

BESTIMMUNG DER FRAGMENTIERUNGSENERGIE VON STURZBLÖCKEN UND DEREN EINFLUSS AUF FELSSTURZEREIGNESSE

R. Pleschberger, A. Buyer, R. Marte, Q. Liu

Einführung

Bei den meisten Felsstürzen kommt es zur Fragmentierung der abgelösten Gesteinsmassen (Leine et al., 2014; Wyllie 2015; Gili et al., 2016). Diese Zerlegung der Sturzblöcke (Abb. 1) kann als Mechanismus angesehen werden, der Energie erfordert (Crosta et al., 2015; Ruiz-Carulla et al., 2015). Da diese Energie-dissipation bei der Simulation von Felssturzereignissen oder der Bemessung von Schutzmaßnahmen bisher nicht berücksichtigt wurde, wurde im Zuge dieser Arbeit versucht die Fragmentierungsenergie zu quantifizieren und deren Implementierung und Auswirkung in Steinschlagsimulationen erprobt.

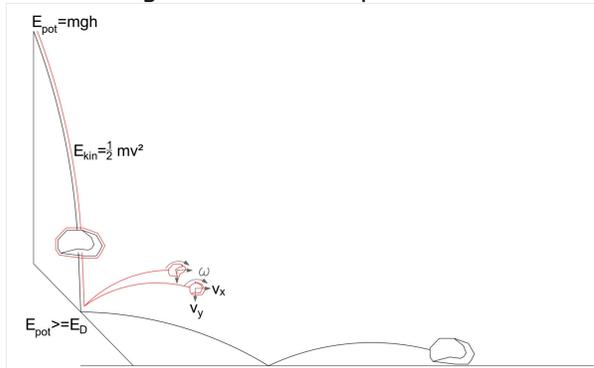


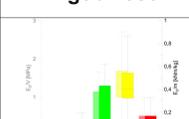
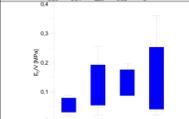
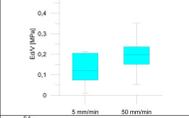
Abb. 1: Schematische Darstellung der Energieumwandlung und Änderung der Trajektorien durch Fragmentierung.

Methodik

Laborversuche

Die Laborversuche zu Bestimmung der Fragmentierungsenergie orientierten sich am Verfahren für Punktlastversuche (Broch & Franklin, 1972; Thuro, 2010). Der Vorschub erfolgte hydraulisch mit konstanter Geschwindigkeit und unter manueller Steuerung (Abb. 3 und 4). Der Verlauf von Kraft und Verformung wurden automatisch aufgezeichnet. Aus diesen Daten konnte ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm erstellt und durch Integration, die spezifische Zerstörungsarbeit E_D/V [MPa] und mit Hilfe des Probenvolumens die Fragmentierungsenergie E_D [kJm] ermittelt werden (Tab. 1).

Tab. 1: Getestete Parameter mit den gültigen Versuchen (GV), den Werten bzw. Prüfkörpereigenschaften und Ergebnissen.

Parameter	GV	„Wert“	Ergebnisse
Lithologie	104	Marmor SG5 Kalkstein SG4 Quarzit QZ5 Gabbro SG2 Gneis G	
Probenform	29	kubisch tabular flach irregulär	
Vorschubgeschwindigkeit	20	5 mm/min 50 mm/min	
Probenvolumen	59	~ 62 cm³ bis ~ 490 cm³	

