

Steinschlag- und Felssturzd disposition im Dachsteinkalk – Versagensmechanismen und Reichweiten

SANDRA MELZNER (1)

Einleitung

Steinschlag und Felssturz nehmen unter den gravitativen Massenbewegungen eine besondere Stellung ein, da diese spontan und meistens als verhältnismäßig kleindimensionierte Prozesse auftreten, aber durch sehr hohe Geschwindigkeiten und ein hohes Zerstörungspotenzial gekennzeichnet sind. Zudem ist zwischen dem Ablöse- und Ablagerungsbereich oftmals eine große Distanz zu verzeichnen und abgelagerte Sturzblöcke im Siedlungsbereich werden oftmals von den Anrainern entfernt. Diese Faktoren erschweren die Kartierung, aber auch die Gefährdungsanalyse dieser Prozessgruppe. In der vorliegenden Arbeit werden einige Ergebnisse der Gefährdungsanalyse durch Steinschlag und Felssturz in der Gemeinde Hallstatt vorgestellt (MELZNER, 2015).

Tektonischer und geologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des höchsten Deckensystems der Nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin), dem Juvavischen Deckensys-

tem, welches in diesem Bereich durch die Dachstein-Decke und die Hallstätter Zone repräsentiert ist (MANDL, 2017: Abb. 3). Diese beiden tektonischen Einheiten sind durch unterschiedliche Fazies (Trias in Hallstätter Fazies, Trias in Dachsteinfazies) aufgebaut, die sich hinsichtlich ihrer geomechanischen Eigenschaften sehr stark unterscheiden.

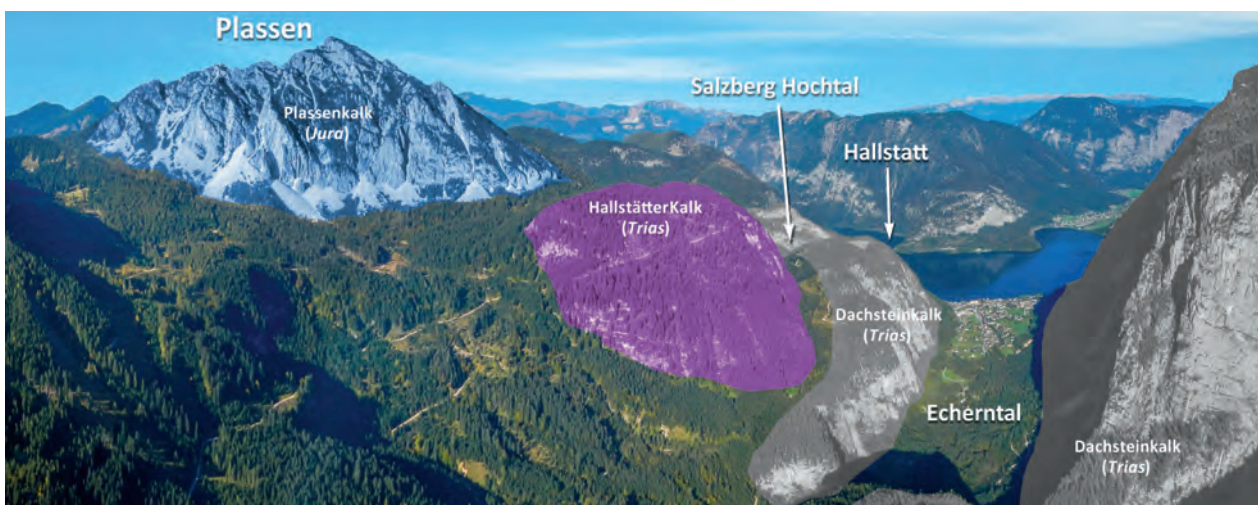
Die **Dachsteinfazies** wird durch Sedimentgesteine des seichtmarinen Tethys-Schelfs aufgebaut, die Gesteine der **Hallstätter Fazies** hingegen bildeten sich in einer Wassertiefe von einigen hundert Metern des Tiefschelfs (MANDL et al., 2012). Nach dem jurassischen Decken- und Gleitschollentransport wird das Relief durch den Plassenkalk (Oberjura) der sogenannten „**Neoautochtonen Hülle**“ plombiert (MANDL, 2017: Abb. 3).

