

PETER HÖLLER

Schneegleiten und Gleitschneelawinen – aktuelle Forschungsarbeiten und ihre Bedeutung für die Praxis

Zusammenfassung:

Auch wenn Untersuchungen auf dem Gebiet des Schneegleitens seit Mitte der 2000er Jahre wieder vermehrt in Angriff genommen wurden, so hat der Gleitschneewinter 2011/12 doch dazu geführt, dass heute weit intensiver an diesem Thema geforscht wird als vor 10 oder 15 Jahren. In diesem Artikel sollen die wichtigsten aktuellen Arbeiten vorgestellt und die praktische Relevanz einiger Erkenntnisse aufgezeigt werden.

Stichwörter:

Schneegleiten, Gleitschneelawinen, Lawinenschutz

Einleitung

Spätestens nach ist das Thema Se-
telpunkt vieler fa-
Gleitschneewint-
maßgeblich dafür
Bodenoberfläche
wassergehalt) in
sein (Höller, 20
halb der letzter
mit einer überd-
schneelawinen;
teleuropa, selbs
sind Gleitschne-
geworden; so v
Alaska von auß-
lawinen gekenn-
durchschnittlich
(Johnston-Bloor



Abb. 1: Gleitrisse

Einleitung

Spätestens nach dem Gleitschneewinter 2011/12 ist das Thema Schneegleiten wieder in den Mittelpunkt vieler fachlicher Betrachtungen gerückt. Gleitschneewinter treten nicht jedes Jahr auf, maßgeblich dafür dürften die Bedingungen an der Bodenoberfläche (Bodentemperaturen, Bodenwassergehalt) im Spätherbst und frühem Winter sein (Höller, 2014a). Höller (2014a) hat innerhalb der letzten 65 Jahren zumindest 8 Winter mit einer überdurchschnittlichen Zahl an Gleitschneelawinen gefunden. Aber nicht nur in Mitteleuropa, selbst in weit nördlicheren Regionen sind Gleitschneelawinen mittlerweile zum Thema geworden; so war etwa der Winter 2015/16 in Alaska von außergewöhnlich vielen Gleitschneelawinen gekennzeichnet, ausgelöst durch überdurchschnittliche Temperaturen und Schneefälle (Johnston-Bloom et al., 2016).

Wie Ancey und Bain (2015) feststellen, wird – obwohl derzeit kein klarer Trend zwischen Klimawandel und der Häufigkeit von Nassschneelawinen nachweisbar ist – die beobachtete Zunahme von Unfällen durch Nassschnee- und Gleitschneelawinen aber weitere Fragen aufwerfen.

Nach der allgemein gültigen Definition versteht man unter dem Begriff des Schneegleitens (Abb. 1) eine Translation der Gesamtschneedecke auf dem Untergrund (In der Gand, 1968a). Typische Werte für Gleitbewegungen liegen bei wenigen Millimetern pro Tag, wobei – abhängig von den Schneedeckenverhältnissen – auch Zentimeter pro Tag möglich sind. Die Öffnungsgeschwindigkeiten von Rissen liegen zwischen einigen Millimetern und einigen Dezimetern pro Stunde (Haefeli 1963).

Gleitraten dieser Größenordnung können negative Auswirkungen auf Hochlagenauf-



Abb. 1: Gleitrissen und Gleitbewegungen im Schmirntal (Foto: P. Höller).

forstungen haben und zur Beschädigung von Jungpflanzen, bisweilen auch zum gänzlichen Ausfall derselben führen.

Wenn sich unter starker Schmierwirkung durch Schmelzwasser das Schneegleiten zur Lawinenbewegung entwickelt, so bezeichnet man diesen Vorgang als Gleitschneelawine (UNESCO, 1981). Gleitschneelawinen (Abb. 2) werden durch zusätzliche Belastung, Regen auf Schnee oder Schneeschmelze (Jones, 2004) ausgelöst und können zu enormen Schäden an Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen führen; eine Prognose von Gleitschneelawinen ist schwierig (McClung und Schaerer, 2006), die künstliche Auslösung kaum möglich (Clarke und McClung, 1999; Simenhois und Birkeland, 2010).



