichweite von Sturzströmen.

In diesem Beitrag werden ausgewählte Resultate einer Masterarbeit am IGT der ETH Zürich dargestellt, welche Hinweise auf die Entstehung von Toma Hügeln bei realen Sturzströmen wie z.B. dem Fernpass Sturzstrom in Österreich geben. In dieser Arbeit wurde die Fragmentierung von Steinmaterial in Sturzströmen mit einer umgebauten Beschleunigungsrutsche (Imre et al., 2010) in der geotechnischen Trommelzentrifuge der ETH Zürich (Springman et al., 2001) erstmals mit einer rauen und weichen basalen Gleitfläche (grobblockiger bzw. feinkörniger Untergrund) untersucht. Dabei wurden die Aussagen des „inertial entrainment friction“ (träge, mitreißende Reibung) Konzepts (Imre et al., 2010) überprüft. Die Erkenntnis ist, dass die typische Fragmentierung bei Sturzströmen, dann auftritt, wenn an der Basis des Sturzstroms ein hoher Scherwiderstand, durch entweder einen rauen oder einen weichen Untergrund, mobilisiert werden kann. Damit verschiebt sich die Scherfuge in die Felsmasse, was infolge der Fragmentierungsprozesse in der Scherfuge zur übermäßigen Reichweite des Sturzstroms führen kann.

## 1.1 Versuchsaapparatur

In der Trommelzentrifuge (Springman et al., 2001) wurden Steine bzw. auf die Modellbedingungen im Labor skaliertes Analogmaterial für Stein (ETHAR; Imre et al., 2011) in einem Kanal (Abb. 1 links) beschleunigt und die Fragmentierung der Steine (Abb. 1 rechts) auf verschiedenen Untergründen (Schleifpapier, Sand und Ton) im Auslaufkanal untersucht. Die Winkelgeschwindigkeit der Zentrifuge betrug bei den Versuchen jeweils 31.3 rad/s mit einem äußeren Radius von 1.1 m. Das Analogmaterial für Stein wurde beim Öffnen des Bunkertors aus dem Vorratsbunker mit der Zentrifugalkraft durch den Beschleunigungskanal bewegt und kam im Auslaufkanal zum Stillstand.

