

# Quantifizierung von Reliefveränderungen mithilfe von multitemporalem terrestrischen Laserscanning – Fehlergrößen und Genauigkeitsanalysen am Fallbeispiel der Plassen-Südwand

MAGDALENA KRENN (1) & JOACHIM GÖTZ (1)

In dieser Studie präsentieren wir verschiedene Ansätze zur Quantifizierung der rezenten Steinerschlag- und Felssturzdynamik an der Plassen-Südwand bei Hallstatt, Oberösterreich. Im Februar 2014 ereignete sich hier ein großer initialer Felssturz mit einem Volumen von rund 135.000 m<sup>3</sup>, gefolgt von intensiven Nachstürzen. Aufgrund der tektonischen und gesteinsmechanischen Konstellation „Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1989) ist diese Region von Sturzprozessen besonders betroffen. Dabei werden weiche Gesteine der Werfener Zone, des Haselgebirges oder Mergel der Hallstätter Zone von spröden Kalken der Trias und des Jura überlagert. Resultierende Massenbewegungen umfassen sowohl Felsstürze in der kluftreichen Deckplatte der Kalke, als auch Rutschungen in der sich plastisch verformenden Unterlage, welche oft auch in Kombination auftreten (z.B. WEIDINGER & VORTISCH, 2005). Aufgrund dieser geologischen Merkmale wurden auch signifikante Gebirgsbewegungen des gesamten Plassen-Komplexes gemessen (MELZNER et al., 2015).

Die Studie basiert auf Differenzmodellierungen multitemporaler Laserscan-Daten. Als Grundlage dienen ein ALS- (*airborne laserscanning*, 8/2013) und fünf TLS-Datensätze (*terrestrial laserscanning*, 2014–2016), die auf jeweils vier Scan-Positionen beruhen. Da die Ausbruchsnische aufgrund der eingeschränkten Sichtbarkeit nicht vollständig via TLS erfasst werden kann, beschränken sich die Analysen auf die akkumulierten Massen im Bereich des Schuttkegels. Für die Einschätzung der Fehlergrößen wurden verschiedene Registrierungsverfahren genutzt und Modellierungsansätze getestet.

Die Registrierung der TLS-Daten erfolgte zweistufig in der Software RiScan Pro. Für die Grobregistrierung wurden zunächst zehn an der Felswand verbaute Reflektoren verwendet, während die anschließende Feinregistrierung auf einem ICP

(*iterative closest point*) Algorithmus basiert (*multi station adjustment*). Die Analysen zwischen den TLS-Datensätzen (TLS1–TLS5) in einem lokalen Koordinatensystem führten zu einer hohen Registrierengenauigkeit (mittlere Standardabweichung der Normalvektoren von 211.038 triangulierten Flächen: 2,6 cm). Für die Registrierung der ALS-Daten mussten die DGPS-Positionen der Reflektoren hinzugezogen werden, deren geringere Lagegenauigkeit (< 1 m) eine reduzierte Registrierengenauigkeit zur Folge hat (mittlere Standardabweichung der Normalvektoren von 7.583 triangulierten Flächen: 15 cm).

Für die Quantifizierung der Reliefveränderungen wurden zwei rasterbasierte (2.5D Volume, M3C2 (LAGUE et al., 2013) CloudCompare) sowie ein meshbasierter Ansatz (volume calculation, RiScan Pro) gewählt. Dabei werden bei der Berechnung des 2.5D Volume (CloudCompare) sowie bei der volume calculation (RiScan Pro) separate Erosions- und Akkumulationsvolumina zwischen zwei Oberflächen (vorher/nachher) ermittelt. RiScan Pro bietet die Möglichkeit mithilfe eines sogenannten „no-change-Schwellenwertes“ Signal und Rausch zu differenzieren. Dieser definiert den minimalen vertikalen Abstand zwischen zwei Oberflächen, ab welchem Veränderungen auch tatsächlich als solche modelliert werden (kleine Unterschiede, auch zwischen unveränderten Oberflächen, sind dateninherent, sogenanntes „Rauschen“). Es ist davon auszugehen, dass dieses Rauschen (neben zahlreichen weiteren Faktoren wie z.B. Auflösung, Registrierengenauigkeit etc.) maßgeblich von der Geländerauigkeit gesteuert wird und ein sinnvoller Schwellenwert für rauere Oberflächen entsprechend höher gewählt werden sollte. Um diese Hypothese zu testen, wurden multitemporale TLS-Daten einer vergleichsweise „glatten“ Gletscheroberfläche am Kitzsteinhorn (Schmiedinger-

---

(1) Universität Salzburg, Fachbereich Geographie und Geologie, Hellbrunnerstraße 34, 5020 Salzburg.  
magdalena.krenn@stud.sbg.ac.at

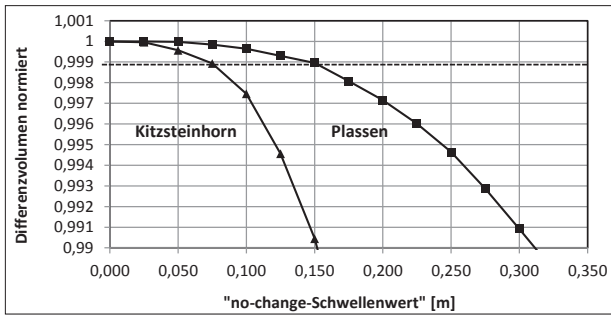


Abb. 1. Vergleich der „no-change-Schwellenwerte“ für die Plassen-Südwand (Quadrate) und den Kitzsteinhorn-Gletscher (Dreiecke) in Abhängigkeit der normierten Differenzvolumina aus Akkumulation und Erosion.

