



Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen

Les avalanches en forêt et leur dépendance aux conditions de la station, du peuplement et de la neige

Martin Meyer-Grass und Martin Schneebeili

Zusammenfassung

Für die Untersuchung von Waldlawinen im schweizerischen Alpenraum drängt sich, in Abhängigkeit der Baumartenzusammensetzung, die Unterscheidung von fünf Waldtypen auf. Bezogen auf diese Waldtypen konnten die Parameter Kronendeckungsgrad, Stammzahl pro ha mit einem Brusthöhendurchmesser grösser 16 cm, mittlere Lückenbreite, Bodenvegetationsdeckungsgrad und die mittlere Neigung als diejenigen ermittelt werden, welche die Anrissflächen von den übrigen Flächen gut zu unterscheiden vermögen. Für diese Parameter werden einerseits "kritische Werte" angegeben und andererseits "Soll-Werte", bei deren Erfüllung es nicht zu Lawinenanrissen kommen sollte. Basierend auf dem Landesforstinventar für die Region Schweizeralpen kann für jeden Waldtyp ausgesagt werden, welcher Anteil der Stichprobenflächen zu den potentiellen Waldlawinenanrissgebieten gezählt werden kann.

Résumé

Lors de cette analyse des avalanches dans les forêts des Alpes suisses, nous avons défini cinq types de forêt en fonction de la composition des essences. Il fut alors possible d'établir une relation entre ces types de forêt et certains paramètres spécifiques. Le degré de fermeture du couvert, le nombre par hectare de tiges d'un diamètre à hauteur de poitrine supérieur à 16 cm, la largeur des vides, le degré de couverture végétale au sol et la déclivité moyenne du terrain sont des variables permettant de bien distinguer les surfaces fracturées des surfaces comparatives intactes. Nous avons calculé pour chaque paramètre la valeur critique et la valeur théorique en dessous de laquelle une fracture d'avalanche ne devrait pas se produire. Grâce aux données de l'inventaire forestier national pour la région des Alpes, il fut possible de calculer la proportion des placettes d'échantillonnage recelant un danger potentiel de fracture d'avalanches dans ces cinq types de forêt.

1. Zum Begriff Waldlawine

In der vorliegenden Arbeit wird eine Lawine dann als Waldlawine angesprochen, wenn sich die Lawinenanrisszone im Bereich der Waldbestockung befindet. Der Begriff bezieht sich also auf die Anrissörtlichkeit und nicht auf mögliche Waldschäden, die durch eine Lawine entstehen könnten.

Gemäss der Definition des Landesforstinventars (ZINGG 1988) handelt es sich dann um Waldbestockung, wenn der Abstand zwischen den Stämmen weniger als 25 m beträgt, ein minimaler Deckungsgrad von 20% vorliegt und die Bäume eine minimale Oberhöhe von 3 m erreichen. Diese Eingrenzung sowie die dort aufgeführten Spezialfälle werden

übernommen. Eine Ausnahme wird dann gemacht, wenn der Anriss in einer morphologisch vorgegebenen und teilweise unbestockbaren Erosions- oder Lawinenrinne, auf einer grossen Blockschuttfläche oder in einer steilen Felspartie ($>60^\circ$) oder auf einer bestockbaren, permanenten Waldwiese/Mähder liegt. In diesen Fällen ist der Begriff Waldlawine nicht angebracht.

2. Ziel der Untersuchungen, Vorgehen und Methoden

Eine wichtige Funktion des Gebirgswaldes besteht darin, die Fläche der potentiellen Lawinenanrissgebiete konstant zu halten. Tritt nun eine Verschlechterung des Waldzustandes ein, so könnte dies schliesslich dazu führen, dass auch der Wald selbst zum potentiellen Lawinenanrissgebiet gezählt werden muss. Letzteres würde dadurch sprunghaft zunehmen.

Bezogen auf diese These fragen sich insbesondere Forstverantwortliche, welche waldbaulichen Massnahmen zu treffen bzw. zu unterlassen sind, welche maximalen Ausdehnungen Waldblössen aufweisen dürfen, ohne verbaut werden zu müssen, welche Ausformung der Blössen besonders kritisch ist und welcher Bestandesverlichtungsgrad als kritisch angesprochen werden muss. Die vorliegende Untersuchung soll die Beantwortung einiger dieser Fragen ermöglichen.

