

Die Bedeutung der winterlichen Schneedecke für junge Fichten im Gebirgswald: Ergebnisse aus dem Lusiwald bei Davos

Veronika Stöckli

Besides the environmental conditions during the growing season, the winter snow cover is expected to have crucial effects on the development and survival of young spruce trees in subalpine forests. To identify crucial micro site conditions for the regeneration of subalpine spruce forests, an experiment was set up in the Lusiwald forest near Davos in 1989. Until 1996, 84 groups of 16 11-years-old spruce trees were yearly monitored in terms of tree height, growth form, browsing by wild ungulates, infestation by snow mold and survival. In winter, snow depth was measured and snow melt was mapped in spring. The winter snow conditions were significantly different between forest openings and the stand. The snow was on average 20% deeper in the forest openings, leading to a retarded snow melt. As a consequence, infestation by snow mold was more frequent in the openings (20.4%) than in the stand (15.4%). In contrast, the reduced snow cover and earlier melt in the stand led to increased browsing by wild ungulates (8%; opening: 5.4%). Independent of the micro site, a fourth of all tree groups showed curved stem bases. In the openings, trees grew higher (53.8%; stand: 45.3%), whereas their survival was reduced (88.3%; stand: 93.1%), probably due to snow mold. The experiment in the Lusiwald shows, that the condition of spruce trees is direct and indirect decisively influenced by winter snow conditions.

Keywords: Herbivory, *Herpotrichia juniperi*, Pathogens, *Picea abies*, Protection forest, Regeneration, Snow cover

Adresse der Autorin:

Dr. Veronika Stöckli
Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11
7260 Davos Dorf/Schweiz
v.stoeckli@slf.ch

Angenommen: 1. 12. 2001

Der Wald vermag auch an steilen Hängen ein Anreissen von Lawinen zu verhindern, ganz im Gegensatz zu waldfreien Flächen (DE QUERVAIN 1978, KELLER 1978). Eine der wichtigsten Aufgaben des Gebirgswaldes ist entsprechend der Schutz des Menschen vor Lawinen und anderen Naturgefahren (BUWAL 2001). Damit ein Wald nachhaltig vor Naturgefahren schützen kann, sollte er eine gemischte Altersstruktur aufweisen (CHUENKOV & VLASOV 1978). Gleichförmige Wälder dagegen sind anfällig gegenüber Störungen, beispielsweise durch Sturm oder Insektenbefall (MAYER & OTT 1991). Solche Störungen könnten ein grossflächiges Absterben und Zusammenbrechen des Waldes nach sich ziehen. Von einem am Boden liegenden Wald wird ein Ausbleiben der Schutzwirkung befürchtet.

Eine gemischte Alterstruktur setzt ein ständiges Nachwachsen junger Bäume voraus. Doch ausgerechnet in Wäldern mit Schutzfunktion, die häufig an nordexponierten und steilen Hängen stocken, kommen junge Bäume nur sehr zögerlich auf (ENGLER 1900, OTT 1989). Nebst ungünstigen Standortbedingungen sind auch menschliche Einflüsse für ungünstige Altersstrukturen verantwortlich: In Folge grossflächiger Kahlschläge im 19. Jahrhundert weisen heute viele Schutzwälder eine gleichförmige Altersstruktur auf.

Um gleichförmige Schutzwälder möglichst rasch in eine gemischte und damit weniger problematische Waldstruktur zu überführen, sind waldbauliche Massnahmen wie die Schaffung

von Bestandeslücken und das Pflanzen von Bäumen üblich. Eine erfolgreiche Pflanzung an solch ungünstigen Waldstandorten setzt jedoch gute Kenntnisse der für junge Bäume wichtigsten Einflussgrößen voraus. Neben der vor allem an steilen Nordhängen reduzierten direkten Sonneneinstrahlung gelten hier vor allem die Bedingungen des Winters als entscheidend. Doch gerade die Eigenschaften der winterlichen Schneedecke und ihre Folgen für Aufkommen, Wachstum und Überleben des Gebirgswaldes sind noch ungenügend bekannt.

