

Überlegungen zur Designlawine von Lawinendämmen

Dr. Peter Gauer

Norwegian Geotechnical Institute/ Sandackerveien 140, 0484 Oslo, Norway,
peter.gauer@ngi.no

1 Einleitung

Norwegen ist größtenteils sehr dünnbesiedelt, aber aufgrund der topographischen und klimatischen Gegebenheiten sind viele Siedlungen von Lawinen bedroht. Die „Byggtknisk forskrift“ TEK10 (bautechnische Vorschrift) bildet die Grundlage für die Behandlung der Lawinengefahr in der Raumplanung in Norwegen. Im Wesentlichen werden drei Sicherheitsklassen bezüglich gravitativer Massenströmungen, zu denen auch Lawinen zählen, betrachtet. Diese Sicherheitsklassen unterscheiden sich durch die Eintrittswahrscheinlichkeiten an einem gegebenen Ort. Im Gegensatz zu vielen anderen Ländern gibt es kein explizites Intensitätskriterium, wie z.B. in Österreich mit dem 10 kPa Druckkriterium bei der Abgrenzung der roten Zone (BMLFUW-LE.3.3.3/0185-IV/5/2007). In Norwegen gilt für neue Wohnhäuser und Gebäude, in denen sich normalerweise maximal 25 Personen aufhalten, die Sicherheitsklasse S2. Für diese Sicherheitsklasse gilt eine nominelle maximale jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit von 1/1000 für ein Schadensereignis, wobei die Folgen für Leben und Gesundheit sowie wirtschaftliche Werte zu berücksichtigen sind.

In vielen norwegischen Gemeinden muss aber in einigen bebauten Gebieten oder neuen Ausbaugebieten mit höheren Eintrittswahrscheinlichkeiten für ein Schadensereignis gerechnet werden. Neubauten oder größere Umbauten können dann nur im Fall von zusätzlichen Sicherungsmaßnahmen zugelassen werden. Die bestehenden Gebäude sollten zumindest auf ein

akzeptables Sicherheitsniveau gesichert werden (oftmals wird eine maximale jährliche Eintrittswahrscheinlichkeit von 1/300 zugrunde gelegt). Lawinendämme werden oftmals als die kostengünstigste Lösung angesehen. Es stellt sich aber die Frage, inwieweit Dämme auch dem erforderlichen Sicherheitsanspruch gerecht werden.

2 Dimensionierungskriterien

Einfache Dimensionierungskriterien für Lawinenschutzdämme (i.e. Margreth et al., 2011) beziehen die erforderliche Höhe des Freibords, H_{fb} , auf die Lawinengeschwindigkeit im Anströmgebiet, U , und die Fließhöhe h_f :

$$H_{fb} = \frac{U^2}{2g\lambda} + h_f, \quad (1)$$

wobei λ ein Parameter ist. Die Werte für λ liegen typischerweise zwischen 1 und 3, abhängig vom Fließverhalten der Lawine. Nun deuten Geschwindigkeitsmessungen an Lawinen darauf hin, dass die Geschwindigkeit von selten schnellen Trockenschneelawinen mit der Fallhöhe der Sturzbahn, H_{SC} , skaliert (McClung & Schaerer, 2006; Gauer, 2020 und Referenzen darin):

$$U_{max} \sim \sqrt{gH_{SC}/2} \quad (2)$$

Diese Beobachtung kann gemeinsam mit empirischen Abschätzungen der erwarteten Auslauflänge, z.B. mittels des α - β Modells (Lied & Bakkehøi, 1980), zu einer ersten Abschätzung der Machbarkeit von Lawinenauffangdämmen genutzt werden.

Bild 1 a zeigt die Geschwindigkeit eines Massenblocks, der sich mit einer konstanten Verzögerung entlang einer zykliden Bahn bewegt. Die Verzögerung ist so gewählt, dass der Massenblock entweder am β -Punkt (der nahe am $(\alpha_m + \sigma)$ -Punkt liegt), am α_m -Punkt oder am $(\alpha_m - \sigma)$ -Punkt stoppt. Die entsprechenden Maximalgeschwindigkeiten $U_{max}/\sqrt{gH_{SC}/2}$ liegen im Bereich zwischen rund 0.75 und 1.