Vorgängig zu den eigentlichen Felderhebungen wurden in den Jahren 1980 bis 1984 entsprechende Winterbeobachtungen in der Landschaft Davos durchgeführt (IMBECK 1984) sowie mittels einer Befragung bei den Forstämtern (Winter 1985/86) die aktuelle Waldlawinensituation erfasst (MEYER-GRASS 1987). In der Zeit von 1985/86 bis 1989/90 wurden im ganzen schweizerischen Alpenraum aktuelle Waldlawineneignisse aufgenommen. Die Anrissörtlichkeiten wurden meist zweimal begangen: einmal im Winter, unmittelbar nach dem Lawineneignis und das zweite Mal im Sommer. Im Winter wurden die Merkmale der Lawine und der Schneedecke aufgenommen, im Sommer konzentrierten sich die Erhebungen auf die Bestandesparameter und den jeweiligen Standort. Pro Anriss wurden in der Regel 3-4 Flächen abgegrenzt, auf denen die Parameter erhoben wurden: einmal die eigentliche Anrissfläche, dann gleich angrenzend links und rechts sowie eventuell oberhalb davon etwa gleichgrosse Vergleichsflächen ohne Anriss. In der Auswertung ging es darum, die Parameter der Anrissflächen denjenigen der Vergleichsflächen gegenüber zu stellen und deren Unterschiede darzustellen. Da ein Grossteil der Parameter nach der standardisierten LFI-Methode (ZINGG 1988) aufgenommen wurde, konnte auch das Landesforstinventar (LFI) nach dem Vorkommen kritischer Bestände abgefragt werden.

In der Zeit vom Winter 1985/86 bis 1989/90 wurden uns 279 Lawinen gemeldet bzw. selbst beobachtet. 55% davon waren echte Waldlawinen, also mit Anriss im Wald, die teilweise untersucht wurden. Basis für die Auswertung bilden schliesslich 118 Anriss- und 131 Vergleichsflächen ohne Anriss. Aus der Fülle möglicher Bestandes- und Standortparameter (total 71) wurden deren 25 als für die Analyse relevant gefunden.

3. Beziehungsgefüge Waldlawine, Standort, Bestand und Schnee und Witterung

3.1 Die Bedeutung verschiedener Waldtypen für die Lawinen

Bei den Untersuchungen wurden, in Abhängigkeit der Baumartenzusammensetzung, fünf Waldtypen definiert: "Laubwald" (weniger als 10% Nadelholz) (Typ 1), "Mischwald" (11 bis 90% Nadelholz) (Typ 2), "wintergrüner Wald" (Fichten-, Tannenwald, mehr als 90% wintergrüne Arten) (Typ 3), "wintergrüner/Lärchen-Wald" (weniger als 90% wintergrüne Arten, bis 90% Lärchen) (Typ 4) und "Lärchenwald" (>90% Lärche) (Typ 5). Die Auswertungen zeigen, dass von den 25 untersuchten Parametern deren 21 waldtypenabhängig sind und sich bezüglich der Parametereigenschaften teilweise stark unterscheiden. Die Waldtypen und damit deren Bestandesparameter, aber auch die Charakteristiken der Schneedecke und der Lawinen sind eindeutig höhenstufen- und expositionsabhängig, wie später gezeigt wird. Überlegungen, die in eine ähnliche Richtung weisen, hat FIEBIGER (1978) vorgenommen, auch wenn es sich um Fallstudien an ausgesuchten Testgebieten handelte. In der ausführlichen Arbeit von KONETSCHNY (1990) wird wohl darauf hingewiesen, dass dem Waldtyp eine wichtige Bedeutung zukommt, da die Studie jedoch die Höhenstufen von 900-1400 m.ü.M. abdeckt und keine reinen Nadelbestände beinhaltet, wird dieses Thema dort nicht behandelt. Die in jener Arbeit gemachten Ausführungen passen jedoch gut zu unseren Typen "Laubwald" und "Mischwald".

3.2 Charakteristika der Anrissflächen und der entsprechenden Vergleichsflächen

Die *Höhenlage* der Anrissstellen ist in zwei Klassen gegliedert. In einer Höhenlage von 1000 m.ü.M (± 300 m) ereigneten sich Anrisse im Laubwald und im Mischwald. Zwischen 1200 bis 1600 m wurden kaum Lawinenanrisse im Wald gefunden, jedoch wieder von 1600 bis 2200 m. Zwischen 1200 bis 1600 m ü. M. wachsen in unserem Untersuchungsgebiet dichte Fichtenwälder, die Waldlawinen weitgehend verhindern. Nach KONETSCHNY (1990) hat im Allgäu oberhalb 1400 m die Waldlawinenaktivität ebenfalls stark abgenommen, was er dort jedoch auf den verminderten Regeneintrag zurückführt.

Entsprechend der Höhenabhängigkeit sind auch die lawinenspezifischen Merkmale je nach Waldtyp verschieden, wie Tabelle 1 zeigt. Die Parameter Lawinenanriss und Gleitfläche trennen die Hauptgruppen Laub-Mischwald und wintergrüner/Lärchen-Wald. Die übrigen Parameter zeigen einen eher graduellen Übergang.

