

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 165 (2014)  
**Heft:** 9

**Artikel:** Hochlagenaufforstungen in Lawinenverbauungen im Berner Oberland  
**Autor:** Ryter, Ueli  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097586>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.05.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Hochlagenaufforstungen in Lawinerverbauungen im Berner Oberland

Ueli Ryter Amt für Wald des Kantons Bern, Abteilung Naturgefahren (CH)\*

## Regeneration at high altitude in avalanche control stands in the Bernese Oberland

Since the 1950s, high altitude regeneration projects have been carried out in the avalanche control areas of the Bernese Oberland, using site-appropriate seedlings of domestic provenance from the cantonal nurseries. These plantations are intended to prevent, in the medium to long term, the start of avalanches. On the one hand, the article presents an analysis of the measures taken since 1995, and the field measurements made in the high altitude plantation at Schwanderort (1730–1780 m) above Brienz. This provides information on the development of young Spruce under extreme external conditions. On the other hand, the article investigates from what age the regeneration can provide avalanche protection functions, based on the growth characteristics of 112 trees of different ages, from 24 avalanche protection projects. Site conditions at high altitude are much more extreme and vary more from year to year than at lower altitude. Nineteen years after the plantation at Schwanderort, 60% of the Spruce are still alive; over this period, their average height has increased from 19 cm to 152 cm. Because of the short vegetative period, their height growth takes place between 20 June and end of July, and is stopped or strongly reduced when average temperatures are below 10°C. Analysis shows that at the upper forest limit, one must wait 45–50 years before regeneration can fulfil its avalanche protection function.

**Keywords:** high altitude regeneration, site conditions, growth, vegetative period, provenance, avalanche protection function of forests

**doi:** 10.3188/szf.2014.0259

\* Schloss 2, CH-3800 Interlaken, E-Mail ueli.ryter@vol.be.ch

Zum Schutz von Siedlungen und Verkehrswegen wurden im Berner Oberland seit dem Lawinenwinter 1950/1951 insgesamt 45 Lawinerverbauungsprojekte mit 59 km Stützwerken ausgeführt. Im Wissen, dass die Lebensdauer technischer Verbauungen beschränkt ist, sind die verbauten Flächen (165 ha) bis in den Bereich der natürlichen Waldgrenze konsequent aufgeforstet worden (Abbildung 1). Die aufwachsenden Wälder sollen mittel- und langfristig die Funktion der Stützwerke übernehmen und die Entstehung von Lawinen nachhaltig verhindern. Bis heute sind in den Lawinerverbauungs- und Aufforstungsprojekten 1.6 Millionen Pflanzen gesetzt und in der Regel gegen Gleitschnee geschützt worden. In den ersten Jahrzehnten erfolgte dieser Schutz durch Bermenteller (54 800 Stück), Bermentritte (65 700 m) und Pfähle (4300 Stück), seit rund 30 Jahren durch Dreibeinböcke (18 300 Stück). Der Verwendung standortgerechter Pflanzen wurde von Anfang an die notwendige Beachtung geschenkt,

indem der Kanton Bern seit den 1950er-Jahren eigene Forstbauschulen für die Nachzucht von Hochlagenprovenienzen aus den Tälern des Berner Oberlandes betreibt.

Der vorliegende Artikel beschreibt einige der wichtigsten Erkenntnisse aus Untersuchungen der Abteilung Naturgefahren über die Entwicklung von Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland. Dabei werden in einem ersten Teil Ergebnisse von langjährigen Untersuchungen über Standortbedingungen und Baumwachstum in der an der Waldgrenze gelegenen Beobachtungsfläche «Schwanderort» zusammengefasst. In einem zweiten Teil werden auf einer breiteren Basis von 24 Aufforstungsprojekten im Berner Oberland Zusammenhänge zwischen Höhenlage, Baumwachstum und Lawinenschutzwirksamkeit erläutert. Dabei handelt es sich um Beispiele aus der Praxis und nicht um wissenschaftliche Experimente.