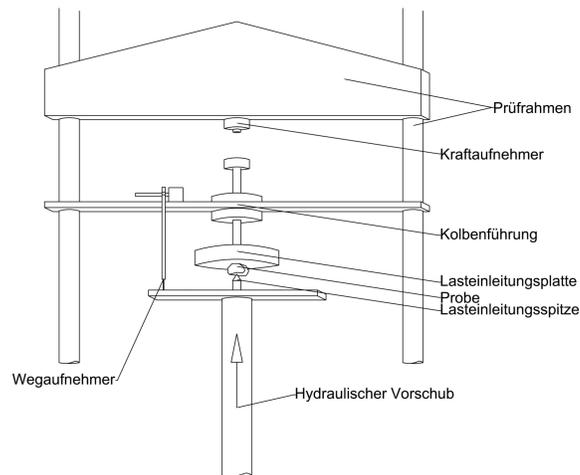


Abb. 3: Versuchsaufbau mit der modifizierten Punktlastmaschine (Maximalkraft 100 kN, Vorschubgeschwindigkeit 5-50 mm/min, Abstand der Lasteinleitungspunkte maximal 10 cm)

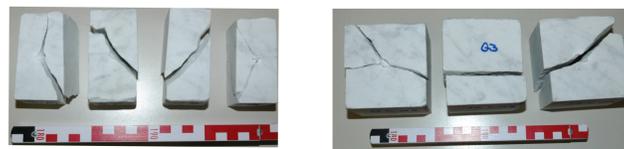


Abb. 4: Beispiele für tabulare und kubische Prüfkörper (SG5), nach Versuchsdurchführung.

Festgestellt wurden Abhängigkeiten für jeden der Parameter (Tab. 1). Die mittlere spezifische Zerstörungsarbeit für Gabbro erreichte mit 1,4 MPa die höchsten Werte, für Marmor und Kalkstein nur etwa ein Zehntel. Quarzit und Gneis lagen im Mittelfeld und zeigten starke Streuungen. Trotzdem konnte für alle Proben ein linear ansteigender Trend mit steigendem Probenvolumen festgestellt werden. Außerdem wurde eine erhöhte ED bei schnellerem Vorschub festgestellt.

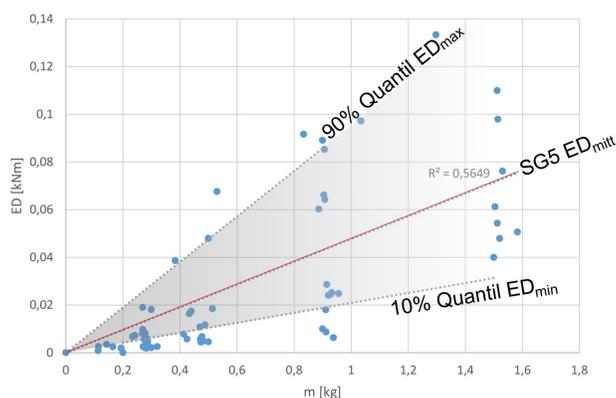


Abb. 5: Extrapolation der Laborversuchsergebnisse zur Bestimmung des minimalen und maximalen zu erwartenden ED.

Steinschlagsimulationen

Um die Auswirkungen der Fragmentierungsenergie zu veranschaulichen, wurden einfache Simulationen mit dem Programm RocFall v6.0 (RocScience, Inc.) durchgeführt. Die Ergebnisse der Laborversuche dienten dabei als Grenzwerte (Abb. 5). Wurde bei einem Sturz der Gesamtblöcke, dieser Grenzwert am Aufprallpunkt überschritten, wurde die Simulation gestoppt. Die Energie am Aufprallpunkt wird um die Fragmentierungsenergie reduziert und die Simulation mit den aktualisierten Ausgangsparametern (Geschwindigkeiten) erneut gestartet.

Ergebnisse

In Abhängigkeit der angesetzten Fragmentierungsenergie (ED_{min} , ED_{mitt} , ED_{max} , Abb.4) kam es nicht in jedem Fall zur theoretischen Fragmentierung. Für Blöcke mit großem Volumen wurde eine theoretische Fragmentierung öfter festgestellt, während es bei Sturzblöcken unter 10 kg nur im Fall der ED_{min} dazu kam. Die Berücksichtigung von ED in den Simulationen führte zu bedeutenden Änderungen der Trajektorien (Abb. 6). Im Vergleich von Gesamtblöcken und Fragmenten (mit um ED reduzierter Energie) bei gleicher Masse zeigten die Simulationen eine deutliche Reduktion der Reichweiten, Sprunghöhen und Energieeinwirkungen (Abb. 6).