Bei der *Exposition* der Anrissflächen unterscheidet sich der Laub- und der Mischwald ebenfalls deutlich von den übrigen Waldtypen. Die Anrissflächen der ersten beiden Typen liegen ausschliesslich in Südwest bis Südost orientierten Hanglagen, während der Median der anderen drei Typen an Nordost exponierten Hängen liegt. Der wintergrüne und der Lärchen-Waldtyp weisen ein recht breites Expositionsspektrum von Südwesten über Süden bis Norden auf. Die Anrisse des wintergrünen/Lärchen-Wald-Types befinden sich

Parameter	Waldtyp				
	1	2	3	4	5
Lawinenanriss* Fracture de l'avalanche	Gleitschnee neige glissante	Gleitschnee neige glissante	linienförmig linéaire	linienförmig linéaire	linienförmig linéaire
Lawinenschnee** Qualité de neige	nass humide	nass humide	nass/trocken hum./sèche	trocken sèche	trocken sèche
Gleitfläche** Surface de glissement	Boden sol	Boden sol	Schnee neige	Schnee neige	Schnee neige
Sturzbahn** Parcours d'écoulement	Runse/fl. couloir/larg.	flächig/Ru. en largeur	flächig en largeur	flächig en largeur	flächig
Bodenzustand*** État du sol	n. gefroren non gelé	n. gefroren non gelé	gefroren gelé	gefroren gelé	gefroren gelé

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Waldtyp und charakteristischen Anrissparametern (Waldtyp 1: Laubwald, 2: Mischwald, 3: wintergrüner Wald, 4: wintergrüner/Lärchen-Wald, 5: Lärchenwald)
 * gesichert mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 90% ** abhängig von Höhenstufe, allmählicher Übergang zwischen den Waldtypen *** Parameter an zahlreichen Flächen nicht erhoben, deshalb nur tendenzielle Angabe

Tableau 1: Relation établie entre le type de forêt et les paramètres spécifiques à la fracture (type de forêt 1: forêt feuillus, 2: forêt mixte, 3: forêt à feuilles persistantes, 4: forêt à feuilles persistantes et mélèze, 5: forêt à mélèze) * confirmée, avec un taux de probabilité supérieur à 90% ** dépend de l'altitude, passage graduel d'un type de forêt à l'autre *** n'indique qu'une tendance car les paramètres n'ont pas été relevés sur plusieurs parcelles

hingegen vorwiegend an Nordost bis Nord exponierten Hanglagen.

Für jeden Waldtyp wurden die Parameter gesucht, welche Anriss- und Vergleichsflächen am besten zu differenzieren vermögen. Von den ursprünglich 25 relevanten Parameter verbleiben deren fünf. Diese werden nachstehend besprochen und die Unterschiede zwischen Anriss- und Vergleichsflächen dargestellt.

Bei der *Kronendeckung* wird der gesamte Anteil der beschirmten Bodenfläche als Kriterium beigezogen, oder es werden je nach Baumart und Schlussgrad Teilmengen davon bestimmt. Als Teilmengen wurden definiert: Einzelbäume wintergrün bzw. Lärche, Gruppen wintergrün bzw. Lärche oder gemischte Gruppen wintergrün/Lärche.

Erfasst wurden jeweils die Vertikalprojektionen. Der Laub- und der Mischwald (Abb. 1) weisen eine Kronendeckung von > 50% auf, alle anderen Waldtypen eine solche von <50%. Allgemein zeigt sich, dass die Anrissflächen im Durchschnitt eine um 10-15% (Laub- und Mischwald) bzw. 30-50% (übrige Waldtypen) geringere Kronendeckung aufweisen als die Vergleichsflächen. Weiter zeigt sich, dass das gruppenweise Vorkommen der Bäume auf den Vergleichsflächen viel häufiger ist als auf den Anrissflächen. Nicht für jeden Waldtyp ist die Gesamtbeschirmung das beste Unterscheidungskriterium für Anriss- bzw. Vergleichsflächen. Für den Laub- und den Mischwald sind es die Teil-

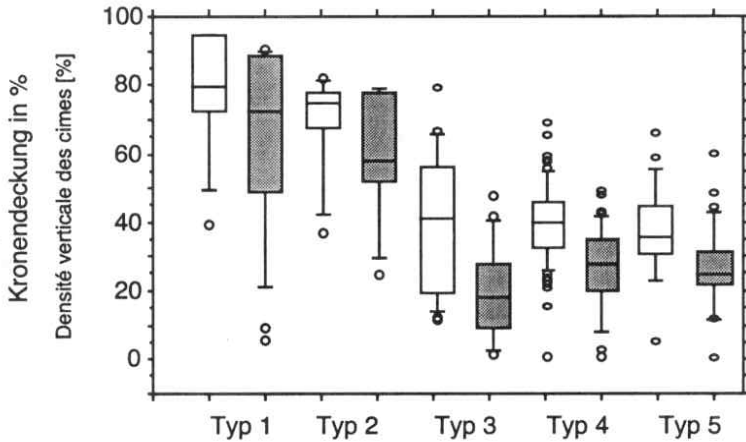


Abb. 1: Beschirmte Bodenfläche für Vergleichs- (weiss) und Anrissflächen (grau) der verschiedenen Waldtypen.