Abb 1 Aufforstungen im Lawinerverbauungsprojekt Wilerhorn (Gemeinde Brienzwiler).



Abb 2 Hochlagenaufforstung mit Gleitschneeverbauung am Schwanderort (1730–1780 m ü. M.).

## Untersuchungen in der Hochlagenaufforstung Schwanderort

Oberhalb von Brienz führt die Abteilung Naturgefahren seit 1995 in der Hochlagenaufforstung am Schwanderort (Abbildung 2) umfangreiche Messungen und Feldaufnahmen durch und wertet diese systematisch aus. Die leicht runsenförmige Fläche erstreckt sich von 1730 bis 1780 m ü. M. und weist die Expositionen SE-S-SW auf. Die Hangneigung beträgt 35°, und der Untergrund besteht aus Kalkgestein. Im Schutz von 215 Dreibeinböcken wurden auf einer Fläche von 0.2 ha insgesamt 1700 Fichten der Provenienz Gibelegg gepflanzt, deren Samen-erntebestand sich auf gleicher Höhe in unmittelbarer Nähe befindet. Die Pflanzen wurden in der kantonalen Forstbaumschule Kleiner Rugen in Matten bei Interlaken (Nacktwurzler und Topfpflanzen) und bei der Firma LIECO in Kalwang (Österreich; Containerpflanzen) nachgezogen. In diesem Artikel wird

das Wuchsverhalten der als Nacktwurzler gepflanzten Fichten beschrieben, da diese 99% der Aufforstungen in den Lawinerverbauungen im Berner Oberland ausmachen.

Untersucht werden die Standortverhältnisse und die Entwicklung der jungen Aufforstung. Gemessen werden Luft- und Bodentemperaturen und die Niederschläge in Form von Regen. Eine automatische Kamera dokumentiert die äusseren Bedingungen (beispielsweise die Schneebedeckung/Ausaperung) auch bildlich. In einer Distanz von vier respektive einem Kilometer befinden sich die IMIS-Stationen Rotschalp und Brienzler Rothorn, die über die Schnee- und Windverhältnisse Auskunft geben.

Jeweils im Frühjahr nach der Ausaperung und im Spätherbst vor dem Einwintern werden Feldaufnahmen durchgeführt und an den Pflanzen die folgenden Merkmale erhoben: Ausfälle, Grösse, Schneeschimmelbefall, Gleitschnees Schäden und Wildverbiss.

### Standortbedingungen im Bereich der Waldgrenze

#### Lufttemperatur

Die Jahresmitteltemperatur betrug am Schwanderort (1780 m ü. M.) in den vergangenen 18 Jahren durchschnittlich 4.5 °C. Zum Vergleich lag sie im nahe gelegenen Interlaken (560 m ü. M.) im gleichen Zeitraum bei 9.2 °C. Die Werte variierten am Schwanderort zwischen 3.0 und 6.2 °C, in Interlaken zwischen 8.3 und 10.3 °C. Die jährlichen Unterschiede sind in der Hochlage deutlich ausgeprägter. Die Temperaturunterschiede zwischen Berg- und Talagen sind besonders vom Frühjahr bis im Herbst gross. Im Winter liegen die Kurven näher beieinander, bei Inversionslagen sind die Temperaturen im Tal sogar tiefer als in den hohen Lagen.

Bei der Analyse der Monatsdurchschnittstemperaturen (Abbildung 3) fallen die gewaltigen Unterschiede auf, die in Hochlagen von Jahr zu Jahr auftreten können. Im Februar beispielsweise liegt der Durchschnitt bei -2.9 °C, 2005 lag der Wert bei -7.8 °C und 1998 bei +3.3 °C (Differenz von 11.1 °C). Auch die Sommermonate unterscheiden sich sehr stark. Im August liegt der Durchschnitt bei 12.2 °C, 2006 lag der Wert bei 7.1 °C, im Hitzesommer 2003 bei 16.6 °C (Differenz von 9.5 °C).