Durch ihre Bodennähe sind kleine Bäume im allgemeinen vielfältiger durch den Schnee beeinflusst als grosse Bäume, für welche vor allem die Last der Schneedecke von Bedeutung ist. Die Schneedecke kann auf verschiedene Art und Weise auf junge Bäume einwirken. Während der kalten Jahreszeit sind die Pflanzen unter einer mehr oder weniger mächtigen Schneedecke eingeschneit. Die Schneedecke belastet die jungen Bäume mechanisch, und kann so deren Wuchsgestalt verändern (LENZ 1967). Neben dieser direkten kann die Schneedecke aber vor allem auch indirekte Auswirkungen haben. So schützt die Schneedecke vor dem Verlust von Knospen und Zweigen, indem sie den Zugang von Herbivoren und damit Verbissschäden behindert (PRUITT 1960). Ausserdem schafft die Schneedecke auch ein eigenes Mikroklima. Sie isoliert gegen frostige Temperaturen, verzögert aber gleichzeitig den Wachstumsbeginn im Frühjahr. Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur in der Schneedecke beeinflussen die Aktivität von Pathogenen. Beispielsweise können verschiedene parasitische Schimmelpilze in der auftauenden Schneedecke ihre bevorzugten Wachstumsbedingungen finden.

Im Zusammenspiel zwischen den möglichen Auswirkungen der Schneedecke überwiegen je nach Dauer und Mächtigkeit der Schneebedeckung Vor- oder Nachteile für junge Bäume (ADAMS 1981). Umgekehrt kann auch die Waldstruktur die Schneedecke beeinflussen.

Um den Einfluss der Waldstruktur auf die Schneedecke und den Einfluss der Schneedecke auf junge Bäume unserer wichtigsten und häufigsten Baumart der Gebirgswälder, der Fichte, besser kennen zu lernen, erforscht das Eidgenössische Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF in einem Versuchswald, dem Lusiwald bei Davos-Laret, die Regeneration in einem typischen Lawinen-Schutzwald (SOMMERHALDER et al. 1991). 1989 wurde hier ein Experiment begonnen, bei dem in Bestandeslücken und im angrenzenden Wald zweijährige Fichten in Gruppen ausgepflanzt wurden. Von 1990 bis 1996 wurden jährlich Daten über die Schneedecke und die Entwicklung der jungen Fichten erhoben. Im Gebiet des Versuchs kommen ausserdem vereinzelt auch natürlich junge Fichten auf.

Im folgenden wird über den Zusammenhang zwischen Schneedecke und Entwicklung der gepflanzten jungen Fichten im Lusiwald berichtet. Die spezifischen Fragen sind:

1) Wie hängen die Schneeverhältnisse von der Bestandesstruktur (Lücke gegen offene Flächen) ab?

2) Wie hängen Überleben und Wachstum der jungen Fichten von Bestandesstruktur und Schneedecke ab?

3) Wie hängen Schädigungen der jungen Fichten durch Schneeschimmel und Verbiss von Bestandesstruktur und Schneedecke ab?

Die Antworten auf diese Fragen werden im Vergleich mit Beobachtungen zur Naturverjüngung diskutiert, was Schlussfolgerungen über die geeignetsten waldbaulichen Massnahmen zum Erhalt einer optimalen Schutzwaldstruktur erlaubt.

Methoden

Versuchsfläche Lusiwald

Der Lusiwald liegt zwischen 1520 m und 1700 m ü. M. an einem steilen (35°) Nordhang bei Davos-Laret (46° 50' 20" N, 9° 52' 30" E) zwischen Davos und Klosters. Klimatisch liegt dieses Gebiet zwischen den ozeanisch geprägten Nordalpen und den kontinentaleren Zentralalpen. Der Jahresniederschlag wird auf 1200 mm geschätzt (Klosters 1285 mm; Davos 1150 mm). Rund 40% des Gesamtniederschlages fallen als Schnee. In der Regel ist der Lusiwald zwischen Anfang November und Mitte Mai schneebedeckt, also während mehr als der Hälfte des Jahres.