Abb. 2: Gleitschneelawine in der Nähe von Hochfilzen (Foto: P. Höller)

Grundlegende Erkenntnisse

Bereits in den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts hat In der Gand (1954) die ersten Untersuchungen zum Schneegleiten angestellt. Messungen von In der Gand und Zupancic (1966) zeigten, dass die Schneedecke auf trockenem Boden nicht gleitet, das Vorhandensein einer Nassschneeschicht ein wesentliches Kriterium für Gleitbewegungen ist; die Ausbildung von Nassschneeschichten kann nach In der Gand und Zupancic (1966) durch Regen vor der ersten Schneeablagerung, durch Schmelze der dünnen Schneedecke infolge Einstrahlung, oder durch Infiltration von Wasser entlang des Untergrundes verursacht werden. Die Autoren fanden außerdem, dass das Gleiten nicht

nur von der untersten Grenze von der Rauigkeit der Boden wird und die Gleitgeschwindigkeit der Reibung abnimmt, insgesam dem Gewicht der Schneedecke Gleitgeschwindigkeit zu be

Nach In der Gand gerade der erste Schneefall bewirkt; er zeigte auf der Geschwindigkeit mit zunehmender ansteigt und auf Bermen sich auf Hängen mit wenig aus

Praktische Bedenken Arbeiten von Salm (1977) empirische Formulierung danach kann die Intensität dem sogenannten Gleitfaktor. Der Gleitfaktor ist abhängig von Feuchtigkeit und Exposition (siehe

McClung (1980) c. Schwankungen der Gleitgeschwindigkeit einer Abtrennung der Schneedecke durch einen dünnen Wasserschicht. Diese Schwankungen entstehen, wenn Wasser vorhanden ist, das durch Schmelze an der gespeicherten Bodenwärme der Schneedecke infolge Ein

Lackinger (1987, 1988) zonen und Gleitschneelawinen denselben Stellen mit etwa der Anbruchzonen auftritt konvexen Formen prädestiniert. Verzögerung zwischen Risikoauslösung konnte seinen Bereich einige Stunden aber auch Tage dauern. Lackinger (1988) macht die Auslösung von Gleitschneelawinen abhängig von: (i) zunehmende Spannung und (ii) mangelnder Scherwiderstand.

Nach McClung et al.

nur von der untersten Grenzschicht, sondern auch von der Rauigkeit der Bodenoberfläche beeinflusst wird und die Gleitgeschwindigkeit mit zunehmender Reibung abnimmt, insgesamt aber mit steigendem Gewicht der Schneedecke eine Zunahme der Gleitgeschwindigkeit zu beobachten ist.

Nach In der Gand (1968b) verursacht gerade der erste Schneefall häufig intensive Gleitbewegungen; er zeigte auch, dass die Gleitgeschwindigkeit mit zunehmender Hangneigung ansteigt und auf Bermen signifikant kleiner ist als auf Hängen mit wenig ausgeprägtem Relief.

Praktische Bedeutung erlangten die Arbeiten von Salm (1977). Er entwickelte eine empirische Formulierung des Schneegleitens; danach kann die Intensität des Schneegleitens mit dem sogenannten Gleitfaktor ermittelt werden. Der Gleitfaktor ist abhängig von Oberflächenrauigkeit und Exposition (siehe auch Margreth, 2007).

McClung (1980) deutete an, dass starke Schwankungen der Gleitgeschwindigkeit nur mit einer Abtrennung der Schneedecke vom Boden durch einen dünnen Wasserfilm zu erklären sind. Diese Schwankungen entstehen, wenn zusätzliches Wasser vorhanden ist, das entweder durch Regen, durch Schmelze an der Grenzschicht infolge gespeicherter Bodenwärme, oder durch Schmelze der Schneedecke infolge Einstrahlung herrührt.

Lackinger (1987, 1988) fand, dass Risszonen und Gleitschneelawinen beinahe immer an denselben Stellen mit etwa identer Abgrenzung der Anbruchzonen auftreten (wobei Hänge mit konvexen Formen prädestiniert erscheinen). Die Verzögerung zwischen Rissbildung und Lawinenauslösung konnte seinen Beobachtungen zufolge einige Stunden aber auch mehrere Wochen betragen. Lackinger (1988) macht zwei Prozesse für die Auslösung von Gleitschneelawinen verantwortlich: (i) zunehmende Spannungen und (ii) abnehmender Scherwiderstand.

Nach McClung et al. (1994) dürften die

Gleitschwankungen im frühen Winter auf die gespeicherte Bodenwärme (wodurch das Schmelzen an der Grenzschicht begünstigt wird) und die relativ geringe Dichte des ersten Schnees zurückzuführen sein. Im Frühling scheinen hingegen Schmelzwasser und Regen zu höheren Gleitspitzen beizutragen.

Clarke und McClung (1999) unterscheiden zwischen ‚warm temperature events‘ und ‚cold temperature events‘. Dabei werden die ersteren vor allem durch Regen oder höhere Temperaturen verursacht. Bei ‚cold temperature events‘ liegt die Lufttemperatur unter dem Gefrierpunkt; diese Ereignisse werden durch das Vorhandensein von Schmelzwasser an der Grenzschicht Schnee/Boden gesteuert (gespeicherte Bodenwärme führt zu Schmelzprozessen an der Basis der Schneedecke). Clarke und McClung (1999) folgerten, dass insbesondere jene meteorologischen Bedingungen die die Bildung von freiem Wasser begünstigen, für die Prognose von Gleitschneelawinen verwendet werden können; das Gleiten an sich ist kein zuverlässiger Indikator für die Auslösung von Gleitschneelawinen. Selbst Risse sind kein verlässliches Hinweiszeichen. So weisen McClung und Schaerer (2006) darauf hin, dass Lawinen manchmal schon kurz nach der Öffnung eines Risses entstehen, diese aber auch erst viel später auftreten können, obwohl ein Riss schon Wochen oder Monate bestanden hat.