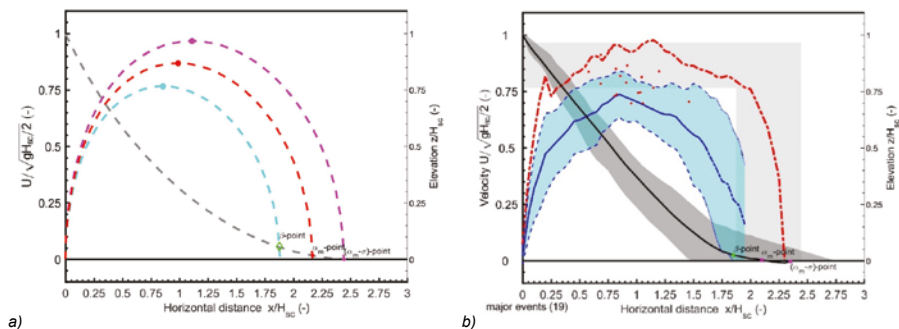


Bild 1 a) Geschwindigkeit eines Massenblocks, der sich mit konstanter Bremsbeschleunigung entlang einer zykliden Bahn (graue gestrichelte Linie; Steilheit im Auslösebereich $\phi_0 = 40^\circ$) bewegt und 1) den β -Punkt (türkisfarbene gestrichelte Linie), 2) den α_m -Punkt erreicht (rote gestrichelte Linie) und 3) der α_m - σ -Punkt (magenta-farbene gestrichelte Linie). Die entsprechenden Maximalgeschwindigkeiten sind mit einem Punkt • gekennzeichnet. b) Eine Zusammenfassung gemessener Frontgeschwindigkeiten von großen Lawinenereignissen in verschiedenen Lawinenbahnen. Die blaue Linie zeigt den Mittelwert, der blau schattierte Bereich den $\pm \sigma$ -Bereich und die rote gestrichelte Linie das beobachtete Maximum, das aus Beobachtungen entlang der Spur abgeleitet wurde. Rote Punkte markieren das jeweilige Maximum der verschiedenen Messungen. Die schwarze Linie repräsentiert die „mittlere Pfad“-Geometrie und der grauschattierte Bereich die Einhüllende aller Pfadgeometrien. Das hellgraue Polygon gibt einen Eindruck von den erwarteten Reichweiten für größere Lawinen.

Zum Vergleich sind auch die gemessenen maximalen Frontgeschwindigkeiten für eine Reihe größerer Lawinenereignisse dargestellt (Bild 1 b). Die Fallhöhen bei den Beobachtungen liegen zwischen 100 und 1200 m. Die einfachen Simulationen erfassen den beobachteten Trend recht gut.

Die Messungen und Simulationen deuten auch an, dass die erwartete Geschwindigkeit mit der Fallhöhe skaliert, d.h. $U(x) \propto \sqrt{gH_{SC}/2}$. Im Fall des Beispiels in der Abbildung 1 a) hat eine am α_m -Punkt stoppende Lawine am β -Punkt noch eine Geschwindigkeit von etwa $0.55\sqrt{gH_{SC}/2}$. Plant man nun einen Auffangdamm am β -Punkt, könnte man den benötigten Freibord in unserem Fall direkt auf die Fallhöhe H_{SC} beziehen:

$$H_{fb} \approx \frac{H_{SC}}{12 \lambda} + h_f. \quad (3)$$

D.h., der erforderliche Freibord würde in diesem Fall bei Trockenschneelawinen in der Größenordnung von 5 bis 10% der Fallhöhe liegen, was zu technisch nicht praktikablen Dammhöhen für Fallhöhen von über ca. 500 m führt.

3 Bestimmung der Designparameter

Gemäß Gleichung (1) sind Fließhöhe und Anströmgeschwindigkeit entscheidende Designparameter. Dabei ist besonders die richtige Wahl der Anströmgeschwindigkeit für die Dimensionierung eines Damms von Bedeutung, bzw. ist sie maßgeblich für das Restrisiko unterhalb des Damms (c.f. Faug et al., 2008). Zur Bestimmung dieser Designparameter ist es heute gängige Praxis numerische Lawinmodelle zu verwenden. Allerdings haben die in der Praxis gebräuchlichen Modelle, welche meist auf dem sogenannten Voellmy-Salm-Reibungsgesetz beruhen, die Tendenz gerade die Geschwindigkeit zu

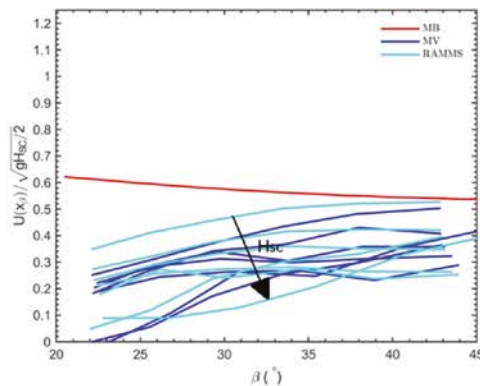


Bild 2 Normierte Geschwindigkeit $U(x_\beta)/\sqrt{gH_{SC}/2}$ am β -Punkt für verschiedene β -Winkel und Fallhöhen zwischen 100 und 1200 m. Das Massenblock Model ist invariant zur Änderung der Fallhöhe.

unterschätzen. Das ist u.a. im Hinblick auf die Dimensionierung von Sicherungsmaßnahmen, wie Auffang- oder Umlenkdamme, kritisch. Bild 2 zeigt einen Vergleich simulierter Geschwindigkeiten am β -Punkt für einen Massenblock (MB), und für die tiefengemittelten 2-D Modelle Mot-Voellmy (MV) und RAMMS (Gauer et al., 2020). Die Simulationen wurden für parabolische Sturzbahnen gemacht.