Figure 1: Pourcentage de sol, abrité par le couvert, sur la surface comparative intacte (blanc) et sur la surface fracturée (grise) dans les divers types de forêt.

mengen der winterkahlen Gruppen bzw. der wintergrünen / Lärchen-Wald Gruppen. Aus der Abb. 1 wird auch ersichtlich, dass die Kronendeckung für die Nadelwaldtypen ein besser differenzierender Faktor für Anriss- und Vergleichsflächen ist als für die Waldtypen, welche Laubbäume aufweisen.

Die *Anzahl Stämme pro ha* ist ein weiterer Parameter, der Anriss- und Vergleichsflächen zu differenzieren vermag, der jedoch mit Ausnahme des Laubwaldes stark mit der Kronendeckung korreliert ist. Die Anzahl Stämme pro Hektare nehmen allgemein mit der Höhe über Meer ab. Es zeigt sich, dass sowohl die Anzahl Stämme grösser 6 cm BHD als auch jene grösser 16 cm BHD Anriss- und Vergleichsflächen unterscheiden, wobei dies jedoch im zweiten Fall wesentlich deutlicher ausfällt (Abb. 2). Für den wintergrünen Wald, den wintergrünen/Lärchen-Wald und den Lärchenwald liegt die kritische Stammzahl, bei der sich Anrisse bilden können, bei weniger als 200 Bäume/ha (BHD > 16 cm). Die *mittlere Lückenbreite*, d.h. der Abstand zwischen den Kronenrändern, vermag die Anrissgebiete sehr gut zu charakterisieren (Abb. 3). In der Höhenstufe über 1500 m.ü.M. führen Lückenbreiten grösser als 10 bis 15 m bei entsprechender Neigung häufig zu Anrissen. Im Laub- und Laubmischwaldgebiet reissen schon in sehr kleinen Lücken bei entsprechender Neigung und Morphologie Lawinen an.

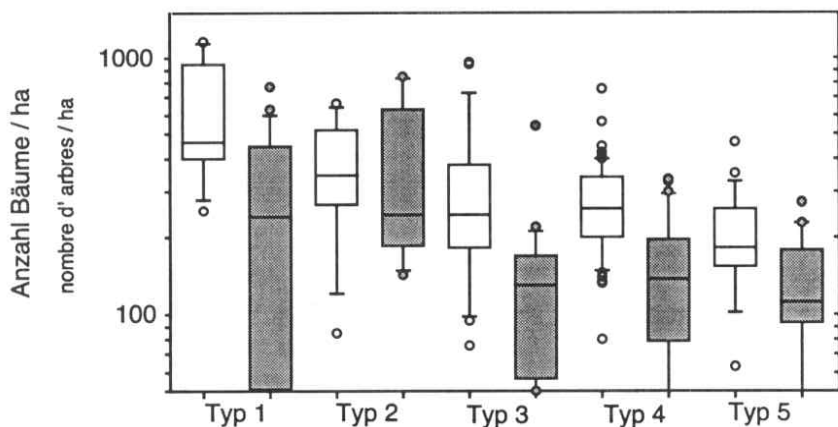


Abb. 2: Anzahl Stämme pro Hektare mit BHD > 16 cm auf Vergleichs- (weiss) und Anrissflächen (grau) der verschiedenen Waldtypen

Figure 2: Nombre par hectare de tiges avec un DHP > 16 cm sur la surface comparative intacte (blanc) et sur la surface fracturée (grise) dans les divers types de forêt.

Der *Vegetationsdeckungsgrad* kann nur bei den Laub- bzw. Laubmischwäldern zur Charakterisierung der Anrissflächen verwendet werden. Da in diesen beiden Waldtypen meist der Boden die Gleitfläche der Lawinen darstellt, bilden die Grasflächen ideale Gleit-

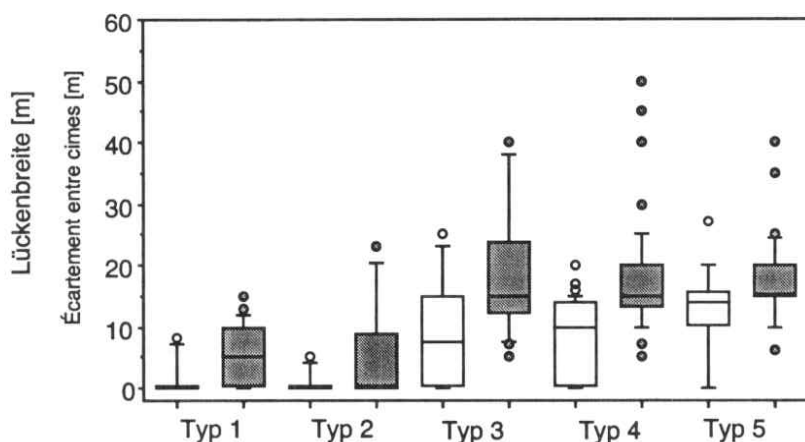


Abb. 3: Mittlere Lückenbreite auf Vergleichs- (weiss) und Anrissflächen (grau) der verschiedenen Waldtypen

Figure 3: Ecartement moyen entre les cimes peuplant sur la surface comparative intacte (blanc) et la surface fracturée (grise) dans les divers types de forêt.