Die großen lithologischen Unterschiede und demzufolge unterschiedlichen geomechanischen Eigenschaften (Festgesteine versus veränderlich feste Gesteine) führen zu einer räumlich unter-

Abb. 1.

Geologische Grunddisposition im Untersuchungsgebiet für das Auftreten dominanter Prozesse/Prozessketten gravitativer Massenbewegungen. Im glazial übersteilten Relief des Dachsteinkalks wird das Auftreten von Steinschlag und Felssturz vorwiegend durch die Raumstellung des Trenn-

flächengefüges und Verwitterungsprozesse kontrolliert. Im Bereich des Plassen ist Steinschlag und Felssturz ein Indikator für die Aktivität der tiefgreifenden Hangbewegung. Blickrichtung Ostnordost.



(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. sandra.melzner@geologie.ac.at

schiedlichen lithologischen Grunddisposition für Steinschlag- und Felssturzprozesse. In Abbildung 1 wird ersichtlich, dass es sich beim **Echerntal** um ein glaziales Trogtal im triassischen Dachsteinkalk handelt. Das übersteilte Relief und die relative Raumlage des Trennflächengefüges im Verschnitt mit der Hangoberfläche disponieren dieses Tal in hohem Maße gegenüber Steinschlag- und Felssturzprozessen. Der Bereich um den **Plassen** und das Salzberg Hochtal ist geologisch durch eine „Hart auf Weich“-Situation von triassischem (Hallstätter Fazies) und jurassischem Kalkstein („Plassen Scholle der Hallstätter Zone“) charakterisiert, welche permo-triassische, feinkörnige klastische Sedimente und Evaporite (vorwiegend des Haselgebirges) überlagern. Diese geotechnische Grunddisposition begünstigt, dass die sprödharten Kalksteine auf den plastisch-weichen tonhaltigen Gesteinen abdriften. Im Bereich des Plassen treten Sturzprozesse vorwiegend im Randbereich der Deckplatte aus Plassenkalk auf. Diese randliche Auflösung in Form von Sturzprozessen bedingt u.a. auch die Auslösung von Rutschungen und Schutt-/Erdströmen aufgrund der undrainierten Belastung des unterlagernden tonigen Materials (für Details siehe MELZNER et al., 2017).

Disponierende Faktoren

Die Ablösebereitschaft von Blöcken oder Felsmassen ist von einer Vielzahl unterschiedlicher Parameter abhängig, eine erkennbare Wechselwirkung besteht zwischen Reliefausbildung (z.B. Hangneigung), Materialeigenschaften (z.B. Reibungswinkel) und struktureller Merkmale (Orientierung der Trennflächen) der karbonatischen Sedimentgesteine.

Die Ausbildung bzw. Variabilität der Bankung im Dachsteinkalk resultiert aus der zyklischen Wiederholung typischer Lithofaziesabfolgen, die als Lofer-Zyklothem bezeichnet werden (MANDL et al., 2012) (Abb. 2a, b).

Aufgrund der leichteren Verwitterbarkeit der Residualsedimente (Horizont A in Abbildung 2a und b) kommt es zur Ausbildung deutlich ausgeprägter Bankungsfugen (Abb. 2a). Die aus der selektiven Verwitterung entstandenen Hohlräume („Unterschneidung“) und die niedrigen Reibungswinkel des mergelig-tonigen Materials (Abb. 2b) haben entscheidenden Einfluss auf die Hanginstabilität (Abb. 5).

Sehr typisch für den Dachsteinkalk ist, neben der deutlich ausgeprägten Bankung, der plötzli-

