

Die Wirkung des Waldes bei Lawinen

Stefan Margreth

Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos Dorf

margreth@slf.ch

Wald ist ein effektiver und kostengünstiger Lawinenschutz. Im Wald ist die natürliche Schneedeckenstabilität gegenüber dem Freiland erhöht. Der Kronendekungsgrad und die Abmessungen vorhandener Lücken sind in Kombination mit der Hangneigung wichtige Kriterien, um die Schutzwirkung zu beschreiben. Brechen Lawinen oberhalb der Waldgrenze an, werden Bäume zerstört und die Schneemassen kaum abgebremst.

1 Einleitung

Der Schutz vor Lawinenanrissen ist einer der wichtigsten Ansprüche, den der Mensch heute an den Gebirgswald stellt. Die Bedeutung des Waldes als Lawinenschutz wurde schon früh erkannt. Der Bannwald oberhalb von Andermatt wurde bereits im Jahre 1397 durch scharfe Schutzbestimmungen vor der Rodung geschützt. Der Gebirgswald stellt heute flächenmässig

den wichtigsten Beitrag zum Lawinenschutz in der Schweiz dar. Die Schutzfunktion des Waldes beruht insbesondere darauf, dass er das Anbrechen von Lawinen verhindert (Abb. 1). Diese positive Wirkung konnte auch in den kritischen Lawinensituationen des Winters 1999 festgestellt werden (SLF 2000), wo trotz Rekordschneehöhen praktisch keine Anbrüche im bewaldeten Gebiet beobachtet wurden. Ist aber eine Lawine oberhalb der Waldgrenze angebrochen, so vermag auch intakter



Abb. 1. Der Schutzwald oberhalb von Münster/VS im Februar 1999. Im linken Bildteil gibt es oberhalb des Waldes Lawinenanbruchgebiete. Der darunterliegende Wald ist teilweise zerstört. Mit Stützwerten wird versucht das Anbrechen von Lawinen zu verhindern. Im rechten Bildteil deckt der Wald das gesamte Anbruchgebiet ab und wirkt als Lawinenschutz. Es sind kleine Lücken vorhanden.

Wald die in Bewegung geratenen Schneemassen meist nicht mehr zu stoppen. Die Wechselbeziehung zwischen Lawine und Wald ist in Abbildung 2 zusammengefasst.

2 Lawinenarten

Lawinen entstehen an Hängen die steiler sind als etwa 30° . Am gefährlichsten sind Schneebrettlawinen, bei denen eine Schneetafel auf einer Schwachschicht grossflächig abgleitet. In Nadelwäldern treten am häufigsten Schneebrettlawinen auf. Lockerschneelawinen haben einen punktförmigen Anriss und erzeugen typische birnenförmige Abgleitformen. Ein Lawinenanbruch hängt von Faktoren wie Neuschneemenge, Wind, Temperatur, Bodenrauigkeit und Schneedeckenaufbau ab. Die Zerstörungskraft einer Lawine wird von der angebrochenen Lawinenmasse, der Schneeart, der Steilheit und Länge der Sturzbahn sowie den Reibungsverhältnissen bestimmt. Lawinen mit Kubaturen von mehr als $60\,000\text{ m}^3$ und einer Sturzbahnlänge von mehr als 500 m können Kräfte von mehr als 500 kN/m^2 ausüben. Im Gegensatz zu Fliesslawinen erreichen Staublawinen Wirkungshöhen von 50 m und mehr. Als Waldlawine werden Lawinen bezeichnet, die im bewaldeten Gebiet anbrechen.