Der 17 ha umfassende, gleichförmige und gleichaltrige Lusiwald ist ein Hochstauden-Fichtenwald (ELLENBERG & KLÖTZLI 1972). Er steht auf Braunerde, welche die darunterliegende Bergsturzmasse aus kristallinem Schuttmaterial, vor allem Gneis, bedeckt (JUCHLER & STICHER 1985). Die üppige Krautschicht im Lusiwald wird vornehmlich durch zwei grossblättrige Arten dominiert: Alpendost (*Adenostyles alliariae*) und Alpenmilchlattich (*Cicerbita alpina*). Die einheitliche Altersstruktur des Fichtenwaldes ist auf seine Nutzungsgeschichte zurückzuführen: Der Lusiwald ist in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts nach damals üblichem Kahlschlag und anschliessender Beweidung natürlich aufgekommen (IMBECK & OTT 1987).

Pflanzenmaterial und Versuchsanlage

1986 wurde Fichtensaatgut auf 1400 m Höhe im 4 km vom Lusiwald entfernten ebenfalls nordexponierten Ginawald bei Klosters gesammelt. Aus diesem Material wurden in einer Baumschule in Klosters (1200 m) über 1800 Fichten aufgezogen. Im Jahr 1988 wurden im Lusiwald 5 neue Bestandeslücken von rund 1000 bis 1500 m² Fläche geschlagen. Im Juli 1989 wurden dort 111 Baumgruppen von jeweils 16 jungen Fichten (4×4 Bäume in Quadraten von ca. 3 m² Fläche) mehr oder weniger regelmässig in die Bestandeslücken und den geschlossenen Bestand dieses Gebietes gepflanzt, insgesamt also 1776 zweijährige Fichten.

Da von den 111 gepflanzten Baumgruppen 27 bald nach der Pflanzung eingingen und später ersetzt wurden, werden hier nur 84 Gruppen aus 4 Bestandeslücken untersucht. Im Winter 1990/1991 stürzten einige grosse Fichten am Rand der ursprünglichen Bestandeslücken um, so dass sich die baumlose Fläche im Versuchsgebiet gleich zu Anfang des Versuchs beinahe verdoppelt hat. Nach 1991 standen 20 der Gruppen unterhalb oder im Traufbereich einer Baumkrone im mehr oder weniger geschlossenen Bestand («S» für «Schirm») und 64 in baumlosen Flächen («O» für «offen»).

Nach der Pflanzung wurden zur Unterstützung der heranwachsenden Bäume jedes Jahr im Sommer die konkurrierenden Hochstauden gemäht oder geknickt, und im Spätherbst Verbisschutz (Kalk) auf den Leittrieb und die obersten Seitentriebe der jungen Fichten aufgetragen.

Schneebedeckung

In den vier Bestandeslücken und im angrenzenden Bestand stehen in Linien oder Gruppen angeordnet insgesamt 81 Schneepegel von 3 m Höhe, an denen die Höhe der Schneebedeckung mit dem Fernglas von ausserhalb des Gebietes abgelesen werden kann. Ähnlich den Baumgruppen stehen 28 der Schneepegel im Bestand unter Schirm und 53 in den Bestandeslücken.

Im Winter wurde die Höhe und im Frühjahr die Dauer der Schneebedeckung erfasst. Die Höhe der Schneedecke wurde an den 81 Messpegeln nach jedem grösseren Schneefall abgelesen. Pro Winter wurde so drei bis zehn mal die Schneehöhe festgestellt. Für jeden Pegel wurde das Mittel aus den maximalen Schneehöhen der Winter 1992 bis 1996 berechnet. Die Pegel geben generelle Auskunft über die Höhe der Schneedecke in den Bestandeslücken und im Bestand des Versuchsgebietes. Da die Pegel jeweils in einigen Metern Distanz zu den gepflanzten Baumgruppen stehen, werden sie hier nicht direkt in Beziehung zu den einzelnen Baumgruppen gesetzt.