Aktuelle Forschungsarbeiten

Leitinger et al. (2008) entwickelten ein einfaches Schneegleitmodell, das es ermöglicht mit Hilfe von sechs Parametern (Wald, Hangneigung, Winter-Niederschlag, Reibungskoeffizient, Exposition W, Exposition E) die Schneegleitdistanz zu bestimmen. Sie fanden, dass das Gleiten im unbewaldeten Terrain vor allem durch die Hangneigung und den Winter-Niederschlag beeinflusst wird.

Zur Bestimmung von Gleitrissen verwendeten Hendriks et al. (2010) Laser-Entfernungsmesser. Van Herwijnen und Simenhois (2012) nutzten die Zeitraffer-Fotographie zur Überwachung von Gletschneelawinen; sie zeigten, dass das Öffnen von Gleitrissen mit einer Zunahme von dunklen Bildpunkten einhergeht und dass die Anzahl dieser Pixel einige Stunden vor einer Lawinenauslösung deutlich ansteigt. Eine starke Erweiterung von Rissen kann also vor einem Gletschneelawinenanbruch erwartet werden. Andererseits bedeutet eine rasche Ausdehnung von Gleitrissen nicht zwangsläufig, dass eine Lawine ausgelöst wird.

Nach Simenhois and Birkeland (2010) können hohe Temperaturen vor dem ersten Schneefall verantwortlich für intensives Gleiten sein. Die Bildung von Gleitrissen (oder das Fehlen solcher) kann ihren Erhebungen nach aber nicht immer als Indikator für Gletschneelawinen herangezogen werden.

Interessante Erkenntnisse förderten Stemberis and Rubin (2011) zutage. Sie wiesen nach, dass das Schneegleiten vor einem Lawinenanbruch nicht kontinuierlich verläuft, vielmehr wechselten ausgeprägte Gleitphasen mit Zeitspannen geringerer Bewegungen.

Peitzsch et al. (2012) stellten fest, dass ein Anstieg der Temperatur auch eine Zunahme des Wasserstroms durch die Schneedecke bewirkt, was letztlich Gletschneelawinen begünstigt; der Gleitfaktor, die maximale Hangneigung, die Summe der Globalstrahlung und die Geländekrümmung gehören nach ihrer aktuellsten Studie zu wichtigsten Einflussparametern (Peitzsch et al., 2015).

Höller (2012) erstellte eine einfache Methode, um schneegleitgefährdete Standorte zu identifizieren. Unter Berücksichtigung von vier Parametern (Region, Exposition, Hangneigung, Oberflächenrauigkeit) mit jeweils 3 Ausprägungen kann auf einfachem Weg das Ausmaß des Gleitens ermittelt werden.

Mitterer und Schweizer (2012) analysierten den Einfluss des Flüssigwasseranteils auf das Schneegleiten. Ihrem Modell zufolge kann Wasser infolge kapillarer Effekte bis zu 0,2 m in den Schnee aufsteigen. Bei der Entstehung von Nassschneegrenzschichten und der Ausbildung von Gletschneelawinen spielen also Kapillarkräfte eine entscheidende Rolle.

Bartelt et al. (2012) untersuchten die Rolle des Stauchwalls. Die Autoren fanden, dass – nach der Öffnung eines Risses – eine Umverteilung der Spannungen von der Krone zum Stauchwall erfolgt. Die Stabilität hängt von der Fähigkeit der Druckzone ab, diesen plötzlichen Spannungswechsel zu absorbieren.

Feick et al. (2012) benutzten Satellitenbilder und Zeitraffer-Fotographien um Gleitrisse zu ermitteln. Gleitrisse auf komplett schneebedeckten Hängen konnten mit hoher Genauigkeit abgebildet werden, bei felsdurchsetzten Hängen, bzw. an Standorten mit Bäumen oder Stützverbauungen ist eine Auswertung aber problematisch. Die Überwachung durch terrestrische Fotografie zeigte, dass die meisten Gleitrisse nie zu einer Lawine führten. Nach Feick et al. (2012) entwickelten sich – nachdem ein Riss sichtbar wurde – 15% der Gleitrisse innerhalb einer Stunde zu einer Lawine; bei 40% der Gleitrisse passierte dies in einem Zeitraum von fünf Stunden. In vielen Fällen konnte aber vor einem Gletschneelawinenanbruch keine Rissöffnung im Foto erkannt werden. Der hohe Prozentsatz von Gletschneelawinen ohne vorhergehenden Riss legt die Vermutung nahe, dass zwischen Rissöffnung und folgender Gletschneelawine nur eine kurze Verzögerungszeit besteht (Feick et al., 2012).