3 Wirkung des Waldes als Lawinenschutz

Die stabilisierende Wirkung des Waldes auf die Schneedecke und damit gegen Lawinenanbrüche beruht auf verschiedenen Eigenarten des Waldes, die es im Freiland nicht gibt. Die wichtigsten sind:

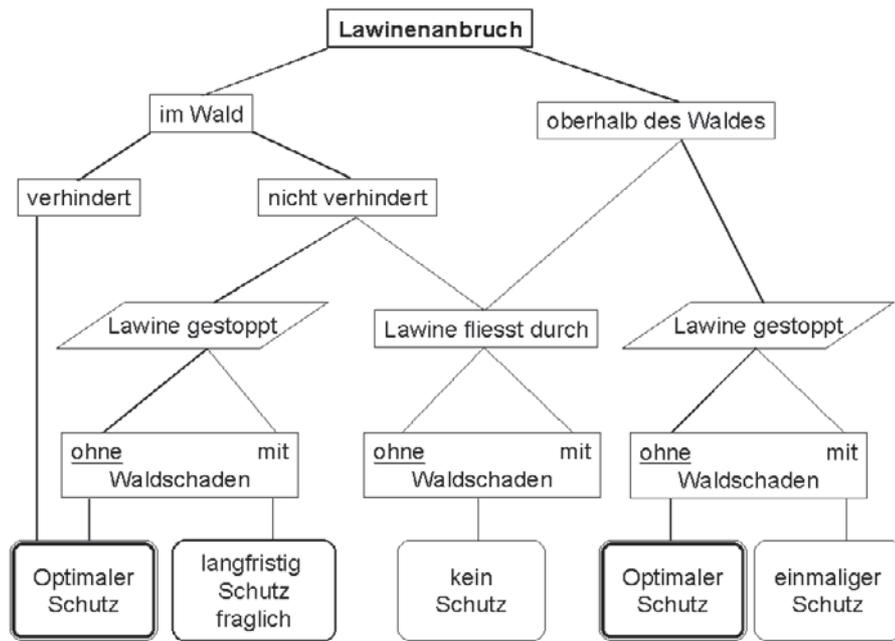


Abb. 2. Schematische Darstellung der Wechselbeziehung zwischen Lawinenbildung und -wirkung oberhalb, innerhalb und unterhalb der Waldgrenze.

Schneeinterzeption: Während dem Schneefall wird ein Teil des Schnees in den Baumkronen aufgefangen. Der kleinere Teil dieses Schnees verdunstet, der grössere Teil fällt nachträglich als Schneeklumpen oder Schmelzwasser zu Boden. Dadurch wird die Schneedecke im Wald weniger mächtig und stärker strukturiert als im Freiland (Abb. 3). Bei tiefen Temperaturen zeigen die wintergrünen Baumarten gegenüber winterkahlen Baumarten eine höhere Interzeption (PFISTER und SCHNEEBELI 1999).

Strahlungshaushalt: In einem dichten wintergrünen Wald ist das Mikroklima ausgeglichener als im Freiland. Die Er-

wärmung der Schneedecke während des Tages und die Abkühlung in der Nacht sind kleiner. Die Wahrscheinlichkeit für die Bildung von Oberflächenreif, der im Freiland die Basis zur Bildung gefährlicher Schwachschichten darstellen kann, ist reduziert.

Wind: Die Windeinwirkung und damit mögliche Schneeverfrachtungen sind in einem geschlossenen Bestand weniger problematisch. In Waldlichtungen können jedoch grössere Schneemengen abgelagert werden als im Freiland.

Stützwirkung der Stämme: Die Stämme stützen die Schneedecke ab und stabilisieren sie. Diese Stützwirkung