In jedem Frühjahr wurde der Fortgang der Ausaperung zwei bis drei mal kartiert. Dazu wurden die Konturen der Schneeflecken und aperen Stellen auf einem Plan des Versuchsgebietes (Massstab 1:350) eingezeichnet. Anhand dieser Ausaperungskarten wurde für jede Fichtengruppe pro Aufnahmezeitpunkt festgestellt, ob sie noch schneebedeckt (= 0) oder bereits aper (= 1) war. Die Mittelwerte pro Frühjahr wurden über die Jahre 1992 bis 1996 summiert. Diese Summe gilt in den Berechnungen als Mass für die Ausaperung pro Fichtengruppe.

Überleben, Wachstum und Schädigungen der Fichten

Jährlich im Herbst wurden Überleben, Wachstum und Schädigungen der jungen Fichten aufgenommen. Für die toten Bäume wurde die wahrscheinliche Absterbeursache festgehalten. Die Höhe der überlebenden Bäume wurde gemessen. Ausserdem wurde notiert, ob sie Verbisschäden durch Herbivoren erlitten hatten und ob sie durch den schwarzen Schneeschimmel

(*Herpotrichia juniperi* [Duby] Petr.) befallen waren. Für jeden Baum wurde aus diesen Daten für das Jahr 1996 das Überleben festgehalten, die Höhe herausgelesen, und für die Jahre 1992 bis 1996 die Summe der Schädigungen durch die beiden Schadensursachen ermittelt.

Auswertung

Mit t-Tests wurde getestet, ob sich ermittelte Parameter für Baumgruppen unter Schirm im Bestand von solchen in Bestandeslücken unterscheiden. Um herauszufinden, wie die Schneedecke mit der Entwicklung der Fichten und der Art ihrer Schädigungen zusammenhängt, wurden Korrelationen zwischen den Parametern für Ausaperung einerseits und für Schädigung durch Schneeschimmel und Verbiss andererseits durchgeführt.

Resultate und Diskussion

Schneeverhältnisse im Lusiwald

In den offenen Bestandeslücken lag im Winter bedeutend mehr Schnee als im geschlossenen Bestand. Das durchschnittliche Wintermaximum der Schneehöhe lag in den Bestandeslücken mit 124.8 cm (σ 13.3 cm) etwa 1.3 mal höher als im Bestand mit 98.7 cm (σ 22.5 cm) (Tabelle 1; Abbildung 1). Die reduzierte Schneemenge unter den Baumkronen ist auf die Interzeption zurückzuführen: Eine Fichte fängt je nach der Intensität des Niederschlages und der Menge des bereits aufgefangenen Schnees bis 50% des fallenden Schnees mit ihren reich verzweigten Ästen auf (Abbildung 2; SCHMIDT & GLUNS 1991). Diese Interzeption ist neben der Stützwirkung der Stämme und Stöcke und dem milden Waldklima ein wesentlicher Bestandteil der Schutzwirkung des Waldes gegen den Anriss von Lawinen (DE QUERVAIN 1978).

Entsprechend den grösseren Schneemengen in baumlosen Flächen bleibt der Schnee im Frühjahr dort länger liegen als unter den Bäumen im Bestand (mittlerer Aperwert im Frühjahr: S: 4.3 ± 1.1 ; O: 3.1 ± 2.1). Dieses Ergebnis während des Versuchszeitraums entspricht früheren Beobachtungen, nach denen im Lusiwald der Schnee in den Bestandeslücken rund zwei Wochen länger liegt als im Bestand (IMBECK 1984). Für diese verzögerte Ausaperung ist zusätzlich zur grösseren Schneemenge auch die in den offenen Bestandeslücken unbehinderte nächtliche Abstrahlung und die damit verbundene negative Energiebilanz verantwortlich (MARCHAND 1996).