Untersuchungen über die erforderliche Zahl an Stämmen/ha, um die Gleitgeschwindigkeit auf einem unkritischen Niveau zu halten, hat Höller (2014b) angestellt. Er betont, dass unter durchschnittlichen Bedingungen 300 bis 350

Stämme/ha ausreichen, das d-1 nicht überschreitet, es werden keine Gefährdungen durch In der Gand (1968b) nur die Bedingungen als kritisch (kritische Aufforstungen geschädigt werden, die zur Bildung von Gletschneerutschen führen).

Zur Quantifizierung der Reibungsparameters verwendet (2014) das oben beschriebene Modell (Bartelt et al. (2012), das die sich bewegenden Schneedecke erfasst. Um ein Versagen zu verhindern, muss bei großer Länge des Hanges (bzw. bei steilen Hängen) die Schneedecke erhöht werden. Einschließlich der Richtlinien, in welchen Fällen die maximale Größe von Bergräumen sind, um Gletschneelawinen zu vermeiden, vernachlässigen aber die Bodenrauigkeit und unter der Gefahr auf glatten Hängen.

Dreier et al. (2012) untersuchten die Schneeaktivität mit meteorologischen Daten. Dabei unterschieden sie zwischen 'cold temperature events' im Hochwinter und 'warm temperature events' im Spätwinter (Kapitel 2). Bei den 'cold temperature events' sind die minimale Lufttemperatur des Neuschnees vor der Lawine zu den signifikantesten Faktoren. Bei den 'warm temperature events' sind die Temperatur, die Schneeoberfläche, die Abnahme der Schneehöhe und die Variablen gehörten. Die Hypothese stützen, dass unterschiedlichen Prozentsatz der Lawinen nach dem ob es sich um Früh- oder Spätwinter (Frühling

Stämme/ha ausreichen, damit das Gleiten 1.5 mm d-1 nicht überschreitet, ein Wert der für Jungpflanzen keine Gefährdung darstellt, werden ja nach In der Gand (1968b) nur solche Gleitgeschwindigkeiten als kritisch (kritisch in dem Sinne, dass Aufforstungen geschädigt werden können) angesehen, die zur Bildung von Gleitschneerissen und Gleitschneerutschen führen können.

Zur Quantifizierung des Coulomb'schen Reibungsparameters verwendeten Feistl et al. (2014) das oben beschriebene Modell von Bartelt et al. (2012), das die dynamische Kraft der sich bewegenden Schneedecke in den Stauchwall erfasst. Um ein Versagen des Stauchwalls zu verhindern, muss bei größerer Hangneigung und Länge des Hanges (bzw. Länge der zu berücksichtigenden Schneetafel) die Reibung entsprechend erhöht werden. Einschlägige Bewirtschaftungsrichtlinien, in welchen oft auch Angaben über die maximale Größe von Bestandeslücken enthalten sind, um Gleitschneelawinenanbrüche zu verhindern, vernachlässigen aber zumeist die Rolle der Bodenrauigkeit und unterschätzen deshalb die Gefahr auf glatten Hängen.

Dreier et al. (2016) verglichen die Gleitschneeaktivität mit meteorologischen Parametern. Dabei unterschieden sie zwischen 'cold temperature events' im Hochwinter und 'warm temperature events' im Spätwinter (Beschreibung siehe Kapitel 2). Bei den 'cold temperature events' zählten die minimale Lufttemperatur und die Menge des Neuschnees vor einer Lawinenauslösung zu den signifikantesten Variablen, während bei den 'warm temperature events' die Lufttemperatur, die Schneeoberflächentemperatur und die Abnahme der Schneehöhe zu den wesentlichsten Variablen gehörten. Die Erkenntnisse dürften die Hypothese stützen, dass Gleitschneelawinen von unterschiedlichen Prozessen gesteuert werden, je nachdem ob es sich um Lawinen im Hochwinter oder Spätwinter (Frühling) handelt.

Baumgärtner (2016) zeigte, dass der Wassergehalt bei 0 cm und der Bodenwassergehalt in 1,5 cm Tiefe den größten Einfluss auf das Auftreten von Gleitbewegungen hat.

Maggioni et al. (2016) haben ihre Untersuchungen auf die vier wesentlichsten topographischen Faktoren konzentriert: Hangneigung, Exposition, Rauigkeit, Landbedeckung. Jeder dieser Faktoren wurde in mehrere Klassen (Intensitätsstufen des Schneegleitens) eingeteilt und ein 'Schneegleit-Dispositionsindex' erstellt; je größer dieser Index umso größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass entsprechende Schneegleitbewegungen auftreten.