darf jedoch nicht überschätzt werden, denn häufig bildet sich ein Kolk um die Stämme. Theoretische Überlegungen zeigen, dass je nach Hangneigung und Schneehöhe 500 bis 1000 Stämme pro Hektar erforderlich sind, um Lawinenanbrüche erfolgreich zu verhindern (SALM 1979). Solche Stammzahlen sind in subalpinen Wäldern jedoch selten vorhanden. Umgestürzte Wurzelteller und liegende Stämme können die Schneedecke auch abstützen. Untersuchungen in den Vivian-Sturmflächen im Februar 1999 zeigten, dass an jenen Stellen, wo das geworfene Holz nicht geräumt wurde, keine Lawinen angebrochen sind (FREY und THEE 2002). Die Frage stellt sich jedoch, wie sich diese Wirkung in einem späteren Stadium der Holzzersetzung verändert. Die Schutzwirkung geht verloren, wenn diese Oberflächenrauigkeiten von der Schneedecke überragt werden. Weiter ist zu beachten, dass niedrige, völlig überschneite Bäume – besonders Arten die leicht zu Boden gedrückt werden – die Lawinenbildung sogar fördern können. Um das Anbrechen von Lawinen zu verhindern, müssen Bäume die Schneedecke durchstossen.

4 Anforderung an den Schutzwald

Wie stark diese verschiedenen Eigenarten des Waldes im Einzelnen zur Stabilisierung der Schneedecke beitragen und wo die Grenzen der Schutzwirkbarkeit bei verschiedenen Witterungsbedingungen liegt, ist auch heute noch nicht vollständig bekannt. In einem Forschungsprojekt des SLF, in dem

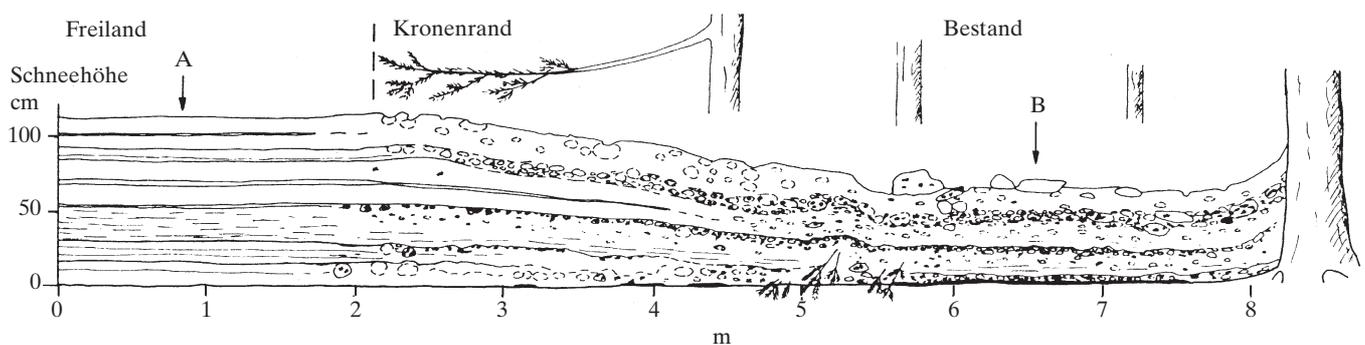


Abb. 3. Schneedeckenaufbau im Übergangsbereich vom Freiland in einen Fichten-Arven-Bestand im Kurpark Davos (IMBECK 1987). Im Freiland weist die Schneedecke regelmässige Schichten auf. Im Bestand ist die Schneehöhe infolge der Interzeption reduziert und die Schichtung ist wegen herabgefallenen Harschkumpen viel stärker strukturiert als im Freiland.

Daten von Waldlawinen statistisch ausgewertet wurden, wurde versucht ein Anforderungsprofil an die Waldstruktur zu definieren, um die Entstehung von Lawinenanbrüchen im Wald zu verhindern (MEYER-GRASS und SCHNEEBELI 1992). Als Schlüsselgrößen wurden die Parameter Kronendeckungsgrad, Stammzahl pro Hektare und mittlere Lückenbreite ermittelt. Bei einem Kronendeckungsgrad von 50 % und einer Hangneigung von 35° wird bis zu einer Lückenbreite von 15 m die Lawinenauslösung als sehr unwahrscheinlich angesehen (BUWAL 1996). Das grösste Problem bei der Herleitung dieser Faustregeln ist, dass die Waldlawinendaten nur während fünf Wintern (1985–1990) erhoben wurden und dass dabei kein extremes Waldlawinenjahr wie etwa 1951 dabei war. Diese Kriterien müssten auch für extreme Witterungsbedingungen (z.B. sehr lockerer Neuschnee) überprüft werden. Dazu fehlen aber die Daten.