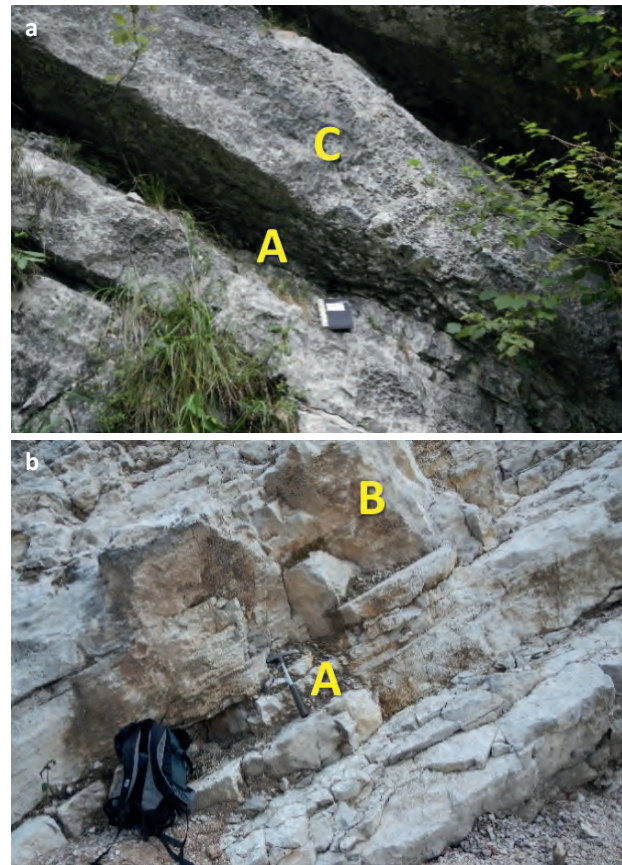


Abb. 2.

Lofer-Zyklothem; A = wenige cm-dicke Verwitterungshohlräume ehemaliger toniger/kalkiger Residualsedimente, häufig unter C; B = dolomitisierte karbonatische Gezeitsedimente mit einer Bankdicke von einigen Dezimetern; C = meterdicke, reine hellgraue Kalkbänke.

che Wechsel in der Ausbildung des Trennflächengefüges in Form von tektonischen Flexuren und das Vorhandensein dominanter Störungssysteme mit hohem Durchtrennungsgrad (Abb. 3b). Im gebankten Dachsteinkalk ist das primäre Trennflächengefüge (Abb. 3a) sehr maßgeblich bei der Kluftkörperausbildung. Das sekundäre Trennflächengefüge kann räumlich sehr variabel (z.B. zwischen Wandfuß bis in höhere Felswandbereiche) sein, von mehreren Bänken erfassend (große Blöcke oder Felsmassen) bis sehr engständig (= kleine Kluftkörper) (Abb. 3b).

Die Raumlage des Trennflächengefüges zur Hangexposition hat des Weiteren entscheidenden Einfluss auf die hydrogeologischen Verhältnisse. Die hangauswärts gerichteten Schichtungsflächen und markante Störungs-/Kluftflächen bieten gute Möglichkeiten für Niederschlags-/Hangwasser in Hangrichtung abzufließen und maßgeblich zum Versagen von größeren Felspartien beizutragen.