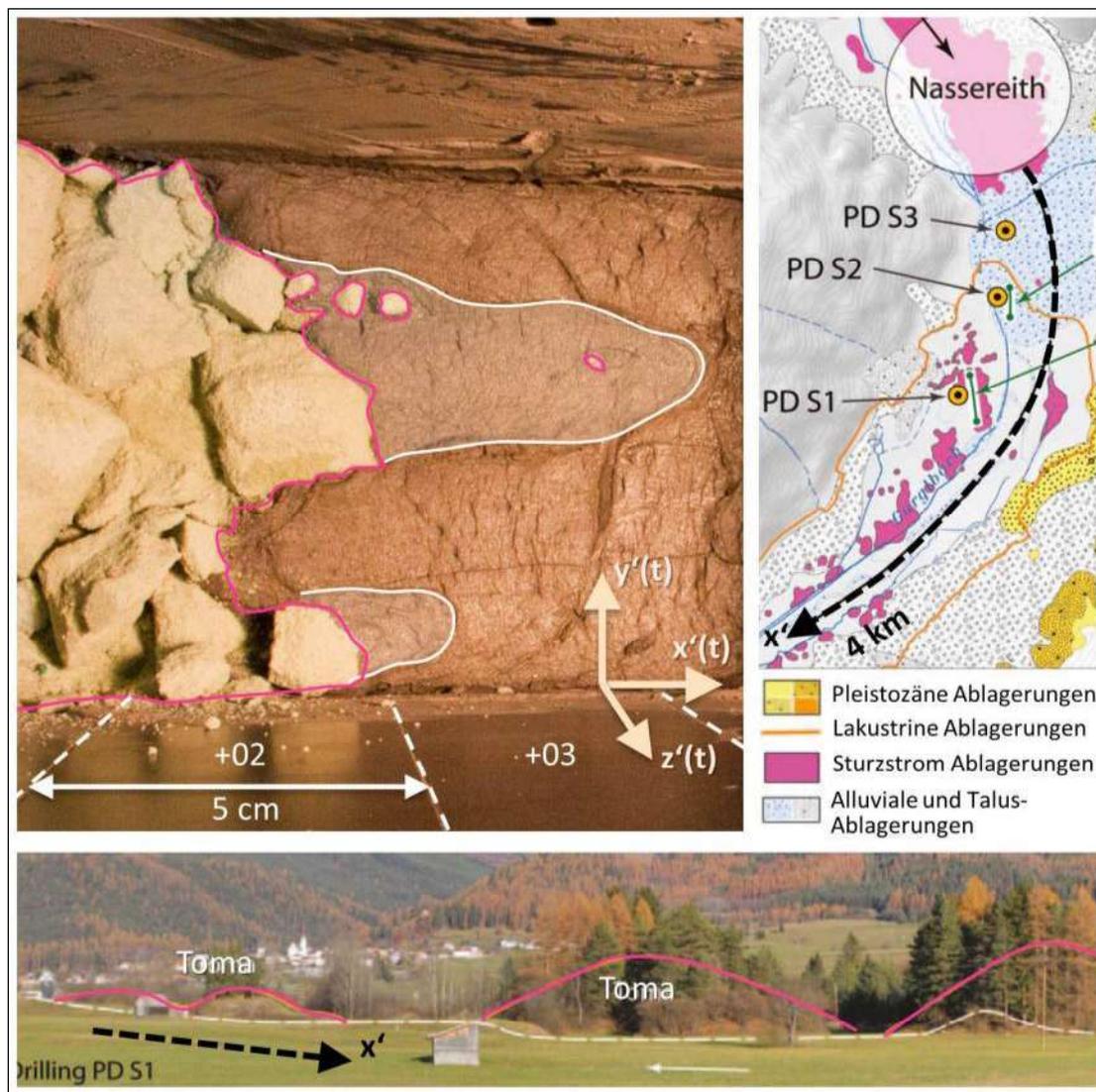


**Abb. 1:** **Links:** Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus in der Zentrifuge (nach Imre et al., 2010);  
**Rechts:** Fragmentierung der Steine auf sandigem Untergrund

## 2. Physikalische Modellierung: ausgewählte Resultate

Beim Zentrifugenversuch mit einer zähflüssigen, tonigen Gleitfläche wurden einzelne Partikel des Analogmaterials auf dem Ton deutlich weiter abgelagert als die vordersten Blöcke der Rutschmasse. Dies deutet auf eine Verbindung zu den Toma Hügeln hin. Toma Hügel scheinen in Verbindung mit Sturzströmen zu stehen, die sich auf sehr weichen, gesättigten Böden ausgebreitet haben. Die Toma Hügel aus Sturzstromablagerungen beim Fernpass Sturzstrom in Österreich (Abb. 2 rechts und unten) sind in Rutschrichtung hintereinander angeordnet. Diese Toma Hügel wurden bis zu 4 km vor der Front der Hauptblockmasse des Sturzstroms bei Nassereith abgelagert (Prager et al., 2006; Abb. 2 rechts).

Die ETHAR-Partikel im Zentrifugenversuch (Abb. 2 links) wurden in Rutschrichtung ebenfalls wie die Toma Hügel beim Fernpass Sturzstrom hintereinander abgelagert. Das Relief im Ton nach dem Versuch zeigt zudem deutlich die entstandenen „Wellen“ aus beschleunigtem Ton, die sich von der Rutschmassenfront aus weiter nach vorne ausbreiteten. Zur besseren Darstellung sind diese in Abb. 2 (links) hervorgehoben.



**Abb. 2:** **Links:** Ablösungen der Bergsturzfront (rot) und „Wellen“ aus beschleunigtem Ton (weiss); **Rechts:** Situation mit abgelöstem, bis 4 km weiter vorne abgelagertem Sturzstrommaterial (rot) und **unten:** Ansicht der Toma Hügel aus Bergsturzmaterial beim Fernpass Sturzstrom in Österreich (Abb. rechts und unten von Prager et al., 2006)