GUBLER und RYCHETNIK (1991) untersuchten mit lawinendynamischen Berechnungen einen weiteren wichtigen Parameter, die Lückenlänge in

der Falllinie. Je länger und steiler eine Lücke ist, desto grösser wird die Intensität einer anbrechenden Lawine. Nach ihren Berechnungen sollte bei einer Hangneigung von 35° die Lückenlänge kleiner als etwa 50 m sein und bei 45° kleiner als etwa 30 m. Bei Lückenlängen von mehr als 150 m muss mit einer Zerstörung des untenliegenden Waldes gerechnet werden (Abb. 4). Zu ähnlichen Resultaten kam man auch in Kanada (WEIR 2002): bei einer Lückenlänge von 200 m in der Falllinie wurde das Risiko für Waldschäden als mässig betrachtet und bei einer Lückenlänge von 400 m als gross. Um die Wahrscheinlichkeit eines grossen Lawinenabganges in einer Lücke klein zu halten, wird in Kanada vorgeschlagen, die Öffnungsfläche eines Kahlschlages auf 1 ha zu beschränken (Lückenbreite 200 m bei einer Lückenlänge in der Falllinie von 50 m).

Das Anforderungsprofil an den Wald hängt stark vom erwarteten Schutzziel und dem bestehenden Schadenpotential ab. Kleine Schneerutsche, die zum Beispiel Personen auf einer Skipiste zu gefährden vermögen, können, wenn überhaupt, nur von sehr dichten (Kronendeckungsgrad >50 %), wintergrünen Beständen verhindert werden. Für die Verhinderung von grossflächigen Lawinenanbrüchen können an einen Bestand etwas weniger strenge Anforderungen gestellt werden. Aufgelöste Bestände, wie sie oft an der oberen Waldgrenze vorkommen, müssen immer kritisch beurteilt werden.



Abb. 4. Am Nagle Creek bei Mica Creek (B.C., Kanada) ist in einer Kahlschlagfläche am 14. März 1996 eine 500 m breite Lawine angebrochen, die im darunterliegenden Bestand rund 12,5 ha Wald zerstörte. Die Anrissmächtigkeit variierte zwischen 0,8 und 1,2 m bei einer Hangneigung von 33–42°. Die Lawinenkubatur betrug rund 200 000 m³ und die Länge der Fliessstrecke im Freiland erstreckte sich über maximal 500 m (WEIR 2002).

5 Bremswirkung des Waldes

Die Bremswirkung des Waldes bei Lawinen, die hoch über der Waldgrenze anbrechen, ist im allgemeinen sehr beschränkt. Im Lawinenwinter 1999 wurden dadurch rund 160 000 m³ Holz geworfen (SLF 2000), in etwa die gleiche Menge wie im Lawinenwinter 1951. Erfahrungsgemäss können nur knapp oberhalb der Waldgrenze angebrochene Lawinen gestoppt werden. Die Zerstörungskraft hängt einerseits von der Geschwindigkeit ab, die mit zunehmender Laufdistanz grösser wird, und andererseits von der Wirkungshöhe. Berechnungen zeigen, dass Lawinengeschwindigkeiten von 20 m/s bei einer