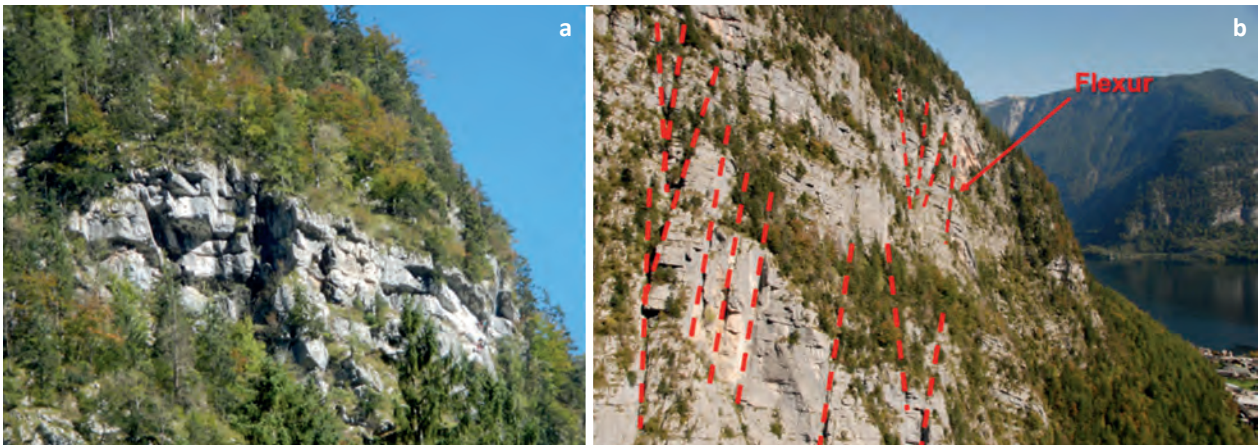


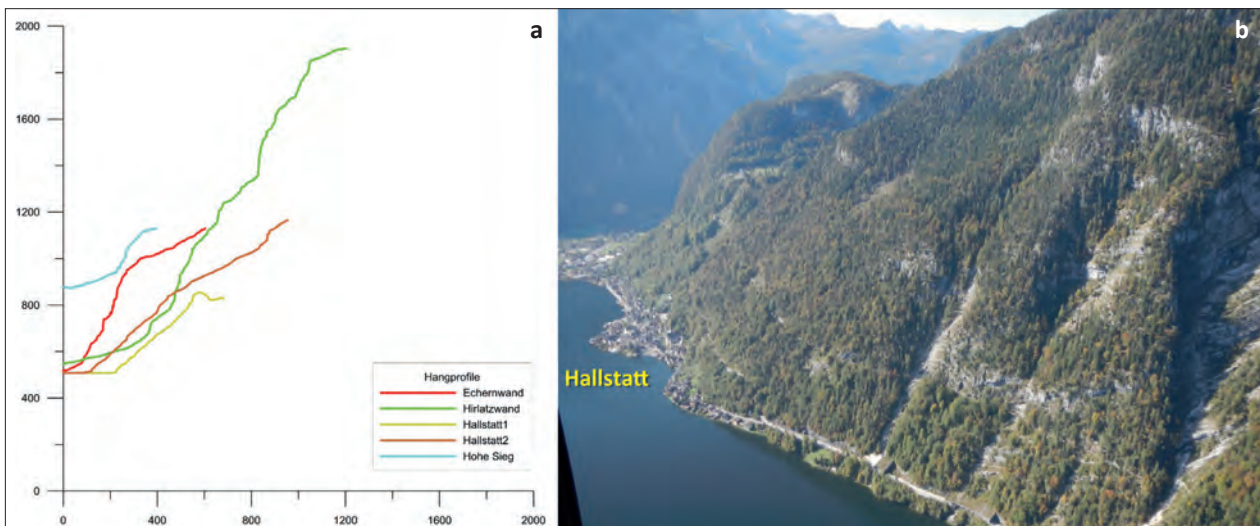
Abb. 3.
Der Dachsteinkalk ist neben der deutlich ausgeprägten Bankung durch plötzliche Wechsel im Trennflächengefüge in Form von tektonischen Flexuren und dominanter Störungen gekennzeichnet (Beispiel Echernwand).

Die Topografie des Untersuchungsgebietes ist durch sehr steile Einhänge gekennzeichnet (Abb. 4a). Dies ist darin begründet, dass aufgrund der extremen lithologischen Unterschiede und geomechanischen Eigenschaften der Gesteine, die erosive Wirkung der Gletscher besonders effektiv einsetzen konnte.

Das Echerntal ist durch annähernd vertikale, mehrere hundert Meter hohe Felswände charakterisiert, die vorwiegend aus mesozoischem *Dachstein-Kalkstein* (Dachstein-Decke) aufgebaut

sind. Die nordwest- bis nordostexponierte Hirlatzwand (grüne Profillinie in Abb. 4a) hat eine bedeutend längere und höhere Erstreckung (bis zu einer Höhe von annähernd 2.000 m ü. A.), als die südwestexponierte Echernwand (rote Profillinie in Abb. 4a). Zudem ist die Hirlatzwand in einigen Bereichen aufgrund der dip-slope Situation (hangparalleles Einfallen der Schichtung) durch flachere Hangneigungen als die Echernwand gekennzeichnet. Im Bereich der Ortschaft Hallstatt weisen die ost- bis südostexponierten Einhänge eine recht gleichförmig ansteigende Hangneigung auf, die mit durchschnittlich 40 bis 60 Grad flacher ist, als jene der Felswände des Echerntals. Die Hänge unterhalb des Rudolfsturms („Hallstatt 1“ = senfgelbe Profillinie in Abb. 4a) sind jedoch bedeutend kürzer ausgeprägt (etwa 820 m ü. A.), als die Einhänge orografisch links der Mühlbachschlucht („Hallstatt 2“ = braune Profillinie in Abb. 4a). Letztere sind jedoch in gleicher Höhe durch eine Geländekante zu dem flacher geneigten Hirschtal gekennzeichnet, das etwa in 1.000 m ü. A. wie-