Imre et al. (2010) erklären die Entstehung der Toma Hügel mit dem „inertial entrainment friction“ Konzept. Wenn ein Sturzstrom bereits fast oder ganz zum Stillstand kommt, kann sich an der Front des Sturzstroms noch beschleunigtes Sturzstrommaterial weiterbewegen. Dies scheint im Zentrifugenversuch ebenso der Fall gewesen zu sein. Beim Eindringen der Blöcke in den Ton wurde dieser durch das Verdrängen beschleunigt. Einzelne Partikel scheinen entweder „auf der Welle“ aus beschleunigtem Ton gedriftet oder geflogen zu sein. Hinter dem vordersten Partikel in Abb. 2 (links) sind keine Spuren im Ton erkennbar, was darauf hinweist, dass dieses eher geflogen ist. Falls das Partikel geflogen ist und somit nicht mehr in Kontakt mit dem Kanal war, würde das bedeuten, dass die Geschwindigkeit des Partikels grösser war als ca. 32 m/s (lokale Geschwindigkeit des rotierenden Versuchskanals an dieser Stelle bezüglich der ruhenden Zentrifuge). Da die Geschwindigkeit der Blöcke am Anfang des Auslaufkanals (Übergang Segment -01 zu +01, Abb. 1 links) ca. 11 m/s beträgt, wurde dieses Partikel offensichtlich durch den Impulstransfer stärker beschleunigt.

### 3. Fazit

Die Entstehung von Toma Hügeln bei feinkörnigem, gesättigtem Boden wie z.B. dem Fernpass Sturzstrom in Österreich, scheint in direktem Zusammenhang mit dem Beschleunigen von Boden und Bergsturzmaterial an der Front des Sturzstroms infolge des Impulstransfers zu stehen.

Die folgenden Indizien deuten darauf hin, dass die Versuchsergebnisse mit den Toma Hügeln des Fernpass Sturzstroms vergleichbar sind:

- Die Ablösungen der Sturzstromfront traten nur beim Versuch mit zähflüssigem tonigen Untergrund auf und nicht bei den Versuchen mit der rauen oder sandigen Gleitfläche. Beim Fernpass Sturzstrom entstanden die Toma Hügel ebenfalls auf feinkörnigem, gesättigtem Boden.
- Die Toma Hügel wurden im Versuch wie beim Fernpass Sturzstrom in Rutschrichtung hintereinander abgelagert.
- Im Verhältnis zur Reichweite des Sturzstroms wurden die Toma Hügel beim Versuch wie beim Fernpass Sturzstrom in deutlicher Entfernung zur Front der Hauptblockmasse des Sturzstroms abgelagert.
- Weitere Indizien wie z.B. die Abstände und Größen der Toma Hügel müssen mit zusätzlichen Versuchen untersucht werden.

Somit hat sich beim Fernpass Sturzstrom wohl ebenfalls wie beim Versuch infolge des Impulstransfers, Felsmaterial von der Bergsturzfront abgelöst und bis zu 4 km weiter nach vorne bewegt, wodurch die heute sichtbaren Toma Hügel gebildet wurden.

### Referenzen

- Heim, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben. Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft. – 218 pp., 20. Naturforschende Gesellschaft in Zürich, Zürich, Schweiz.
- Hsü, K.J. (1975): Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls. – Geol. Soc. Am. Bull., 86(50117): pp. 129-140, The Geological Society of America.
- Imre, B. (2010): Micromechanical analysis of sturzstroms (rock avalanches) on Earth and Mars. – PhD Thesis, 165 pp., ETH Zürich, Zürich, Schweiz.
- Imre, B., Laue, J., Springman, S.M. (2010): Fractal fragmentation of rocks within sturzstroms: insight derived from physical experiments within the ETH geotechnical drum centrifuge. – Granular Matter, 12(3): pp. 267-285, Springer.
- Imre, B., Wildhaber, B., Springman, S.M. (2011): A physical analogue material to simulate sturzstroms. – IJPMG, 11(2): pp. 69-86, ICE Publishing.
- Prager, C., Krainer, K., Seidl, V., Chwatal, W. (2006): Spatial features of holocene sturzstrom-deposits inferred from subsurface investigations (Fernpass rockslide, Tyrol, Austria). – Geo. Alp, 3: pp. 147-166, Institut für Geologie und Paläontologie, Universität Innsbruck, Naturmuseum Südtirol.
- Springman, S., Laue, J., Boyle, R., White, J., Zweidler, A. (2001): The ETH Zurich geotechnical drum centrifuge. – IJPMG, 1(1): pp. 59-70, ICE Publishing.