Fliesshöhe von 3 m nicht ausreichen, um Bäume mit einem Stammdurchmesser von mehr als 30 cm zu brechen (sofern keine Äste erfasst werden und der Baum genügend standfest ist). Ist die Fliesshöhe einer Lawine so gross, dass die Stämme und die Äste erfasst werden, tritt infolge der grösseren Angriffsfläche meist eine totale Zerstörung auf. Dies ist insbesondere bei Staublawinen mit Lawinendrücken von 3 bis 5 kN/m² der Fall. Eine häufige Beobachtung ist, dass eine Lawine vorerst einen Bestand ohne ihn zu schädigen durchfliessen kann, dann aber plötzlich Bäume wirft. Dies kann z.B. durch eine Geschwindigkeitszunahme infolge einer Verengung der Lawinenbahn oder durch ein Aufsteilen des Geländes bedingt sein. Mitgeführtes Holz kann die Gefährlichkeit einer Lawine gegenüber Bauten aller Art (Gebäude, Brücken, Masten) stark erhöhen. Lawinenholz kann weiter zu Verklausungen führen. Deshalb kann nicht jeder Baum in einem potentiellen Lawinenzug von vornherein als ein Faktor der Sicherheit bezeichnet werden.

Eine Lawine verliert durch das Brechen von Bäumen Energie und wird abgebremst. Einen Teil der Energie erhält sie aber durch die stürzenden Bäume wieder zurück. Um diese Bremswirkung des Waldes zu verstehen wurden am SLF verschiedene Forschungsarbeiten durchgeführt. SALM *et al.* (1990) schlug vor, bei lawinendynamischen Berechnungen die turbulente Reibung zu erhöhen. BARTELT und STÖCKLI (2001) entwickelten ein theoretisches Modell, um den Energieverlust zu beschreiben, der bei der Zerstörung eines Waldes die Lawinenbewegung verzögert. Der Bruch des Stammes, das Ausreissen der Wurzelstöcke (Abb. 5) sowie das «Entrainment» (Mitreissen und Aufnehmen) des gebrochenen Holzes in die Lawine wurden berücksichtigt. Der Einsatz des Modelles an Waldschadenlawinen vom Februar 1999 zeigte, dass eine Lawine einen Waldbestand durchschlägt, wenn ihre Energie mehr als doppelt so hoch ist wie die Widerstandsenergie des Waldes (LORENZATO 2001). Beide Ansätze zeigen klar, dass aufgelöste Bestände keine massgebende Bremswirkung zeigen. Eine Bremswirkung kann nur bei Kleinlawinen mit Kubaturen von weni-

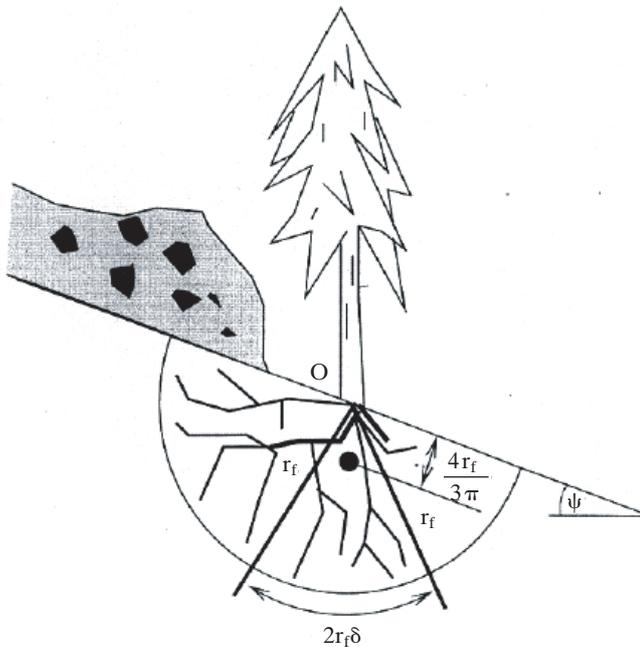


Abb. 5. Die Bruchenergie eines Wurzeltellers wurde bestimmt indem eine zylinderförmige Wurzelmasse mit dem Bruchradius r_f und der Länge $2r_f$ betrachtet wurde. Es wurde angenommen, dass das Gewicht des Baumes mit dem Winkel der inneren Reibung (d) als Widerstand auf die Gleitfläche wirkt und dass die Gleitfläche ausserhalb der Verwurzelung liegt (nach BARTELT und STÖCKLI 2001).

ger als 10000 m^3 erwartet werden. Um diese Ansätze verifizieren zu können, braucht es weitere Untersuchungen. Dies ist jedoch schwierig, weil es sich bei Wald um ein sehr kompliziertes System handelt und weil das mögliche Lawinausmass ohne Wald immer nur abgeschätzt werden kann.