Abb. 4.
Glazial übersteiltes Relief und Hangtopografie im Dachsteinkalk.
a: Echernwand (rote Linie), Hirlatzwand (grüne Linie), Hallstatt 1 (senfgelbe Linie), Hallstatt 2 (braune Linie) und Hohe Sieg (hellblaue Linie).
b: Felseinhänge oberhalb der Ortschaft Hallstatt. Blickrichtung Südsüdost.



der eine Versteilung der Hangneigung aufweist (Abb. 4b). Die orografisch rechten Einhänge des Salzberg Hochtals („Hohe Sieg“ = hellblaue Profilinie in Abb. 4a) weisen eine ähnliche Steilheit auf wie die Echernwand. Sie sind allerdings mit ca. 200 m Höhendifferenz zwischen Hohe Sieg und Talsohle bedeutend kürzer ausgeprägt.

Versagensmechanismen und Reichweite

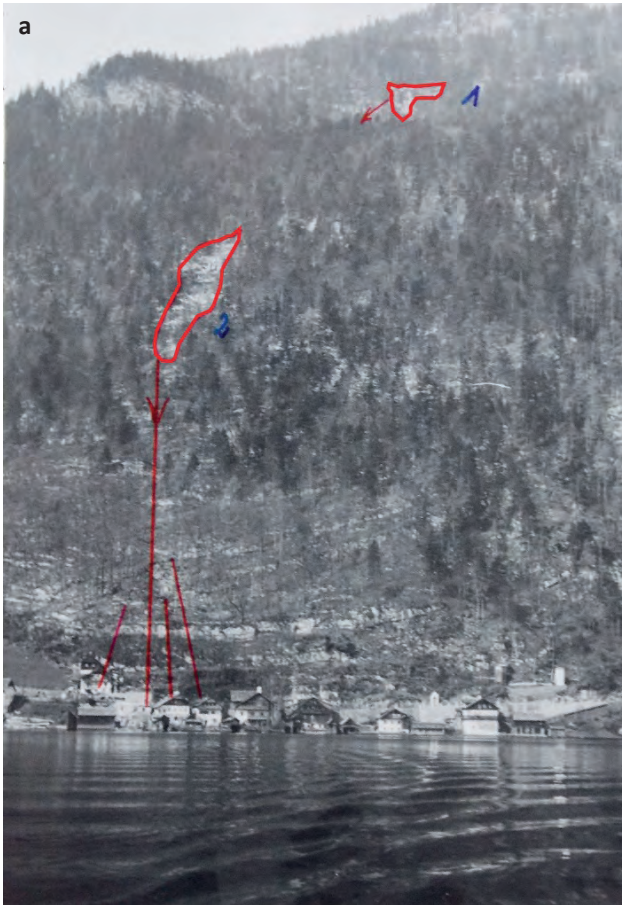
Echernwand: Die Schichtung des Dachsteinkalks fällt vorwiegend flach in den Hang ein, in Bereichen tektonischer Flexuren weist sie jedoch auch eine große Spannbreite von Einfallrichtungen/Einfallswerten auf. Aufgrund einiger Struktur-anomalien mit dominanten Trennflächenscharen und von Einschaltungen von Mergellagen ist der Gebirgsverband partiell tiefgreifend aufgelockert. Die Beschaffenheit des Trennflächengefüges und dessen relative Lage zur Felswandtopografie führt zu einer räumlichen Variabilität möglicher dominanter Versagensmechanismen. Generell ist eine – wenn auch unterschiedliche – Disposition für Steinschlag im ganzen Wandbereich gegeben, insbesondere in den Bereichen tiefgreifender Auflockerung. Der Akkumulationsbereich vergangener Sturzprozesse am Unterhang und Hangfuß ist durch Hangschuttablagerungen gekennzeichnet, wo Geländeneigungen mit bis zu 40 Grad vorkommen. Zwei Felssturzakkumulationen und vereinzelte Sturzblöcke weisen größere Reichweiten auf. Das Steinschlagereignis vom Juli 2012 weist ein geometrisches Gefälle von 45 Grad auf. Das Steinschlagereignis im September 2014 hat gezeigt,