kees) hinzugezogen und die Reliefunterschiede mit sukzessiv wachsendem Schwellenwert berechnet. Abbildung 1 zeigt die normierten Differenzen aus Erosions- und Akkumulationsvolumina in Abhängigkeit des jeweiligen Schwellenwertes für beide Datensätze. Es wird deutlich, dass die Kurve Kitzsteinhorn früher abknickt und demnach – unter der Annahme eines gleichverteilten Rauschens („scheinbare Erosion“ = „scheinbare Akkumulation“) – ein kleinerer Wert gewählt werden sollte. Ähnlich diesem Wert werden bei der Quantifizierung der Volumina mittels des M3C2-Algorithmus Distanzunsicherheiten berechnet, welche wiederum den Fehlerwert der ermittelten Volumina angeben (Tab. 1).

Alle drei angewandten Verfahren liefern ähnliche Sturzvolumina mit nur geringen Abweichungen.

Der Vergleich ALS-TLS1 lässt auf ein initiales Felssturzvolumen von ca. 130.000–142.000 m<sup>3</sup> schließen (Tab. 1). Die relativ große Unsicherheit dieses Wertes geht auf die geringere Auflösung des ALS-Datensatzes (1 m), die geringere Registrierengenauigkeit sowie auf die Tatsache, dass der erste TLS-Datensatz nicht direkt nach dem Ereignis aufgezeichnet wurde, zurück.

Aufgrund der intensiven Nachstürze zwischen TLS1, TLS2 und TLS3 (durchschnittliche Nachsturzrate: 184 ± 7,8 m<sup>3</sup>/Tag über einen Zeitraum von 14 Monaten!), sind die Ergebnisse zuverlässiger einzustufen als jene zwischen TLS3, TLS4 und TLS5,

Volumen [m <sup>3</sup> ] (Zeitraum)	RiScan (volume calc.)	CloudCompare (2.5D Volume)	CloudCompare (M3C2)
ALS-TLS1 (8/13–9/14)	132.419	141.815	135.103 ± 5.336
TLS1-TLS2 (9/14–9/15)	68.289	68.160	64.134 ± 2.030
TLS2-TLS3 (9/15–11/15)	12.416	12.809	11.661 ± 1.194
TLS3-TLS4 (11/15–5/16)	165	137	1.009 ± 908
TLS4-TLS5 (5/16–9/16)	2.869	3.080	511 ± 405
Σ ALS-TLS5	216.159	226.000	212.418 ± 9.871
Σ TLS1-TLS5	83.740	84.185	77.315 ± 4.536

die eine deutlich reduzierte Nachsturzaktivität zeigen (Tab. 1). Die geringen Differenzvolumina und die Tatsache, dass in diesem Zeitraum auch Sturzschutt auf dem Schuttkegel durch Muren remobilisiert wurde (erodiertes Volumen: ca. 590 m<sup>3</sup>), führen zu einer relativ größeren Beeinflussung der Ergebnisse durch das Datenrauschen und zu einer deutlich reduzierten Nachsturzrate von 4,8 ± 4,1 m<sup>3</sup>/Tag. Es scheint, die Felswand befindet sich derzeit wieder in einem vorübergehenden Gleichgewichtszustand, welcher die geringe Nachsturzaktivität zwischen TLS3 und TLS5 erklären würde.

Die Herausforderungen dieser Studie sind vielfältig und umfassen unter anderem i) die limitierte Verfügbarkeit geeigneter Scan-Positionen infolge der topografischen Gegebenheiten, ii) die damit verbundenen, relativ großen Scan-Distanzen, iii) Abschattungseffekte im Bereich der stark zerklüfteten Wand sowie die eingeschränkte Sichtbarkeit der Ausbruchsnische. Für die weitere Beobachtung wäre es daher sinnvoll, den Bereich der Ausbruchsnische durch photogrammetrisch berechnete Geländemodelle (Drohnenbefliegung) zu ergänzen. Um Aussagen über mögliche Auslösefaktoren der Sturzprozesse treffen zu können (z.B. Starkniederschläge), müsste das TLS-Monitoring zudem in kürzeren Zeitabständen durchgeführt werden.

### Literatur

LAGUE, D., BRODU, N. & LEROUX, J. (2013): Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: Application to the Rangitikei canyon (NZ). – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **82**, 10–26, Amsterdam.

MELZNER, S., OTTOWITZ, D., PFEILER, S., MOSER, M., MOTSCHKA, K., LOTTER, M. & WIMMER-FREY, I. (2015): A multidisciplinary methodology for the characterization of a large rock spread in the Northern Calcareous Alps (Eastern Alps). – Geophysical Research Abstracts, **17**, EGU2015-10658-2, Katlenburg-Lindau.

POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems „Hart auf Weich“. – Felsbau, **7/1**, 16–20, Essen.

WEIDINGER, J. & VORTISCH, W. (2005): Massenbewegungen im System Hart-auf-Weich zwischen Traunstein und Dachstein (OÖ, STMK) und ihre anthropogene Beeinflussung. – Gmundner Geo-Studien, **3**, 75–94, Gmunden.

Tab. 1. Volumen des initialen Felssturzes sowie der Nachstürze im Zeitraum 2014 bis 2016.