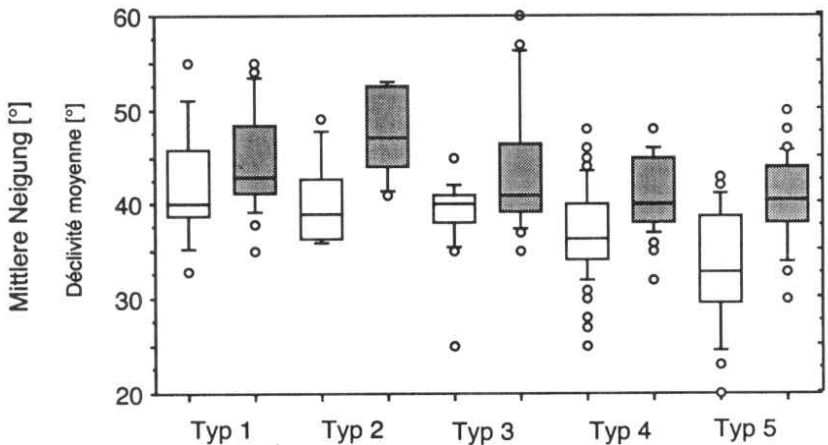


Abb. 4: Mittlere Neigung auf Vergleichs- (weiss) und Anrissflächen (grau) der verschiedenen Waldtypen

Figure 4: Déclivité moyenne de la surface comparative intacte (blanc) et de la surface fracturée (grise) dans les divers types de forêt.

horizonte. Auf den Vergleichsflächen dieser Waldtypen bedeckt die Vegetation nie mehr als 60% der Fläche, während sie auf den Anrissflächen meist mehr als 55% bzw. 80% einnimmt.

Die *mittlere Neigung* (Abb. 4) der Anriss- und Vergleichsflächen liegt zwischen 25° bis 60°.

Der Mittelwert der mittleren Neigung der Anrissflächen ist mit 42.6 Grad deutlich höher als bei in der Region Davos beobachteten Freilandlawinen mit 37.7 Grad (de QUERVAIN und MEISTER 1987). Die Vergleichsflächen sind im allgemeinen flacher als die Anrissflächen. Durch den Vergleich von Neigung und Anzahl Stämme/ha (BHD > 16 cm) kann eine Diskriminanzfunktion zwischen Anriss- und Vergleichsflächen ermittelt werden. Bei einer mittleren Neigung von weniger als 35° treten kaum Anrisse auf, die Baumdicke spielt in diesem Falle keine Rolle. Mit zunehmender Neigung ist dann eine grössere Anzahl Bäume notwendig, um einen Anriss zu verhindern. Die Tab. 2 enthält die entsprechenden Werte für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 99%. Deutlich wird auch die Tatsache, dass bei gleicher Neigung die Waldtypen mit wintergrünen Bäumen immer eine geringere Stammzahl benötigen, um einen Anriss zu verhindern. Dies ist eine Beobachtung, die auch KONETSCHNY (1990) machte.

LAATSCH (1977) weist auf eine Beziehung zwischen Neigung und Lückenbreite hin. Für den Laub- und den Mischwald kann aus dem hier vorliegenden Datensatz keine solche gefunden werden, denn in diesen Waldtypen ist ein Anriss immer möglich, wenn die Neigung 38° bzw. 42° überschreitet. Für die übrigen Waldtypen ergibt sich eine mäs-

Neigung in °	Anzahl Stämme/ha (BHD> 16 cm)			
	Waldtyp			
	1	3	4	5
30	50	50	200	300
35	250	150	300	300
40	600	250	400	300
45	850	350	550	300
50	1100	450	•	300

Tab. 2: Notwendige Anzahl Stämme/ha (BHD> 16 cm) damit, in Abhängigkeit der Neigung, ein Anriss verhindert wird. Für den Mischwald sind zuwenig Flächen beobachtet worden, um eine Aussage machen zu können.

Tableau 2: Nombre d'arbres au DHP > 16 cm qu'il faut compter par hectare, en fonction de la déclivité, pour empêcher une fracture. Dans la forêt mixte, le nombre de surfaces observées est trop faible pour émettre une affirmation.

sige bis schlechte Beziehung. Die Herleitung einer Diskriminanzfunktion ist in diesem Fall nicht gegeben.

Die fünf besprochenen Parameter sollen nun den Waldtypen so zugeordnet werden, dass mit je drei Parametern eine möglichst gute Differenzierung der Anriss- und Vergleichsflächen erreicht wird. Die Parameter Kronendeckung und Stammzahl sind in je vier der fünf Waldtypen vertreten, die Lückenbreite in deren drei und der Vegetationsdeckungsgrad und die Neigung nur noch in deren zwei. Durch Hervorhebung in Tab. 3 wird diese Zuordnung ersichtlich. Für alle fünf Parameter lassen sich pro Waldtyp "kritische Werte" angeben, bei deren Unterschreitung es zum Lawinenanriss im Wald kommen kann sowie "Sollwerte", bei deren Einhaltung es nicht zum Anriss kommen sollte. Die entsprechenden Werte sind der nachstehenden Tab. 3 zu entnehmen.