#### Frost

Temperaturen im Minusbereich bereiten den Pflanzen vor allem im Zeitraum vom Knospenaustrieb bis zum Abschluss der Verholzung der neuen Jahrestriebe Probleme. In Hochlagen treten Spätfröste wesentlich länger auf als in Tallagen und Frühfröste deutlich früher.

Die Temperaturlogger (Universal Temperature Datalogger UTL, Geotest/SLF) am Schwanderort sind so programmiert, dass sie täglich zehn Messungen abspeichern. Bisher sind ausser im Juli und August

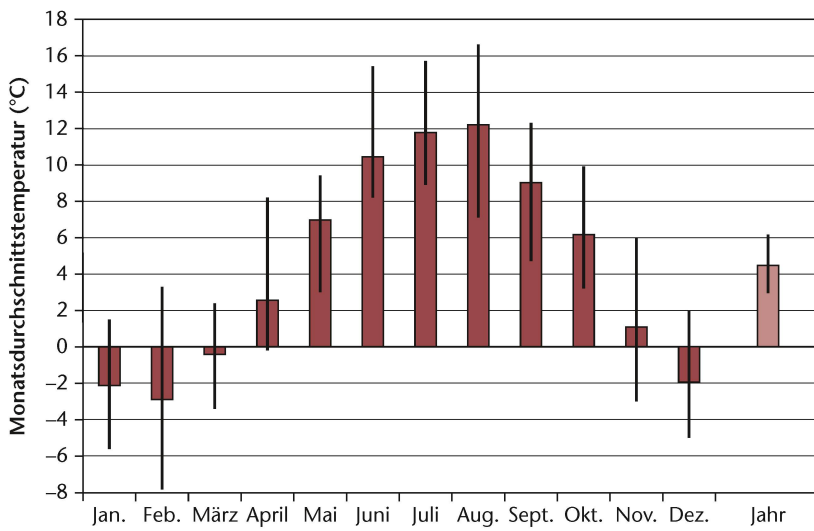


Abb 3 Monatsdurchschnittstemperaturen am Schwanderort auf 1780 m ü. M. (Mittelwerte und Schwankungsbereiche Minimum–Maximum, 1995–2013).

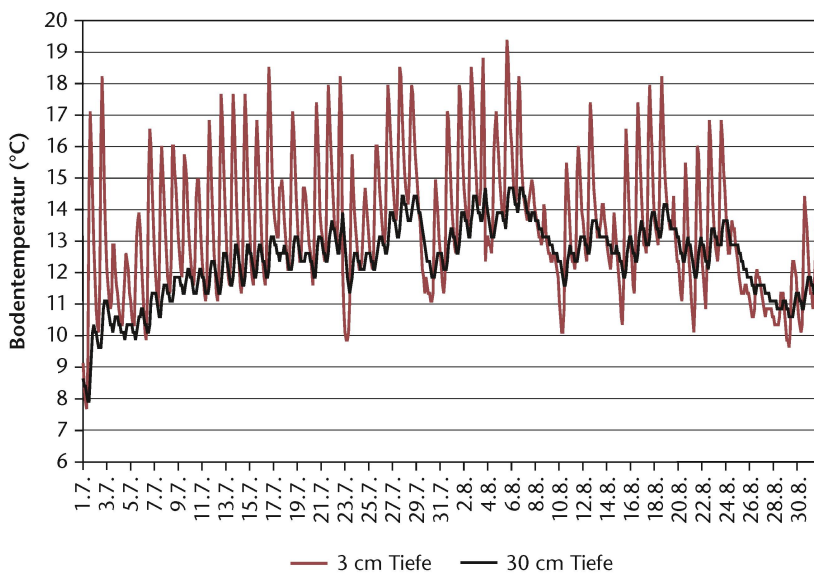


Abb 4 Verlauf der Bodentemperaturen am Schwanderort auf 1780 m ü. M. (10 Messungen/Tag) im Juli und August 2013.