dass bereits kleine Kubaturen große Intensitäten und Reichweiten erreichen können. Die meisten vermessenen Sturzblöcke im Tal-/Siedlungsbereich weisen Kubaturen $< 10 \text{ m}^3$ auf.

Hirlatzwand: Die vertikale Erstreckung dieser Felswand ist bedeutend größer als jene der Echernwand. Die Schichtung des Dachsteinkalks fällt vorwiegend hangauswärts bzw. schleifend zur Hangrichtung ein, in Bereichen tektonischer Flexuren weist sie jedoch auch eine große Spannbreite von Einfallrichtungen/Einfallswerten auf. Einige mögliche dominante Trennflächenscharen und Einschaltungen von Mergellagen verursachen partiell tiefgreifende Auflockerung bzw. Schwächung des Gebirgsverbandes, die hydrologischen Verhältnisse haben des Weiteren bedeutenden Einfluss auf die Prozessdisposition. Die Beschaffenheit und die dominante relative Lage der Trennflächen zur Felswandtopografie führen zu einer räumlichen Dominanz gleitender Versagensmechanismen (Abb. 5b). Eine Disposition für Sturzprozesse ist im ganzen Wandbereich – wenn auch unterschiedlich – gegeben, Felssturz- bis Bergsturzpotenzial ($> 1 \text{ Mio. m}^3$) ist sehr wahrscheinlich. Der Akkumulationsbereich vergangener Sturzprozesse ist durch mächtige Hangschuttablagerungen mit flacheren Neigungen als jener der Echernwand aufgebaut. Ein sehr großer Felssturzereignis, in dem wahrscheinlich mehrere Ereignisse erfolgten (und teilweise fluviatil überformt/verändert wurden), ist durch eine bedeutend größere Reichweite charakterisiert. Das Felssturzereignis vom Juli 2012 weist ein geometrisches Gefälle von 41 Grad auf. Die meisten vermessenen Sturzblöcke im Tal-/Siedlungsbereich weisen Kubaturen $< 12 \text{ m}^3$ auf.

Abb. 5.
Dispositions-faktoren und Versagensmechanismen: im Bereich der Felswandbereiche oberhalb der Ortschaft Hallstatt/des Hirschtals (a) und im westlichen Teil der Hirlatzwand (b).





Ortschaft Hallstatt: Die Orientierung der Schichtung des Dachsteinkalks ist vorwiegend flach einfallend und zeigt eine große Spannbreite von Einfallrichtungen (Abb. 5a). Aufgrund der flach einfallenden Schichtflächen und einhergehender Gesteinswechsel sind topografisch markante Felsstufen ausgebildet, die sich bedeutsam auf die Sturzprozesse (Sprunghöhe und Energien) auswirken können (Abb. 6a, b). In einigen Bereichen ist die Schichtung in Hangrichtung einfallend bzw. steil suborthogonal zum Hang streichend. Einige mögliche dominante Trennflächenscharen und Einschaltungen von Mergellagen verursachen auch hier partiell tiefgreifende Auflockerung bzw. Schwächung des Gebirgsverbandes. Aufgrund der flachen Lagerung der Schichtung dominieren kippende Versagensmechanismen. Steinschlag ist im ganzen Bereich möglich, Felssturzpotenzial ist in den Bereichen tiefgreifender Auflockerung möglich. Die Akkumulationsbereiche vergangener Sturzprozesse sind durch geringmächtige Hangschuttablagerungen und/oder Fels mit geringer Schuttauflage aufgebaut. Die meisten vermessenen Sturzblöcke im Siedlungsbereich weisen Kubaturen $< 5 \text{ m}^3$ auf. Es ist zu vermuten, dass größere Sturzblöcke direkt in den See gestürzt sind.