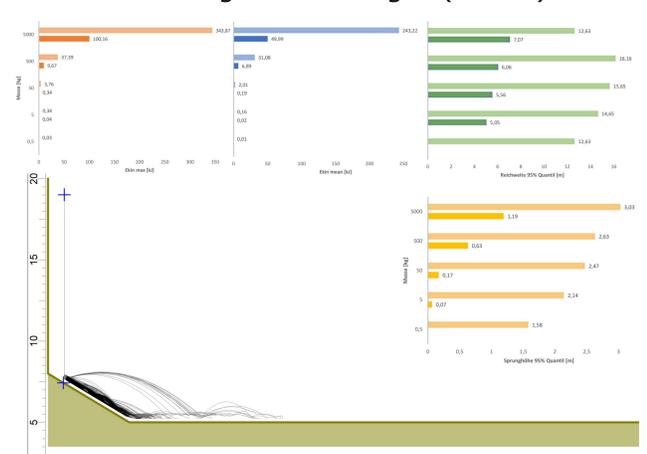


Abb. 6: Vergleich der Trajektorien von Gesamtblöcken (transparent) und Fragmenten (Vollfarbe) mit einer Masse von jeweils 500 kg bei elliptischer Blockform im Fall einer Überschreitung der Fragmentierungsenergie. Es zeigen sich vereinzelt unrealistisch (Preh et al., 2015) hohe Trajektorien der Gesamtblöcke. Diese Einflüsse konnten durch die Verwendung der 95% Quantile und mittleren kinetischen Energie reduziert werden.

Diskussion

Auch wenn die Kalibration der Simulation und Bestätigungen anhand von Feldversuchen und Geländedaten noch ausstehen, konnte die Bedeutung der Fragmentierungsenergie als Grenzwert für Steinschlagsimulationen gezeigt werden. Eine Verdichtung der Daten anhand von Versuchen mit Lasteinleitungsplatten, unterschiedlichen Dämpfungseigenschaften und höheren Probenmassen könnte Hinweise liefern, wann es in jedem Fall zur Fragmentierung kommt. Erst dann könnte ED wirklich als Reduktionsfaktor berücksichtigt werden.

Referenzen

- Broch, E., & Franklin, J. A. (1972). The point-load strength test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 9, 669–697.
- Crosta, G. B., Agliardi, F., Frattini, P., & Lari, S. (2015). Key issues in rock fall modeling, hazard and risk assessment for rockfall protection. *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 2: Landslide Processes*.
- Gili, J. A., Ruiz-Carulla, R., Matas, G., Corominas, J., Lantada, N., Núñez, M. A., ... Moreno, S. (2016). Experimental study on rockfall fragmentation: in situ test design and first results. *International Symposium Landslides 2016 (ISL2016)*, (June).
- Thuro, K. (2010). Empfehlung Nr. 5 "Punktlastversuche an Gesteins - Proben" des Arbeitskreises 3.3 "Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik. Verlag Für Architektur Und Technische Wissenschaft GmbH & Co.KG, 87(6), 322–330.
- Leine, R. I., Schweizer, A., Christen, M., Glover, J., Bartelt, P., & Gerber, W. (2014). Simulation of rockfall trajectories with consideration of rock shape. *Multibody System Dynamics* (Vol. 32).
- Preh, A., Mitchell, A., Hung, O., & Kolenprat, B. (2015). Stochastic analysis of rock fall dynamics on quarry slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 80, 57–66.
- Ruiz-Carulla, R., Corominas, J., & Mavrouli, O. (2015). Observed changes in the block size distribution as consequence of the rockfall fragmentation. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 17, EGU2015-15518
- Wyllie, D. C. (2015). *Rock fall engineering*. CRC Press Taylor& Francis Group.