Überleben, Wachstum, Gestalt, und Schädigungen der Fichte

Im Zeitraum von 1989 bis 1996 waren 10.6% der gepflanzten Fichten abgestorben. Bei 16% dieser Bäume wurde Schneeschimmelfall (Abbildung 3) als Ursache des Absterbens angegeben, bei 2% Verbiss durch das Wild. Das Überleben der jungen Fichten im Lusiwald unterschied sich signifikant zwischen

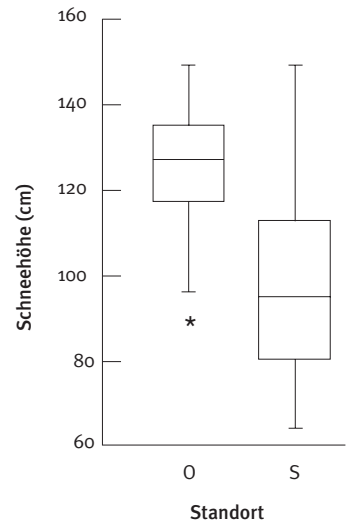


Abb. 1: Maximale Schneehöhen pro Winter gemittelt über die Jahre 1992 bis 1996, gruppiert nach Messstellen in Bestandeslücken (O; n = 53) und im geschlossenen Bestand unter Schirm (S; n = 28). Im Bestand unter Schirm werden aufgrund der Interzeption durch die Baumkrone deutlich geringere Schneehöhen gemessen als in den Lücken.

den Standorten im Bestand unter Schirm (93.1%) und denen in den Bestandeslücken (88.3%).

Die überlebenden Fichten erreichten 1996, sieben Jahre nach der Pflanzung, durchschnittlich eine Höhe von rund 51.7 ± 15.5 cm. Während die kleinsten Bäume nur knapp 10 cm hoch waren, erreichten die höchsten um 120 cm. Die Bäume in den Bestandeslücken wuchsen mit 53.8 ± 15.6 cm deutlich höher als diejenigen im Bestand (45.3 ± 13.3 cm). Dies entspricht dem Ergebnis einer Arbeit, in der festgestellt wurde, dass der Höhenzuwachs der Fichten im Lusiwald vor allem von der Dauer direkter Sonneneinstrahlung während der Vegetationszeit abhängt (MAYER 1999). Vermutlich ist die direkte Sonneneinstrahlung an

Tabelle 1: Schneedecke und Entwicklung von gepflanzten jungen Fichten im Lusiwald bei Davos. In Bestandeslücken: 904 junge Bäume in 64 Gruppen; im Bestand: 298 junge Bäume in 20 Gruppen.

Parameter	Standort		t	P
	in Bestandeslücke (n=64)	im Bestand (n=20)		
Schneehöhe (cm)	124.8	98.7	5.6	***
Ausaperung (Index)	3.3	4.3	-10.9	***
Überleben (%)	88.3	93.1	-2.7	**
Baumhöhe (cm)	53.8	45.3	9.1	***
Säbelwuchs (%)	30.6	26.8	1.16	n.s.
Schneeschnitzbefall (%)	20.4	15.4	2.85	**
Verbiss (%)	5.4	8.0	-3.46	***

Abb. 2, links: Schneebeladene Fichte im Lusiwald. Bei Lufttemperaturen über -3 °C bleibt besonders viel des niederfallenden Schnees auf den Ästen und Baumwipfeln haften.



Abb. 3, rechts: Junge Fichte mit Befall durch den Schwarzen Schneeschnitz *Herpotrichia juniperi*. Das Pilzmyzel entwickelt sich unter der Schneedecke, überwächst die Nadeln zunächst epiphytisch, wird dann durch Bildung von Haustorien ektoparasitisch und dringt schliesslich ins Nadelinnere vor.



nordexponierten Standorten dieser Höhenlage nicht nur für die photosynthetische Aktivität, sondern auch wegen der Erwärmung von Pflanzen und Boden wichtig (BONAN 1992).

Die Gestalt der jungen Fichten war durch den Schnee geprägt. Beinahe ein Drittel (29.7%) der jungen Bäume wiesen eine gebogene Stammbasis auf, den sogenannten Säbelwuchs oder Alphorn (z. B. SCHÖNENBERGER 1981). Diese Stammkrümmung resultiert aus zwei ineinander übergreifenden Belastungen der jungen Bäume durch die Schneedecke: der lotrecht wirkenden Last und der hangparallelen Kriechbewegung (SHIDEI 1954). Der Säbelwuchs war mit 30.6% in den Bestandeslücken ähnlich häufig wie im Bestand (26.8%).