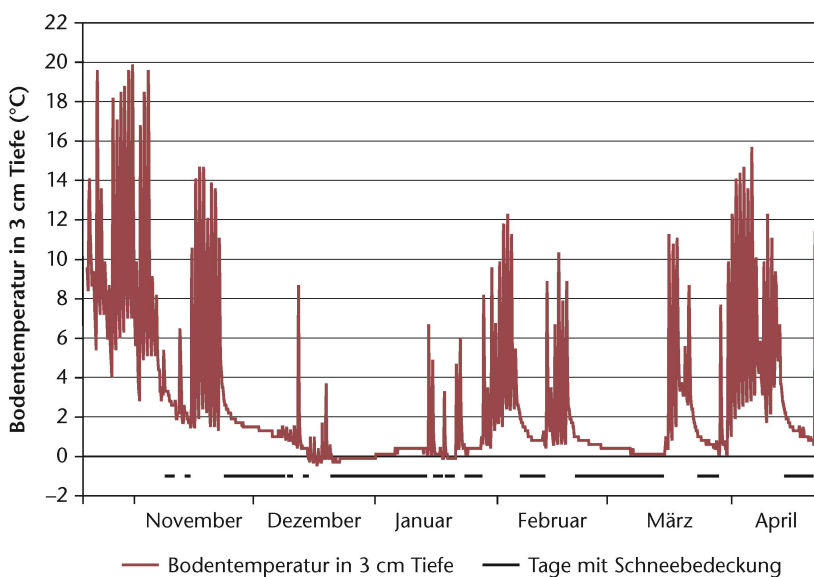


Abb 5 Aus dem Verlauf der Bodentemperaturen in 3 cm Tiefe (10 Messungen/Tag) lässt sich die Schneebedeckung ableiten (Isolationswirkung). Beispiel: Winter 2001/2002.

in jedem Monat Tagesdurchschnittstemperaturen im Minusbereich gemessen worden. Auch Eistage, an denen die Temperatur nie über 0 °C stieg, sind nur im Juli und August noch nie aufgetreten. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sind sehr gross. Im Januar 1996 beispielsweise gab es nur drei Tage mit Durchschnittstemperaturen im Minusbereich, im Januar 2010 hingegen deren 29.

#### Bodentemperaturen

In der Aufforstungsfläche wurden Temperaturlogger im Boden platziert, und zwar in 3 cm (Wurzelbereich der Sämlinge) und in 30 cm Tiefe (Wurzelbereich der gepflanzten Fichten). Erwartungsgemäss sind die täglichen Schwankungen knapp unter der Bodenoberfläche viel ausgeprägter als tiefer unten (Abbildung 4). Die tiefsten in den vergangenen 18 Jahren gemessenen Temperaturen lagen in 3 cm Tiefe bei -5 °C, in 30 cm Tiefe bei -0.1 °C. Im Sommerhalbjahr liegen die täglichen Durchschnittswerte der Bodentemperaturen in 3 cm Tiefe über denjenigen in 30 cm Tiefe, im Winterhalbjahr ist es umgekehrt.

#### Schnee

Die Schneebedeckung ist ein weiterer wichtiger Standortfaktor für die Hochlagenaufforstungen. Die mechanischen Einwirkungen von Gleitschnee können durch Dreibeinböcke deutlich reduziert werden; die Auflast und die Setzung der Schneedecke belasten die Pflanzen trotzdem stark. Schneefreie Phasen im Hochwinter können für die jungen Pflanzen wegen Frosttrocknis und Wildverbiss problematisch sein. Weiter hat der Verlauf der Ausaperung unterschiedlich intensive Auswirkungen auf das Auftreten des schwarzen Schneeschimmels.