Skrede et al. (2016) haben gezeigt, dass Verschiebungen an der Schneeoberfläche mittels Bodenradar gemessen werden können. Sie konnten deutliche Beschleunigungen vor einem Bruch feststellen; wenngleich noch weitere Forschungsarbeiten notwendig sein werden um diese Methode als zuverlässiges Warnsystem zu etablieren, so scheinen die Ergebnisse doch darauf hinzudeuten, dass Bodenradar grundsätzlich zur Prognose von Gleitschneelawinen eingesetzt werden kann.

Bedeutung für die Praxis

Das Modell von Leitinger et al. (2008) ermöglicht unter Berücksichtigung von sechs Parametern die Schneegleitdistanz für jeden beliebigen Standort einfach zu bestimmen. Da bei der Berechnung nur topographische Faktoren einbezogen werden, kann die Methode gleichsam als Vorprüfung (und zunächst auch ohne Geländebegehung) angewendet werden.

Höller et al. (2009) haben in einer größeren Versuchsreihe innerhalb von Aufforstungen die Zugkräfte ermittelt, die erforderlich sind, um ein Ausreißen von Jungpflanzen zu bewirken. Daraus entwickelten sie einen Ansatz mit der

die notwendige Höhe von Hindernissen (Erdböcker, Bermen...) bestimmt werden kann, um das Schneegleiten auf ein für Jungpflanzen unbedenkliches Maß zu senken.

Erfolgversprechende Methoden zur Warnung bzw. Prognose dürften Laser-Entfernungsmesser (Hendriks et al., 2010) und die Zeitraffer-Fotographie (van Herwijnen and Simenhois, 2012; Feick et al., 2012) sein.

Praktische Bedeutung hat auch der Ansatz zur Identifizierung schneegleitgefährdeter Standorte (Höller, 2012). Das Ausmaß des Gleitens wird über vier Parameter (Region, Exposition, Hangneigung, Oberflächenrauigkeit) mit jeweils 3 Ausprägungen ermittelt. Damit kann die Disposition einzelner Standorte für Gleitbewegungen bestimmt werden; zur einfacheren Handhabung wurden die Werte nicht in mm d-1, sondern in vier Intensitätsstufen (geringes, moderates, hohes

und sehr hohes Gleiten) angegeben. Für jede Intensitätsstufe des Gleitens wird ein entsprechendes Maßnahmenpaket vorgeschlagen.

Rissöffnungen stellen die Verantwortlichen (Lawinenkommissionen) oft vor große Probleme, insbesondere wenn es darum geht, geeignete Maßnahmen zu ergreifen; Entscheidungshilfen gab es bisher kaum. Die Erkenntnisse von Bartelt et al. (2012) brachten diesbezüglich einen Fortschritt. So wird nicht angeraten, den Stauchwall mechanisch zu räumen (da dadurch die Basis fehlt, um das Gewicht der darüberliegenden Schneetafel zu halten). Vielmehr sollte die Schneetafel oberhalb des Stauchwalls mechanisch entfernt werden, damit sich die Belastung auf den Stauchwall verringert. Auch die Möglichkeit, den Stauchwall zu sprengen und die Auslösung zu erzwingen, kann ins Auge gefasst werden. Allerdings kann eine negative

Sprengung auch dazu führen, die Wurzeln zu schwächen, was die Wurzeln unkontrollierten und erhöht.

Während es bei der Bewertung von Merkmalen für die Ausschätzung der Gefahr gibt (z. B. dynamische Parameter bei Schneegleitbewegungen), sind die Charakteristika verfügbar. Die Parameter auf einem kleinen Abhang (z. B. als Schneegebiet oder als Schneegebirge) werden soll, bzw. ob es vernachlässigt werden kann (Margreth, 2013). Basierend auf diesen (siehe oben), die jeweils in der Bewertung wurden und mit Punktergebnissen sind, hat Margreth (2013) festgestellt, wie die Gefahr von Schneegleitbewegungen beurteilt werden kann und in der Planung einbeziehen lässt.

Ein seit langem bekanntes Problem ist es, Schutzbauten so zu gestalten, dass sie so zu bewirtschaften), da die natürlichen Schneedecke mit Hilfe der Erkenntnisse lässt sich feststellen, welche Hangneigung und Hanglänge ein Versagen des Stauchwall oder Gleitschneelawinenanbruch auslösen kann.

Die von Maggiorani entwickelte Methode ermöglicht es, mit Hilfe der Geländeparameter die Ausprägungen für Schneegleiten zu ermitteln. Die Parameter lassen sich aus den Geländedaten eruiert und zur Erstellung von 'Gleit-Dispositionskarten' genutzt werden. Bereits im Vorfeld (etwa bei der Planung eines Schutzprojektes) ein gutes Bild der Flächen gewonnen werden, die von Schneegleitbewegungen betroffen sind.