Fast alle überlebenden Bäume waren 1996 geschädigt. 19.2% der Fichten waren durch den Schwarzen Schneeschimmel befallen, 6% waren trotz aufgetragenem Verbisschutz durch das Wild verbissen. Während der Schneeschimmelbefall in den Bestandeslücken mit 20.4% grösser war als im Bestand (15.4%), waren Verbisschäden mit 8.0% im Bestand häufiger als in den Bestandeslücken mit 5.4%.

Zusammenhang zwischen Schneebedeckung und Schäden durch Schneeschimmel und Verbiss

Sowohl das Muster des Vorkommens von Schneeschimmelbefall als auch dasjenige von Verbiss waren mit dem Muster der Schneebedeckung korreliert. Der Befall mit Schneeschimmel hing mit dem relativen Fortschreiten der Ausaperung zusammen ($r = -0.41$; $p < 0.01$): Je länger eine Baumgruppe unter der Schneedecke verblieb, desto wahrscheinlicher wurde sie vom Schneeschimmel befallen. Dies stimmt mit der Beobachtung überein, dass der Schneeschimmel seine bevorzugten Wachstumsbedingungen in Hohlräumen an den Grenzschichten zwischen Bodenoberfläche, Pflanze und der Schneedecke findet, wo die für ein Gedeihen des Pilzes notwendige hohe Luftfeuchtigkeit und Temperaturen über 0 °C herrschen (BAZZIGHER 1976). In der Hochlagenversuchsaufforstung Stillberg im Dischmatal bei Davos im Bereich der potentiellen Waldgrenze waren nach 20 Jahren etwa die Hälfte der gepflanzten Arven (*Pinus cembra*) und der Aufrechten Bergföhren (*Pinus mugo uncinata*) wegen Befall mit dem Pilz *Gremmeniella abietina* abgestorben, dagegen nur wenige der nadelwerfenden Lärchen (*Larix decidua*; SENN 1999). Im Stillberg war Pilzbefall in Teilgebieten mit hoher Schneedecke stärker und führte zu höherer Mortalität unter den immergrünen Nadelbäumen (SENN 1999).

Im Lusiwald verhielt sich die Verbisshäufigkeit genau umgekehrt wie der Schneeschimmelbefall: Früher ausapernde Baumgruppen wurden mit grösserer Wahrscheinlichkeit durch Wild verbissen als später ausapernde ($r = 0.269$; $p < 0.01$). Die Baumgruppen in den tiefer verschneiten und später schneefreien Bestandeslücken sind wahrscheinlich deshalb weniger vom Wild verbissen als Baumgruppen im Bestand, weil das Wild Bereiche mit hoher Schneedecke meidet (PRUITT 1960).

Schlussfolgerungen

Der nordexponierte Lusiwald bietet durch die geringe Sonneneinstrahlung und die hohe und lange andauernde Schneedecke grundsätzlich schlechte Startbedingungen für junge Fichten. Die Waldstruktur des Lusiwaldes mit Lücken und geschlossenem Bestand stellt zwei sehr unterschiedliche Kleinstandorte dar. Diese Struktur prägt die Verteilung der Schneedecke und deren Auswirkung auf die jungen Fichten. In den Bestandeslücken, wo der Schnee höher ist und länger liegen bleibt, ist deshalb das Befallsrisiko mit Schneeschimmel hoch. Im Gegensatz dazu ist die Schneedecke im Bestand weniger mächtig und die Ausaperung erfolgt früher, so dass die Fichten hier häufiger verbissen werden. In dieser Zwickmühle scheint zum jetzigen Zeitpunkt die Entwicklung der Fichten in den Bestandeslücken erfolgversprechender zu sein. Dank vermehrter Sonneneinstrahlung wachsen die Bäume hier rascher. Der zunehmend grössere Höhenzuwachs ermöglicht deshalb ein rascheres Entkommen aus dem Bereich der Probleme: Ein immer grösser werdender Anteil der Bäume befindet sich oberhalb der Schneedecke und wird kaum mehr vom Schneeschimmel befallen. Ob die weiter aus der Schneedecke herausragenden Bäume in Zukunft eher vom Wild verbissen werden, ist noch ungewiss. Es ist aber anzunehmen, dass die anhaltend hohe Schneedecke das Wild weiterhin an das Herannahen an die jungen Bäume hindert.