Da am Schwanderort kein automatischer Schneehöhenmesser vorhanden ist, wird die Schneebedeckung indirekt hergeleitet. Die Auswertung der Temperaturlogger unmittelbar unter der Bodenoberfläche hat gezeigt, dass bereits bei einer Schneebedeckung von wenigen Zentimetern die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur im Boden nicht mehr feststellbar sind (Abbildung 5), da der Schnee als ausgezeichneter Isolator wirkt. Dieser Zusammenhang konnte mit den Fotos der automatischen Kamera bestätigt werden.

Der Verlauf der Winter ist von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich (Abbildung 6). Durchschnittlich dauert die Schneebedeckung am Schwanderort 136 Tage, im Minimum 79 Tage und maximal 190 Tage (Lawinenwinter 1998/1999).

#### Wild

In der Aufforstung am Schwanderort können regelmässig Gämsen und Steinwild beobachtet werden (Abbildung 7). Im Rahmen der Feldaufnahmen werden die Gipfeltriebe sämtlicher Pflanzen jährlich

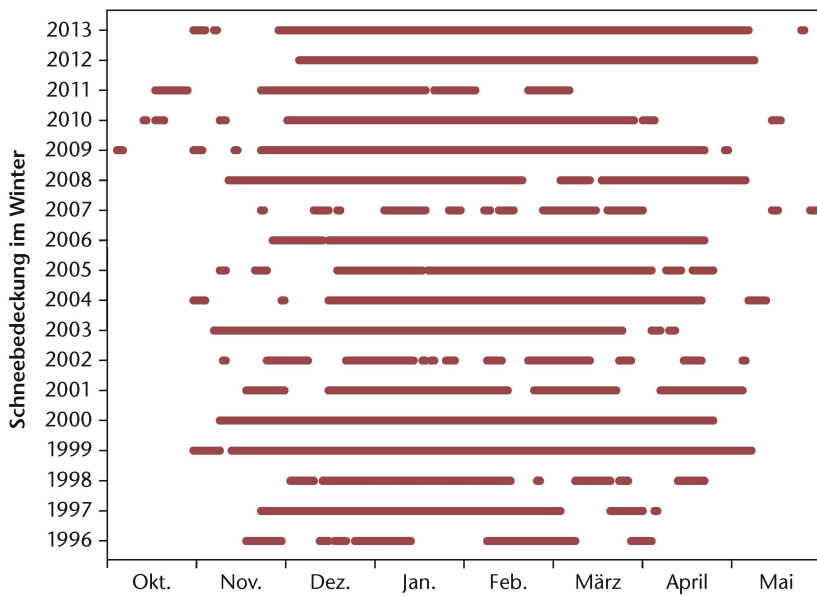


Abb 6 Schneebedeckung in den Wintern 1995/1996 bis 2012/2013. Y-Achse: 1996 ist als Winter 1995/1996 zu interpretieren.



Abb 7 Sogar im Hochwinter halten sich Gämsen in der Aufforstungsfläche am Schwanderort auf (1780 m ü. M.). Das Bild wurde von einer automatischen Kamera aufgenommen.