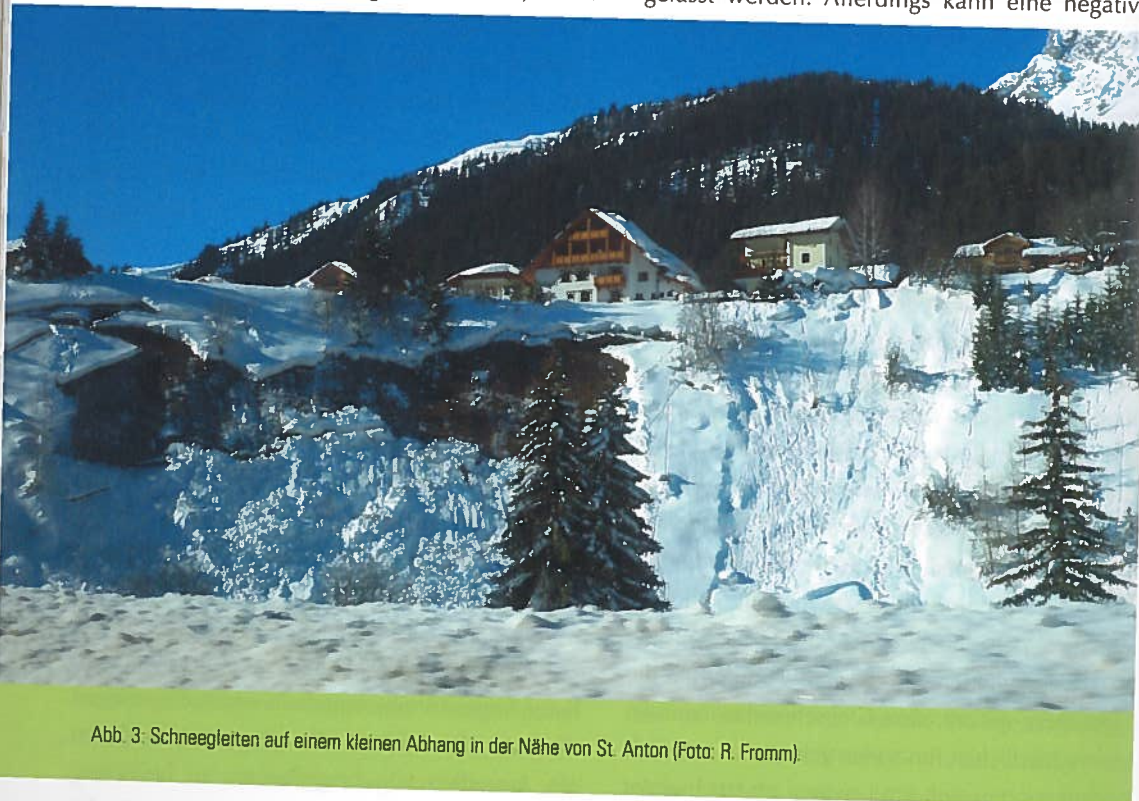


Abb. 3: Schneegleiten auf einem kleinen Abhang in der Nähe von St. Anton (Foto: R. Fromm).

Sprengung auch dazu führen den Stauchwall zu schwächen, was die Wahrscheinlichkeit einer unkontrollierten und verzögerten Auslösung erhöht.

Während es bei Lawinen entsprechende Merkmale für die Ausscheidung von Gefahrenzonen gibt (z. B. dynamischer Lawinendruck), sind bei Schneegleitbewegungen keine analogen Charakteristika verfügbar. Die Kriterien ob die Gefahr auf einem kleinen Abhang (Abb. 3) als Lawinengebiet oder als Schneegleitgebiet gehandhabt werden soll, bzw. ob diese Gefahr überhaupt vernachlässigt werden kann, sind nicht definiert (Margreth, 2013). Basierend auf sieben Faktoren (siehe oben), die jeweils in drei Klassen unterteilt wurden und mit Punkten von 1 bis 3 versehen sind, hat Margreth (2013) eine Methode entwickelt, wie die Gefahr von Schneegleitbewegungen beurteilt werden kann und sich in die Zonenplanung einbeziehen lässt.

Ein seit langem bestehendes Problem ist es, Schutzbauten so zu gestalten (bzw. Bestände so zu bewirtschaften), dass sie den Kräften der natürlichen Schneedecke standhalten können. Mit Hilfe der Erkenntnisse von Feistl et al. (2014) lässt sich feststellen, welche Rauigkeit bei welcher Hangneigung und Hanglänge erforderlich ist, um ein Versagen des Stauchwalls (und somit einen Gleitschneelawinenanbruch) zu verhindern.