Ob nun die schneereicheren und später ausapernden Bestandeslücken nicht nur geeignetere Pflanzstandorte, sondern generell auch die besseren Verjüngungsstandorte sind, kann aufgrund der hier präsentierten Ergebnisse nicht schlüssig gesagt werden. Die Ergebnisse eines Saatversuches im Lusiwald haben nämlich gezeigt, dass Keimlinge andere Ansprüche an ihre Umgebung stellen als die etwas grösseren, bereits mehrjährigen Fichten aus dem Pflanzversuch. So herrschen im Bereich der Hochstauden in mitten der Bestandeslücken gar die schlechtesten Keimbedingungen (SLF, unveröffentlichte Daten). Auch die Überlebenschancen der Baumkeimlinge an dieser Stelle sind geringer. Dies liegt vermutlich ebenfalls am Schwarzen Schneeschimmel, der – wie auch an anderen Nordhängen – im Lusiwald als eine der häufigsten Absterbeursachen bei Fichtenkeimlingen identifiziert wurde (IMBECK & OTT 1987, BRANG 1998).

Ein Augenschein im Lusiwald zeigt, dass sich natürlich aufgekommene junge Fichten vor allem auf umgestürzten Wurzeltellern und rund um ältere Stöcke etablieren konnten. Diese speziellen Standorte zeichnen sich durch eine Kombination der im Pflanzversuch identifizierten bevorzugten Schnee- und Strahlungseigenschaften aus. Da dort eine interzeptierende Baumkrone fehlt, ist die winterliche Schneedecke im Bereich eines Stockes oder Wurzeltellers hoch und der Standort wird eher vom Wild gemieden. Die dunklen Holzkörper hingegen apert als Inseln stärkerer Erwärmung früher aus und reduzieren die Gefahr durch Befall mit Schneeschimmel. Die fehlende Baum-

krone ermöglicht zudem einen höheren Strahlungsgenuss im Sommer und schafft damit die Voraussetzung für besseres Wachstum. Das Substrat aus vermoderndem Holz und Mineralerde dieser Spezialstandorte wird von der Fichte bevorzugt (BISCHOFF 1987).

Diese natürliche Art der Verjüngung zeigt möglicherweise den natürlichen Verlauf der Walddynamik vergleichbarer Standorte auf. Doch für die Schutzansprüche des Menschen dauert sie zu lange, oder die dafür notwendigen Spezialstandorte sind nicht mehr verfügbar, weil alles Holz geerntet wurde. Falls in einem Schutzwald waldbauliche Massnahmen notwendig sind, sollten deshalb Stöcke, Wurzelteller und Stämme am Boden liegen bleiben. Diese schaffen nicht nur günstige Kleinstandorte für die Naturverjüngung der Fichte, sondern erhöhen gleichzeitig auch die Bodenrauheit, was die Gefahr eines Lawinenanrisse ebenfalls verringert.

Noch ist der Versuch im Lusiwald relativ jung. Doch in einigen Jahren werden einerseits die Fichtengruppen der Pflanzung im Lusiwald stärker differenziert sein, und es werden sich andererseits auch weitere junge Fichten natürlich etabliert haben. Dann wird der Vergleich natürlicher Verjüngung mit der Pflanzung, also die Kombination des natürlichen und des künstlichen Versuchs, die besten Kleinstandorte für Keimen und Aufkommen der Fichte im Lusiwald und vergleichbaren Standorten aufzeigen.