Das hier gezeigte einfache Massenblockmodell reflektiert die Beobachtungen relativ gut. Die beiden anderen Modelle unterschätzen die Geschwindigkeit, am ausgeprägtesten bei flachen Hängen und zunehmend mit der Fallhöhe. In Anbetracht der Tatsache, dass die Geschwindigkeit ein wichtiges Designkriterium ist, ist das ein kritischer Punkt.

4 Zusammenfassung

Gleichung (1) erlaubt erste einfache Abschätzungen für die Designparameter von Fangdämmen. Ausgefeiltere Methoden sind u.a. in Jóhannesson et al. (2008) oder Baillifard et al. (2007) beschrieben. Auch bei diesen Methoden sind die Fließgeschwindigkeit am Standort und die Fließhöhe entscheidende Designparameter und ihre Kenntnis kritisch. In allen Fällen verlangt die Dimensionierung von Dämmen die Kenntnis über das erwartete Fließverhalten der Lawine. Generell lässt sich wohl sagen, dass Fangdämme möglichst weit in die Auslaufzone der Lawine gebaut werden sollten. Ansonsten müssen die Dämme sehr hoch gebaut werden und werden damit unökonomisch oder nicht machbar. Auch lässt sich sagen, dass Auffangdämme nur begrenzte Schutzwirkung gegen reine Staublawinen oder schnelle stark fluidisierte Lawinen haben. Dieses brachte z.B. das Lawinenereignis in Flateyri (Island) am 14. Januar 2020 wieder ins Bewusstsein, auch wenn es glimpflich ausging (<https://www.youtube.com/watch?v=-Cfuus9DZJc> und <https://polarkreisportal.de/island-lawinen-in-den-westfjorden-wecken-erinnerungen-an-ungluecke>).



Bild 3 Der fluidizierte und der Staubanteil einer Lawine überfließt einen 15 m hohen Erddamm im Lawinenversuchsgelände Ryggfonn / Norwegen (Foto Krister Kristensen/NGI).

5 Literatur

Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning, <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (stand 2017-09-15)

BMLFUW-LE.3.3.3/0185-IV/5/2007 Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung (Fassung vom 04. Februar 2011)

Faug, T.; Gauer, P.; Lied, K. & Naaim, M. (2008) Overrun length of avalanches overtopping catching dams: Cross-comparison of small-scale laboratory experiments and observations from full-scale avalanches, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 2008, 113, F03009(1-17), doi:10.1029/2007JF000854

- Gauer, P. (2020) Considerations on scaling behavior in avalanche flow: Implementation in a simple mass block model *Cold Regions Science and Technology*, 2020, 180, 103165, doi: 10.1016/j.coldregions.2020.103165,
- Gauer, P.; Aalerud, A. H. & Body, N. S. (2020) AARN - Applied Avalanche Research in Norway: Avalanche observations versus numerical avalanche model: Simple test of model performance. Norwegian Geotechnical Institute, Technical note 20200017-04-TN, 2020
- Jóhannesson, T.; Gauer, P.; Issler, D. & Lied, K. (Eds.) (2009) The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments European Commission, Directorate-General for Research, 2009, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/12871>
- Bailfard, M.; Kern, M. & Margreth, S. (2007) Anleitung zur Dimensionierung von Lawinenauffangdämmen. Eidg. Institut f. Schnee- und Lawinenforschung, Davos, Eidg. Institut f. Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 2007.
- Lied, K. & Bakkehøi, S. (1980) Empirical calculations of snow-avalanche run-out distance based on topographic parameters *Journal of Glaciology*, 1980, 26, 165-177, doi:10.1017/S0022143000010704
- McClung, D. & Schaerer, P. *The Avalanche Handbook* The Mountaineers Books, 2006
- Margreth, S., Suda, J., Hofmann, R., Gauer, P., Sauermoser, S., Schilcher, W. and Skolaut, C. (2011). Permanenter Technischer Lawinenschutz: Bemessung und Konstruktion. In *Handbuch Technischer Lawinenschutz* (eds F. Rudolf-Miklau and S. Sauermoser)., pp. 207-293 <https://doi.org/10.1002/9783433600856.ch8>