Parameter	Waldtyp									
	1		2		3		4		5	
	krit.	soll	krit.	soll	krit.	soll	krit.	soll	krit.	soll
Kronendeckung (%)	<80	>80	<70	>70	<35	>50	<30	>50	<35	>50
Stämme/ha (BHD > 16 cm)	<450	>550	<280	>300	<190	>210	<200	>280	<180	>230
Lückenbreite (m)	>5	keine	>5	keine	>10	<5	>10	<5	>10	<10
Veg. deckungsgrad (%)	>50	<35	>50	<50						
Hangneigung (°)	>38		>42		>38		>35		>32	

Tab. 3: Kritische- und Sollwerte für ausgesuchte Parameter. Fett die differenzierenden Parameter für jeden Waldtyp.

Tableau 3: Valeurs critiques et valeurs théoriques déterminées pour les paramètres recherchés. En caractères gras: les paramètres spécifiques à chaque type de forêt.

Bei der Interpretation der aufgeführten Werte gilt es insbesondere zu bedenken, dass:

- die angegebenen Werte nur für die Winterbedingungen der Untersuchungsjahre gelten. Die in Kap. 3.3 gemachten Einschränkungen sind demzufolge zu berücksichtigen.
- es sich nicht um unabhängige Variablen handelt, sondern dass Abhängigkeiten unter den Parametern bestehen. Jeder Einzelwert kann daher, in Abhängigkeit der Veränderung eines anderen Wertes, innerhalb einer bestimmten Bandbreite schwanken (siehe dazu Tab. 2)
- es vermutlich nicht hinreichend ist, eine Angabe über die Anzahl Stämme pro ha bzw. den Kronendeckungsgrad zu geben, sondern dass es ebenso auf die Anordnung bzw. das Verteilungsmuster der Bäume auf einer Fläche ankommt.

3.3 Einfluss der Witterungs- und Schneeparameter

Die Häufigkeit und das Ausmass der Lawinen schwanken in Abhängigkeit der Witterung und der Schneeparameter von Jahr zu Jahr. Die zur Verhinderung eines Ereignisses notwendige Stammzahl (oder Lückeneinheit) ist daher zeitlich variabel. Je nach Winter ist eine unterschiedliche Anzahl Stämme pro Flächeneinheit notwendig, um einen Anriss zu verhindern. Die Beobachtung der notwendigen Anzahl Stämme muss deshalb mit einer "unabhängigen" Grösse geeicht werden.

Bei der experimentellen Erfassung der notwendigen Stammzahl wird immer nur ein kleiner Ausschnitt aus der insgesamt möglichen Variationsbreite erfasst. Eine Extrapolation der Werte ist möglich, indem die über viele Jahre beobachtete Lawinenhäufigkeit und -intensität mit derjenigen in unseren Untersuchungsjahren verglichen wird. Die am SLF seit 1936 durchgeführten Beobachtungen über die Lawinen im Landwassertal würden grundsätzlich einen solchen Vergleich ermöglichen. Der in den letzten 10 Jahren stark intensiverte künstliche Abschuss von Lawinen hat jedoch die Randbedingungen für einen solchen Vergleich stark verändert. Ein Vergleich mit den Lawinenereignissen im Stillberg ist gleichfalls nicht möglich, da die Ereignisse an diesem Standort sehr stark windbeeinflusst sind, was für den Wald nicht zutrifft. Einen Hinweis auf die Intensität der Winter geben die Lawinenbeobachtungen der Vergleichstationen (Abb. 5). Aus diesen geht hervor, dass im beobachteten Gebiet und den beobachteten Jahren kein Winter mit grosser Lawinenintensität vorkam. Die Anzahl Stämme pro Hektare sind daher eher untere Grenzwerte, Anrisse können also bei extremeren Witterungsbedingungen vermutlich auch in dichteren oder weniger stark geneigten Beständen vorkommen.

Die Waldlawinen ereigneten sich an denselben Tagen, an denen auch Freilandlawinen losbrachen. Zum Zeitpunkt des Abganges der Waldlawinen beobachteten 82% der Stationen des SLF spontane Lawinen, am vorangehenden Tag nur 5%. Es lassen sich deutlich zwei verschiedene Ereignistypen feststellen: Einerseits Neuschneelawinen, die nach einem Schneefall von mindestens 40 cm und nachfolgender Erwärmung von wenigen Grad als trockene bis feuchte Lawinen losbrachen, andererseits die ausgesprochenen Nassschneerutsche, die nach mehrtägiger starker Einstrahlung oder Temperaturen über 0°C und allgemeiner Schneedeckenabnahme losbrachen. Diese Lawinen sind auf südlich