6 Berücksichtigung der Schutzwirkung des Waldes in Lawinengefahrenkarten

Nach den Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten (BFF und SLF 1984) ist Wald bei der Beurteilung der Lawinengefahr angemessen zu berücksichtigen. In der Praxis gibt es jedoch keine klare Anleitung, wie Wald bei der Erarbeitung von Lawinengefahrenkarten zu behandeln ist. Meist wird ein pragmatisches Vorgehen gewählt, in dem Faktoren wie die Dichte eines Bestandes (Stammzahl pro Hektare und der Kronendeckungsgrad), die Höhe und das Alter der Bäume, vorhandene Lücken, die Hangneigung und die Struktur der oberen Waldgrenze gutachtlich beurteilt werden. Die wichtigsten Szenarien sind die folgenden:

Dichter Wald

In einem dichten, geschlossenen Wald, der das gesamte Anbruchgebiet umfasst, werden grossflächige Lawinanbrüche ausgeschlossen. Ein intakter Schutzwald wird als eine zuverlässige Massnahme betrachtet (MARGRETH 2002) und wird dementsprechend beim Erarbeiten von Lawinengefahrenkarten berücksichtigt. Die langfristige Entwicklung (Zwangsnutzung, Sturm-schaden, Käfer) sowie die Struktur eines Waldes werden meist nur am Rande berücksichtigt, das heisst, man geht davon aus, dass die Schutzwirkung mit waldbaulichen und falls notwendig technischen Massnahmen erhalten werden kann (SCHNEEBELI und BEBI 2004).

Dichter Wald mit kleinen Lücken

Sind in einem geschlossenen Bestand Lücken (mindestens 15 m) vorhanden, muss mit dem Anbruch von kleinen Lawinen gerechnet werden. Die Bremswirkung der Bäume wird dabei berücksichtigt. Heikel sind Situationen, wo sich die Lücken im Bereich der oberen Waldgrenze befinden oder wo die Abmessungen der Lücken, insbesondere in der Falllinie, nahe der kritischen Sollwerte liegen.

Anrissgebiete oberhalb dichtem Wald

Befinden sich oberhalb von dichtem Wald oder im Bereich der oberen Waldgrenze grössere Anrissgebiete, wird die bremsende Wirkung des Waldes meist ganz vernachlässigt. Für ein erstes Ereignis kann eine bremsende Wirkung eventuell bestehen, später losgehende Lawinen können jedoch ungebremst abstürzen. Befindet sich dichter Wald im Auslaufgebiet der Lawine, kann eine gewisse Bremswirkung erwartet und berücksichtigt werden.

Anrissgebiete und Sturzbahn zwischen dichtem Wald (Lawinenschneise)

Oft ist ein grosses potentielles Anrissgebiet an flacheren Stellen oder auf Geländerücken mit dichtem Wald bestockt. Da auf den bestockten Flächen ein Anbruch weniger wahrscheinlich ist, kann mit der kleineren unbestockten Anbruchfläche gerechnet werden. In der Sturzbahn kann Wald die seitliche Ausbreitung reduzieren.