Die von Maggioni et al. (2016) entworfene Methode ermöglicht es mit vier relevanten Geländeparametern die Anfälligkeit von Standorten für Schneegleiten zu ermitteln. Die einzelnen Parameter lassen sich aus digitalen Geländemodellen eruieren und zur Erstellung von ‚Schneegleit-Dispositionskarten‘ verwenden. So kann bereits im Vorfeld (etwa vor dem Beginn eines Schutzprojektes) ein guter Überblick über jene Flächen gewonnen werden, die empfänglich für Schneegleitbewegungen sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Zukünftige Forschungsfragen werden sich vermehrt mit Fragen der Warnung und Prognose auseinandersetzen müssen. Dabei kann die kontinuierliche Messung des Wassergehaltes (insbesondere an der Grenzschicht Schnee/Boden) helfen, das Vorhandensein von Schmelzwasser zu erkennen und so eine verbesserte Vorhersage von Gleitschneelawinen zu ermöglichen. Die Prognose von Gleitschneelawinen erfordert aber auch Kenntnisse über Änderungen der Eigenschaften der Druckzone als Funktion der Temperatur bzw. anderer zeitabhängiger Variablen.

Ungeklärt ist außerdem, welche Einflussgrößen die Entwicklung zu einem ‚Gleitschneewinter‘ begünstigen. Eine Hypothese geht davon aus, dass die Bedingungen des Bodens bzw. der Bodenoberfläche (Bodentemperaturen, Bodenwassergehalt) im Spätherbst und frühem Winter maßgeblich beteiligt sind; dieser Annahme liegen zwar Beobachtungen zugrunde, genaue Analysen gibt es aber nicht.

Eine wichtige zukünftige Aufgabe wird auch sein, das Bewusstsein für Schneegleitbewegungen im Wald zu schärfen. So fehlen Modelle, die die Bildung von Gleitschneelawinen in Bestandeslücken beschreiben. Entsprechende Erkenntnisse auf diesem Gebiet würden es erlauben Schutzmaßnahmen zu optimieren.

Anschrift des Verfassers / Author's address:

Priv. Doz. Dipl.-Ing. Dr. Peter Höller
Bundesforschungszentrum für Wald,
Institut für Naturgefahren
Rennweg 1
6020 Innsbruck, Austria
peter.hoeller@bfw.gv.at

Literatur / References:

- ANCEY C., BAIN V. (2015). Dynamics of glide avalanches and snow gliding. *Rev. Geophys.*, 53, 745–784.
- BARTELT P., FEISTL T., BÜHLER Y., BUSER O. (2012). Overcoming the stau wall: Viscoelastic stress redistribution and the start of full-depth gliding snow avalanches. *Geophys. Res. Lett.* 39.
- BAUMGÄRTNER S. (2016). Analyse der Einflussparameter auf das Schneegleiten. Masterarbeit, Univ. Innsbruck, 83S.
- CLARKE J., MCCLUNG D. (1999). Full-depth avalanche occurrences caused by snow gliding, Coquihalla, British Columbia, Canada. *J. Glaciol.* 45(151), 539–546.
- DREIER L., HARVEY S., VAN HERWIJNEN A., MITTERER C. (2016). Relating meteorological parameters to glide-snow avalanche activity. *Cold Reg. Sci. Techn.* 128, 57–68.
- FEICK S., MITTERER C., DREIER L., HARVEY S., SCHWEIZER J. (2012). Automated Detection and Monitoring of Glide-Snow Events Using Satellite Based Optical Remote Sensing and Terrestrial Photography. In ISSW 2012, International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska, USA, 603–609.
- FEISTL T., BEBI P., DREIER L., HANEWINKEL M., BARTELT P. (2014). Quantification of basal friction for technical and silvicultural glide-snow avalanche mitigation measures. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2921–2931.
- HAEFELI R. (1963). Stress transformations, tensile strengths and rupture processes of the snow cover. In: W.D. Kingery (ed). "Ice and Snow". MIT Press. Separatdruck: 560 – 575.
- HENDRIKX J., PEITZSCH E., FAGRE D. (2010). A Practitioner's Tool for Assessing Glide Crack Activity. In ISSW2010, International Snow Science Workshop, Squaw Valley, California, USA, 395 – 396.
- HÖLLER P., FROMM R., LEITINGER G. (2009). Snow forces on forest plants due to creep and glide. *Forest Ecology and Management* 257, 546–552.
- HÖLLER P. (2012). Zur Bestimmung schneegleitgefährdeter Standorte und Planung von Gleitschutzmaßnahmen und Hochlagenaufforstungen. *Allg. Forst- u. Jagdztg.*, 183, 94–100.
- HÖLLER P. (2014a). Snow gliding and glide avalanches: A review. *Nat. Hazards* 71 (3), 1259–1288.
- Höller P. (2014b). Snow gliding on a south-facing slope covered with larch trees. *Ann. Forest Science*, 71, 81–89.
- IN DER GAND H. (1954). Beitrag zum Problem des Gleitens der Schneedecke auf dem Untergrund. *Winterbericht Eidg. Inst. f. Schnee- und Lawinenforschung* Nr. 17, 103–117.
- IN DER GAND H., ZUPANCIC M. (1966). Snow Gliding and Avalanches, *IAHS-Publ.* No.69, pp 230–242.
- IN DER GAND H. (1968a). Neue Erkenntnisse über das Schneegleiten. *Schweizer Bauzeitung*, 86 (31), 557 – 661.
- IN DER GAND H. (1968b). Aufforstungsversuche an einem Gleitschneehang. *Mitteilungen der Schweizer Anstalt für das Forstliche Versuchswesen*, 44, 233–326.
- JOHNSTON-BLOOM A., THAMM H., PREDEGER G., WAGNER W., HILLIARD S., GLASSETT T. (2016). Southcentral Alaska's crack problem: a glide avalanche study. In ISSW 2016, International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, USA, 58 – 65.
- JONES A. (2004). Review of Glide Processes and Glide Avalanche Release. *Avalanche News* 69, 53 – 60.
- LACKINGER B. (1987). Stability and fracture of the snow pack for glide avalanches. *IAHS-Publ.* 162, pp 229–240.
- LACKINGER B. (1988). Zum Problem der Gleitschneelawine. *Proc. Interpraevent 1988*, Graz, Band 3, S. 205–226.
- LEITINGER G., HÖLLER P., TASSER E., WALDE J., TAPPEINER U. (2008). Development and validation of a spatial snow-glide model. *Ecological Modelling*, 211, 363–374.
- MAGGIONI M., GODONE D., HÖLLER P., OPPI L., STANCHI S., FRIGO B., FREPPAZ M. (2016). Snow gliding susceptibility: the Monterosa Ski resort, NW Italian Alps. *Journal of Maps.* <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2016.1167785>.
- MARGRETH S. (2007). Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 136 S.
- MARGRETH S. (2013). When should a hazard map show the risk of small avalanches or snow gliding? In ISSW2013, International Snow Science Workshop, Grenoble, Frankreich, 679–683.
- MCCLUNG D. (1980). Creep and Glide Processes in Mountain Snowpacks. *Nat. Hydr. Research Inst. Canada*, Paper No. 6., 66 pp.
- MCCLUNG D., WALKER S., GOLLEY W. (1994). Characteristics of snow gliding on rock. *Ann. Glaciol.* 19, 97–103.
- MCCLUNG D., SCHAEFER P. (2006). The Avalanche Handbook. The Mountaineers Books, Seattle, 342pp.
- MITTERER C., SCHWEIZER J. (2012). Towards a Better Understanding of Glide-Snow Avalanche Formation. In ISSW 2012, International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska, USA, 610 – 616.
- PEITZSCH E., HENDRIKX J., FAGRE D., REARDON B. (2012). Examining spring wet slab and glide avalanche occurrence along the Going-to-the-Sun Road corridor, Glacier national park, Montana, USA. *Cold Reg. Sci. Techn.* 78, 73–81.
- PEITZSCH E., HENDRIKX J., FAGRE D. (2015). Terrain parameters of glide snow avalanches and a simple spatial glide snow avalanche model. *Cold Reg. Sci. Techn.* 120, 237–250.
- SALM B. (1977). Snow forces. *J. Glaciol.* 19(81), 67–100.
- SIMENHOIS R., BIRKELAND K. (2010). Meteorological and Environmental Observations from Three Glide Avalanche Cycles and the Resulting Hazard Management Technique. In ISSW2010, International Snow Science Workshop, Squaw Valley, California, USA, 846 – 853.
- SKREDE I., KRISTENSEN L., RIVOLTA C. (2016). Use of ground based InSAR radar to monitor glide avalanches. In ISSW 2016, International Snow Science Workshop, Breckenridge, Colorado, USA, 51 – 57.
- STIMBERIS J., RUBIN C. (2011). Glide avalanche response to an extreme rain-on-snow event, Snowquallmie Pass, Washington, USA. *J. Glaciol.* 57, 468–474.
- UNESCO (ed). (1981). *Avalanche Atlas*, Paris, 265 pp.
- VAN HERWIJNEN A., SIMENHOIS R. (2012). Monitoring Glide Avalanches Using Time-lapse Photography. In ISSW 2012, International Snow Science Workshop, Anchorage, Alaska, USA, 899 – 903.

HYDROLOGIE



**Lösungen für d
dauerhafte Über
oder Seilbahnen
Anlage**

Spezialsensor