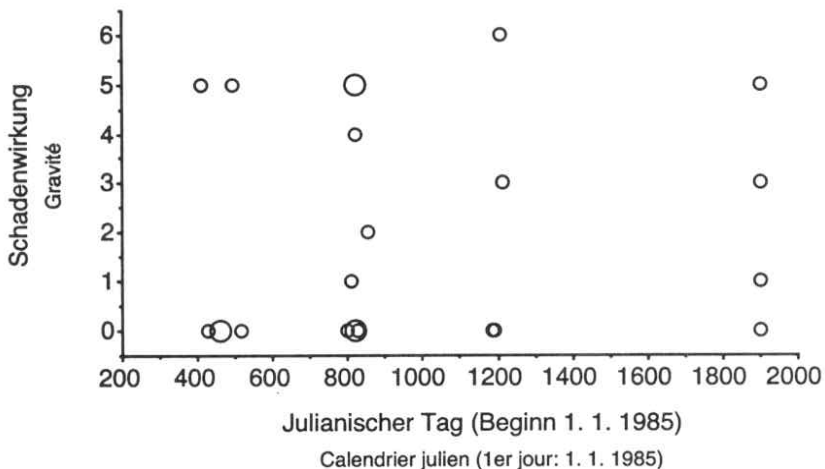


Abb. 5: Beobachtete Schadenwirkung von Lawinen in den Beobachtungsstationen zu den Untersuchungsflächen. Die Schadenwirkung ist folgendermassen definiert: 0 keine Lawine; 1 einzelne kleine Lawinen; 2 einzelne mittlere Lawinen; 3 mehrere mittlere Lawinen; 4 einzelne grosse Lawinen; 5 mehr als 2 grosse Lawinen; 6 Lawine mit Sachschaden, 7 Lawine mit verschütteten Personen; 8 Lawine mit Todesopfer. Jede Station ist nur einmal pro Ereignisperiode dargestellt.

Figure 5: Fréquence et gravité des avalanches constatées dans les stations d'observation: 0) aucune avalanche; 1) rares avalanches d'importance mineure; 2) rares avalanches d'importance moyenne; 3) plusieurs avalanches d'importance moyenne; 4) rares avalanches importantes; 5) plus de deux avalanches importantes; 6) avalanches ayant causé des dégâts matériels; 7) avalanche avec personnes ensevelies; 8) avalanche avec victime. Chaque station n'est représentée qu'une seule fois par période.

exponierte Hänge beschränkt, während die ersteren in allen Expositionen auftreten. Die Lage der Anbruchfläche lag nie in einer Reifschicht. Dies dürfte ein deutlicher Unterschied zu Freilandlawinen sein. Die Anrisshöhen der Lawinen lagen zwischen 20–150 cm, mit einem mittleren Wert von 100 cm für die trockenen Schneebretter, und 5–120 cm, mit einem mittleren Wert von 30 cm für die Nassschneerutsche. Eine Analyse von rund 200 spontanen trockenen Schneebrettlawinen im Freiland der Landschaft Davos (Zeitraum 40 Jahre) zeigt demgegenüber, dass nur 6% der Lawinen eine Anrisshöhe von 100 cm erreichen (A. Burkard, SLF, mündl.).

4. Die Verbreitung waldlawinenkritischer Bestände

Die Frage, wie das erhobene Datenkollektiv im Bezug auf die Wälder in der Alpenregion liegt, und wie häufig kritische Bestände anzutreffen sind, kann annähernd über einen Vergleich mit den Stichproben-Erhebungen des Landesforstinventares (EAFV 1988) beantwortet werden. Dank einer LFI-Spezialauswertung durch LFI-Mitarbeiter konnte das notwendige Zahlenmaterial beigebracht werden.

Ein Vergleich der Verteilung der untersuchten Anrisse auf die fünf Waldtypen mit der Verteilung der Flächenanteile dieser Typen in der Alpenregion zeigt, dass das Vorkommen der Anrisse bei den Waldtypen Laubwald, wintergrüner/Lärchen-Wald und Lärchenwald wesentlich häufiger ist (Faktor 2 bis 3), als dies gemäss dem Flächenanteil zu erwarten wäre. Entsprechend sind der Mischwald und der wintergrüne Wald um den gleichen Faktor untervertreten.

Bezüglich der Neigung und der Höhenlage zeigt sich für den Laub- und den Mischwald, dass unser Datenkollektiv nur gerade 7% der LFI-Stichproben darstellt. Für den Waldtyp wintergrüner Wald sind es 2%, für den wintergrünen/Lärchen-Wald deren 3% und für den Lärchenwald 9%. Ein analoger Vergleich bei den Expositionen ergibt folgende Werte: Laubwald 22%, Mischwald 31%, wintergrüner Wald 36%, wintergrüner/Lärchen-Wald 30% und Lärchenwald 46%. Die in der Untersuchung festgestellte Anzahl Stämme/ha (BHD >16 cm) auf den Anrissflächen wird im LFI-Stichprobennetz im Mischwald, im wintergrünen Wald und im wintergrünen/Lärchen-Wald meist übertroffen, im Laubwald oft nicht erreicht und im Lärchenwald teilweise überschritten. Damit wird deutlich, dass die Anrissflächen aller Waldtypen jeweils einen Randbereich der vergleichbaren LFI-Stichproben darstellen und somit keinesfalls den durchschnittlichen Gegebenheiten entsprechen.