Die Wirkung des Waldes kann mit lawinendynamischen Berechnungen quantifiziert werden. In Tabelle 1 werden mit dem Berechnungsmodell AVAL-1D für ein einheitliches Gelände-profil drei verschiedene Waldmuster mit einem waldfreien Zustand verglichen. Die Bremswirkung des Waldes wurde mit einem Faktor der turbulenten Reibung ξ von 400 berücksichtigt. Ohne Wald (Fall 1) beträgt der maximale Lawinendruck in der Lawinenbahn 345 kN/m^2 und die Auslaufstrecke 470 m. Bricht eine Lawine in einer 50 m breiten und 80 m langen Lücke an, so beträgt der maximale Druck 85 kN/m^2 und die Schneemassen bleiben in der Sturzbahn liegen, sofern die Bäume dem Lawinendruck widerstehen (Fall 4). Bei Fall 2 und insbesondere bei Fall 3 muss beachtet werden, dass für später anbrechende Schneemassen die Bremswirkung des Waldes nur noch beschränkt vorhanden sein kann und sich eine ähnliche Gefährdung wie bei der Situation ohne Wald (Fall 1) ergeben kann. In einer solchen Situation empfehlen wir, bei Gefahrenbeurteilungen die Waldwirkung bei lawinendynamischen Berechnungen zu vernachlässigen.

Aufgrund von multivariaten Analysen der Waldlawinendaten von 1985–1990 entwickelte BEBI (2000) ein räumliches Modell zur Beurteilung der Lawinenschutzwirkung des Waldes. Als

Input-Daten benötigt das Modell nur Waldstrukturdaten und ein Geländemodell. Eventuell könnte dieses Modell auch bei Gefahrenbeurteilungen eingesetzt werden.

Eine weitere sehr wichtige Funktion des Waldes beim Erarbeiten von Lawinengefahrenkarten ist seine Zeigerfunktion. Die Verteilung der Baumarten und insbesondere das Auftreten von Strüchern und buschartig ausgebildeten Bäumen kann Hinweise auf die vergangene Lawinenaktivität geben. Ein Wald mit einer Lawinenschneise mit unterschiedlich alten Bäumen kann auf die mögliche Grösse und Häufigkeit von Lawinen hindeuten. Diese Zeigerfunktion trägt zwar nicht direkt zu einem erhöhten Schutz bei, ermöglicht aber im Vergleich zum unbestockten Gelände bedeutend verlässlichere Beurteilungen extremer Lawinen. Lawinengefahrenkarten werden auf Ereignisse mit einer Wiederkehrdauer von maximal 300 Jahren ausgelegt.

7 Folgerungen

Dichter geschlossener Wald, der das gesamte Anbruchgebiet abdeckt, stellt einen sehr guten Lawinenschutz dar. Weist ein Bestand Lücken auf oder ist er aufgelöst, so können Lawinenanbrüche nicht mehr ausgeschlossen werden, die Schutzwirkung ist reduziert. Brechen Lawinen schliesslich oberhalb eines Waldes an, wird dieser zerstört. Es besteht keine Schutzwirkung. Durch die mitgerissenen Stämme kann die Gefährlichkeit einer Lawine sogar noch erhöht werden.

Die Eigenschaften des Waldes, die zur Verhinderung von Lawinen führen, sind weitgehend bekannt. Bis heute ist jedoch unklar, wie wichtig die einzelnen schutzwirksamen Elemente sind. Insbesondere sind die Kenntnisse über die Bremswirkung des Waldes bei Lawinnenniedergängen und die Abhängigkeit der Schneedeckenentwicklung von der Waldstruktur nur beschränkt.

Die heute gebräuchlichen Faustregeln, um die Schutzwirkung eines Waldes zu beurteilen, beruhen weitgehend auf Waldlawinendaten der Jahre 1985 bis 1990. Um diese Regeln für extremere Witterungsbedingungen anzupassen bzw. zu überprüfen, fehlen die notwendigen Daten.

Im Februar 1999 zeigten die in den nicht geräumten Vivian-Sturmflächen liegen gelassenen Stämme und Wurzelteller eine gute Wirksamkeit. Die Frage stellt sich jedoch, wie sich diese positive Wirkung in einem späteren Stadium der Holzzersetzung verändert.