Abb. 6. Aufgrund hoher Sprunghöhen/-energien hat das Felssturzereignis vom 10. April 1965 keine Schneise in den Wald gehauen (a) und ein Haus zerstört und zwei Häuser beschädigt (b); zwei Menschen überlebten im Haus. Quelle: Polizeichronik (a) und Hans Jörgen Urstöger (b).

Hohe Sieg bis Niedere Sieg: Im Bereich der Hohen Sieg sind die Schichtflächen des Dachsteinkalks intensiv verfaultet und hangparallele Zerrstrukturen lösen größere Felspartien vom rückwärtigen steilen Gebirge ab. Letzteres ist auch bei der Niederen Sieg bedeutsam, allerdings sind dort die Schichtflächen nicht so stark verfaultet und Lösungshohlräume schwächen den Gebirgsverband. Der östliche Teil der Niederen Sieg ist durch ein Felsschrofen Gelände charakterisiert, welches keine tiefgreifenden Zerrstrukturen aufweist. Eine Disposition gegenüber Steinschlag ist in allen Felswandbereichen – wenn auch unterschiedlich – gegeben, Felssturzpotenzial ist vorwiegend in den Bereichen 1 und 2 möglich. Die Sturzablagerungen der drei Bereiche unterscheiden sich sehr stark voneinander: Bereich 1 ist durch mächtige grobblockige Sturz-/Felssturzakkumulationen aufgebaut, die Bereiche 2 und 3 sind durch geringmächtigere Sturzakkumulatio-



Abb. 7.
Lage der kartierten Sturzblöcke („Stummen Zeugen“, rote Punkte) im Bereich der Hohen Sieg und Niederen Sieg (Bereiche 1–3).

nen charakterisiert (Abb. 7). Die meisten vermesenen Sturzblöcke in der Talsohle weisen Kubaturen $< 1,1 \text{ m}^3$ auf. Es ist anzunehmen, dass einige Sturzblöcke von der Wiese geräumt worden bzw. direkt in den Mühlbach gerollt sind.

Fazit

Aufgrund der historisch gewachsenen Siedlungsstruktur von Hallstatt liegen einige Häuser und Infrastrukturen in potenziell gefährdeten Bereichen, weshalb eine nachhaltige Raumplanung nur bedingt möglich ist. Für die Abgrenzung potenziell gefährdeter Bereiche ist es ratsam, die

Literatur

- MANDL, G.W. (2017): Vom Traunstein zum Dachstein – Geologie im Querschnitt. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 22–28, Wien.
- MANDL, G.W., HUSEN VAN, D. & LOBITZER, H. (2012): Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl. – 215 S., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- MELZNER, S. (2015): Analyse des Gefahrenpotentials durch primäre Sturzprozesse (Steinschlag/Felssturz) – Gemeindegebiet Hallstatt. – Unveröffentlichter Bericht, 185 S., 10 Kartenbeilagen, Geologische Bundesanstalt, Wien.

Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden (Kartierung, Ereignischronik, Steinschlag-Simulation) im Kontext zueinander zu betrachten (MELZNER et al., 2017). Die Gefahrenzonierung ermöglicht es, künftige Siedlungsentwicklungen in potenziell gefährdeten Bereichen vorbeugend zu überdenken.

Dank

Ich bedanke mich bei Michael Lotter, Gerhard W. Mandl und Nils Tilch (alle Geologische Bundesanstalt, GBA), Wolfgang Gasperl, Michael Schiffer, Stefan Janu, Gerhard Scherer, Christian Pürstinger (alle Wildbach- und Lawinenverbauung, WLV), Hans Jörgen Urstöger und Karl Wirobal (beide Museum Hallstatt), Fritz Idam, Norbert Maier (beide Österreichische Bundesforste, ObF) und der Gemeinde Hallstatt.

- MELZNER, S., MOSER, M., OTTOWITZ, D., OTTER, J., LOTTER, M., MOTSCHKA, K., IMREK, E., WIMMER-FREY, I., ROHN, J. & PREH, A. (2017): Multidisziplinäre Grundlagenerhebung als Basis für die Implementierung eines Monitoringsystems am Plassen. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 140–146, Wien.