Dank

Für die Benützung des Lusiwalds als Versuchsfläche sei Herrn Dr. Robert Käppeli herzlich gedankt. Ebenfalls ein herzlicher Dank gilt den Reviewern der Zeitschrift BAUHINIA für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- ADAMS WP (1981) Snow: plants and animals. In: Gray DM & Male DH (eds) Handbook of Snow, Principles, Processes, Management & Use. Pergamon Press, Toronto. 776 p
- BAZZIGHER G (1976) Der schwarze Schneeschimmel der Koniferen (*Herpotrichia juniperi* [Duby] Petrak und *Herpotrichia Coulteri* [Peck] Bose). Eur J For Path 6: 109–22
- BISCHOFF N (1987) Pflege des Gebirgswaldes. Leitfaden für die Begründung und forstliche Nutzung von Gebirgswäldern. Bern, EDMZ
- BONAN GB (1992) Soil temperature as a ecological factor in boreal forests. In: Shugart HH, Lemans R, Bonan GB (eds) A Systems Analysis of the Global Boreal Forest. Cambridge Univ Press, Cambridge, UK. pp 126–143
- BRANG P (1998) Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. Can J For Res 28: 626–639

BUNDESAMT FÜR UMWELT WALD UND LANDSCHAFT (2001) Schweizer Wald: von der Katastrophe zur Erfolgsgeschichte – und jetzt? Umwelt 2/01, 55 p

CHUENKOV VS & VLASOV VP (1978) Snow Avalanches and Forest Interaction in the Alpine Region of the Caucasus, USSR. Arctic and Alpine Research 10: 241–242

DE QUERVAIN M (1978) Wald und Lawinen. In: In der Gand H, Kronfelder G, Ott E & Salm B (eds) Mountain Forests and Avalanches. IUFRO Working Party Snow and Avalanches. EDMZ, Davos, Switzerland, 219–239

ELLENBERG H & KLÖTZLI F (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitteilungen Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen 48pp

ENGLER A (1900) Wirtschaftsprincipien für die nachhaltige Verjüngung der Waldungen mit besonderer Berücksichtigung der verschiedenen Standortsverhältnisse der Schweiz. Schweiz Z Forstw 51: 264–274; 300–310

IMBECK H (1984) Schneeverteilung und Schneedeckenentwicklung in einem subalpinen Fichtenwald in steiler Nordlage. DVWK Mitteilungen 7: 285–315

IMBECK H & OTT E (1987) Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. Eidg Inst f Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos, Mitt. 42: 202 pp

JUCHLER S & STICHER H (1985) Der Totalpbergsturz bei Davos aus bodenkundlicher Sicht. Geographica Helvetica 3: 123–132

KELLER HM (1978) Snow Cover in Forest Stands. Pages 17–29 in: In der Gand H, Kronfelder G, Ott E & Salm B(eds) Mountain Forests and Avalanches. IUFRO Working Party Snow and Avalanches. EDMZ, Davos, Switzerland

LENZ PO (1967) Action de la neige et du gel sur les arbres de montagne, en particulier sur leur forme et l'anatomie de la tige. Mitteilungen Schweizerische Anstalt für das forstliche Versuchswesen 43 (3): 290–316

MARCHAND P (1996) Life in the Cold. An Introduction to Winter Ecology. University Press of New England, Hanover NH, USA

MAYER AC (1999) Verjüngung in Bestandeslücken eines subalpinen Hochstauden-Fichtenwaldes. Schweiz Z Forstw 150 (5): 171–177

MAYER H & OTT E (1991) Gebirgswaldbau Schutzwaldpflege. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

OTT E (1989) Verjüngungsprobleme in Hochstaudenreichen Gebirgsnadelwäldern. Schweiz Z Forstw 140: 23–42

PRUITT WO (1960) Animals in the snow. Sci Am 202: 60–68

SCHMIDT RA & GLUNS DR (1991) Snowfall interception on branches of three conifer species. Can J For Res 21: 1262–1269

SCHÖNENBERGER W (1981) Die Wuchsformen der Bäume an der alpinen Waldgrenze. Schweiz Z Forstwes 132: 149–162

SENN J (1999) Tree mortality caused by *Gremmeniella abietina* in a subalpine afforestation in the central Alps and its relationship with duration of snow cover. European Journal of Forest Pathology 29: (1) 65–74

SHIDEI T (1954) Studies on the damages on forest tree by snow pressure. Bulletin of the Government Forest Experiment Station 73: 89

SOMMERHALDER R, HÄGELI M, MEYER-GRASS M, & OTT E (1991) Verjüngungsversuche im Lusiwald (subalpiner Fichtenwald) bei Davos. Bündnerwald 44: 15–20