Da Wald vielerorts Siedlungen und Verkehrsachsen vor Lawinnenniedergängen schützt und die Schutzwirkung dementsprechend in Lawinengefahrenkarten berücksichtigt wurde, ist die langfristige Erhaltung dieser Schutzleistung mit waldbaulichen und falls notwendig technischen Massnahmen von grosser Bedeutung.

Tab. 1. Auswirkungen von verschiedenen Waldausbreitungsmustern auf den maximalen Lawinendruck und die Auslaufstrecke von Lawinen. Vier Szenarien mit der gleichen Topographie wurden mit dem Berechnungsprogramm AVAL-1D simuliert. Bei einem Lawinendruck von 50 bis 100 kN/m² bricht ein Baumstamm.

Topographie:		Szenario 1:	Szenario 2:	Szenario 3:	Szenario 4:
		Kein Wald	Lawinenanbruch in Waldschneise	Lawinenanbruch oberhalb Wald	Lawinenanbruch in Lücke
Lawinenkubatur	(m ³)	140000	70000	70000	4000
Maximaler Lawinendruck	(kN/m ²)	345	345	270	85
Ort des maximalen Lawinendrucks	(-)	Ende Anrissgebiet	Ende Anrissgebiet	Waldgrenze	Ende Lücke
Lawinendruck am Auslaufbeginn (P)	(kN/m ²)	290	235	65	5
Auslaufstrecke ab P	(m)	470	370	190	0

8 Literatur

- BARTELT, P.; STÖCKLI, V., 2001: The influence of tree and branch fracture, overturning and debris entrainment on snow avalanche flow. *Ann. Glaciol.* 32: 209–216.
- BEBI, P., 2000: Erfassung von Strukturen im Gebirgswald als Beurteilungsgrundlage ausgewählter Waldwirkungen. *Beih. Schweiz. Z. Forstwes.* 90: 1–128.
- BFF; SLF, 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bern, Bundesamt für Forstwesen (BFF); Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF).
- BUWAL, 1996: Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. Wegleitung. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- FREY, W.; THEE, P., 2002: Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 1/2: 89–107.
- GUBLER, H.; RYCHETNIK, J., 1991: Effects of forests near the timberline on avalanche formation. *Snow, hydrology and forests in high alpine areas*. Wallingford, England; International Association of Hydrological Sciences (IAHS). 205: 19–38.
- IMBECK, H., 1987: Schneeprofile im Wald. *Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen Winter 1985/86*. Winterbericht des Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos. 50: 177–183.
- LORENZATO, L., 2001: Analyse von Waldschäden hinsichtlich der Bremswirkung von Wald auf Lawinen. Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians-Universität München. 91 S.
- MARGRETH, S., 2002: Berücksichtigung von Massnahmen in der Gefahrenbeurteilung und Nutzungsplanung. Vorstudie. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 78 S.
- MEYER-GRASS, M.; SCHNEEBELI, M., 1992: Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen. *Interpraevent 1992 Bern*. Tagungspublikation, Band 2: 443–455.
- PFISTER, R.; SCHNEEBELI, M., 1999: Snow accumulation on boards of different sizes and shapes. *Hydrol. Process.* 13: 2345–2355.
- SALM, B., 1979: Snow forces on forest plants. In: *International Seminar on Mountain forests and Avalanches*, Davos, Switzerland, 25–28 September 1978. *Proceedings*. Davos, Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research. 157–181.
- SALM, B.; BURKARD, A.; GUBLER, H., 1990: Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch.* Nr. 47.
- SCHNEEBELI, M.; BEBI, P., 2004: Snow and Avalanche Control. In: BURLEY, J.; EVANS, J.; YOUNGQUIST, J.A. (eds) *Encyclopedia of Forest Sciences*. Amsterdam, Boston, Heidelberg, Elsevier Academic Press.
- SLF, 2000: Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 588 S.
- WEIR, P., 2002: Snow avalanche management in forested terrain. *Res. Br., B.C. Min.For., Victoria, B.C. Land Manage. Handb.* No. 55.