Werden die LFI-Stichproben der Alpenregion den hier definierten Waldtypen zugeordnet und dann gezielt nach den jeweiligen kritischen Werten für Stammzahl und Neigung abgefragt, zeigt sich klar, dass der Lärchenwald in etwas mehr als 20% der Stichproben diese Grenzen unterschreitet. Beim Typ Laubwald trifft dies auf knapp 10% der Probenflächen zu, während es für die übrigen Waldtypen jeweils nur noch 2-4% sind. Wird zusätzlich beim Laubwald der Tatsache Rechnung getragen, dass die Anrissflächen meist Süd bis Südwest exponiert sind, dann erfüllen, auf diese Expositionen bezogen, etwas mehr als 30% der LFI-Stichprobenflächen die kritischen Grenzwerte, so dass sich dort Lawinen im Wald bilden können. Analoge Überlegungen führen dann beim Mischwald zu einem Anteil von etwas über 10%.

5. Schlussfolgerungen

Für die in dieser Arbeit dargestellten und unter den gegebenen Winterbedingungen der Jahre 1985-90 gültigen kritischen Standorts- und Bestandesparameter bezüglich Lawinenanrisse im Wald (Bestand) kann festgehalten werden:

- der Zustand der Wälder mit einem hohen Anteil an wintergrünen Baumarten kann bezüglich dem Lawinenschutz als allgemein gut bezeichnet werden. Mögliche Anrissorte sind örtlich beschränkt, bereits bekannt oder lassen sich mittels der hier aufgeführten kritischen Werte erkennen und meist auch sanieren.
- die Bestände hoher Lagen mit einem grossen oder ausschliesslichem Anteil an Lärchen stellen in ihrem Verbreitungsgebiet zu einem $\frac{1}{5}$ bis einem $\frac{1}{4}$ potentiell Waldlawinenanrissgebiet dar. Wegen der Gefährdung der darunterliegenden Bestände erheischen diese Wälder besondere Aufmerksamkeit bei der Waldpflege und der Verjüngung.

- die Bestände bis 1300 m.ü.M., meist Laubwälder und etwas weniger Laubmischwälder an Südost bis Südwest Expositionen, sind ähnlich wie die Lärchenwälder einzustufen. Die pro Winter oft mehrmals abgehenden Nassschneelawinen und -rutsche sind in ihrer Dimension jedoch geringer und damit meistens weniger gefährlich.

Im Vergleich mit den Freilandlawinen kann für trockene Schneebrettlawinen festgestellt werden, dass:

- die Gleitflächen nie in Reifschichten waren,
- die Hangneigung im Mittel um fünf Grad höher liegt,
- die Anrissmächtigkeit meist grösser ist (im Mittel Faktor 2).

Literaturverzeichnis

- EAJV, 1988: Schweizerisches Landesforstinventar - Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber., 305, 375 S.
- IEBIGER, G., 1978: Ursachen von Waldlawinen im Bereich der nordöstlichen Randalpen. Diss. Bodenkundliche Universität Wien, 406 S.
- IMBECK, H., 1984: Lawinenbildung im Wald und deren Wirkung in der Region Davos. Eidg. Inst. Schnee- u. Law.forsch., Interner Ber., 626, 21 S.
- KONETSCHNY, H., 1990: Schneebewegungen und Lawinentätigkeit in zerfallenden Bergwäldern. Informationsberichte Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft, München, 3/90, 300 S.
- LAATSCH, W., 1977: Die Entstehung von Lawinenbahnen im Hochlagenwald. Forstw. Cbl. 96: 89-93.
- MEYER-GRASS, M., 1987: Waldlawinen: Eigenarten, Vorkommen, Beziehungsgefüge; erste Erkenntnisse. In: Lawinen, Wald und Lawinenverbau. Eidg. Inst. Schnee- u. Law.forsch., Mitt., 43: 43-56.
- MEYER-GRASS, M., IMBECK, H., 1987: Waldlawinen und deren Abhängigkeit von Standorts- und Bestandesverhältnissen. Eidg. Inst. Schnee- u. Law.forsch., Interner Ber., 645, 43 S.
- QUERVAIN, M. de, MEISTER, R., 1987: 50 years of snow profiles on the Weissfluhjoch and the relations to the surrounding avalanche activity (1936/37-1985/86) In: Avalanche formation, movement and effects (Proceedings of the Davos symposium, September 1986). IAHS Publ. no. 162: 161-181.
- ZINGG, A., 1988: Anleitung für die Feldaufnahmen. In: Zingg und Bachofen 1988. Schweiz. Landesforstinventar. Anleitung für die Erstaufnahmen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber., 304: 5-117.

Anschrift der Autoren:

Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung
Zweibüro
Flüelastr. 11
CH-7260 Davos Dorf