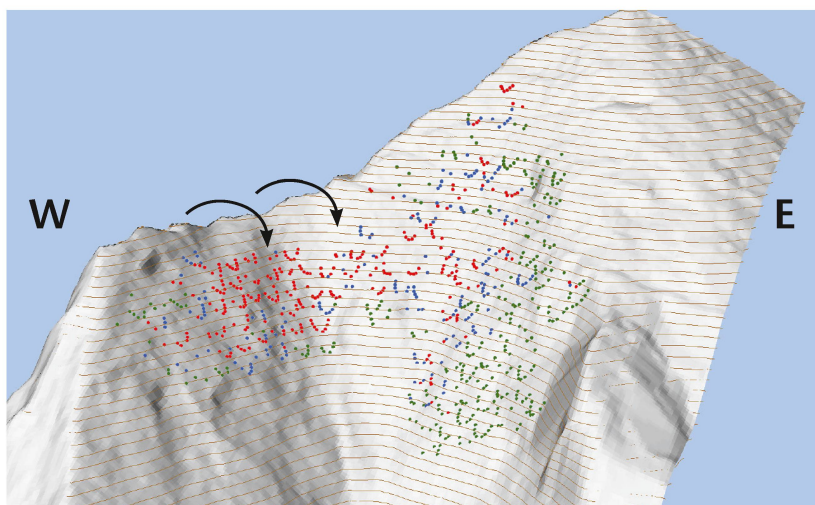


Abb 8 Befall durch den Schwarzen Schneeschimmel (1996–2013): Die grün symbolisierten Pflanzen wurden nie befallen, die blauen einmal, die roten mehrmals. Die Pfeile geben die Windrichtung mit Triebschneeablagerungen an.

zweimal auf Verbiss hin untersucht. Im ersten Winter nach der Pflanzung wurden 71% der Fichten verbissen. Ein wesentlicher Grund für diesen ausserordentlich hohen Anteil lag darin, dass die Pflanzen im Winter 1995/1996 während mehrerer schneefreier Perioden für das Wild gut zugänglich waren. Der Anteil der verbissenen Pflanzen lag bei den Folgeaufnahmen nie mehr über 30% und ab dem Frühjahr 2000 (5 Jahre nach der Pflanzung) immer unter 12%. Nach Eiberle & Nigg (1987) liegt die kritische Verbissintensität bei 12%. Der Wildverbiss ist somit in der Beobachtungsfläche am Schwanderort kein limitierender Standortfaktor.

#### Schwarzer Schneeschimmel

Der Schwarze Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) entwickelt sich vor allem an Standorten mit lang andauernder Schneebedeckung und hoher Luftfeuchtigkeit. Die Runsenform der Aufforstungsfläche führt dazu, dass die Ausaperung je nach Exposition sehr unterschiedlich verläuft. Während des Winters ist die Schneedecke aufgrund der Hauptniederschlagsrichtung aus Westen und Nordwesten im südostexponierten Leebereich und der angrenzenden Mulde besonders mächtig; dort sind die jungen Pflanzen im Frühjahr am längsten vom Schnee bedeckt. Die Auswertungen des Schneeschimmelbefalls entsprechen diesem Muster weitgehend (Abbildung 8). An 62% der 2013 noch lebenden Pflanzen wurde in den vergangenen 19 Jahren mindestens einmal ein Befall festgestellt, davon bei 38% einmal, bei 21% zweimal und bei 41% noch häufiger.

#### Wachstum der Hochlagenaufforstungen

##### Entwicklung der jungen Fichten von 1995 bis 2013

Die durchschnittliche Grösse der vierjährigen Fichten (2/2) betrug zum Zeitpunkt der Pflanzung im Frühjahr 1995 19 cm; in der ersten Vegetationsperiode wuchsen die Fichten 3 cm (Abbildung 9). Der erste Winter war ausgesprochen schneearm mit mehreren schneefreien Perioden. Die jungen Pflanzen waren nicht eingeschneit und wurden vom Wild derart stark verbissen, dass deren durchschnittliche Grösse nach der zweiten Vegetationsperiode 2 cm geringer war als im Vorjahr. In den folgenden Jahren betrug das Höhenwachstum 2 bis maximal 16 cm pro Jahr.

Die Höhe der Pflanzen hat in den ersten 19 Vegetationsperioden im Durchschnitt um 133 cm zugenommen. Mit zunehmendem Alter werden die Unterschiede in der individuellen Entwicklung immer grösser. Bei der Pflanzung war die grösste Fichte 23 cm grösser als die kleinste, nach fünf Vegetationsperioden betrug dieser Unterschied 45 cm, nach zehn Jahren 94 cm, nach 15 Jahren 178 cm und nach 19 Jahren beachtliche 302 cm.

Nach 19 Jahren lebten noch 59% der ursprünglich gepflanzten Fichten (Abbildung 10). Diese im Vergleich zu andern Hochlagenaufforstungen (z.B. Still-

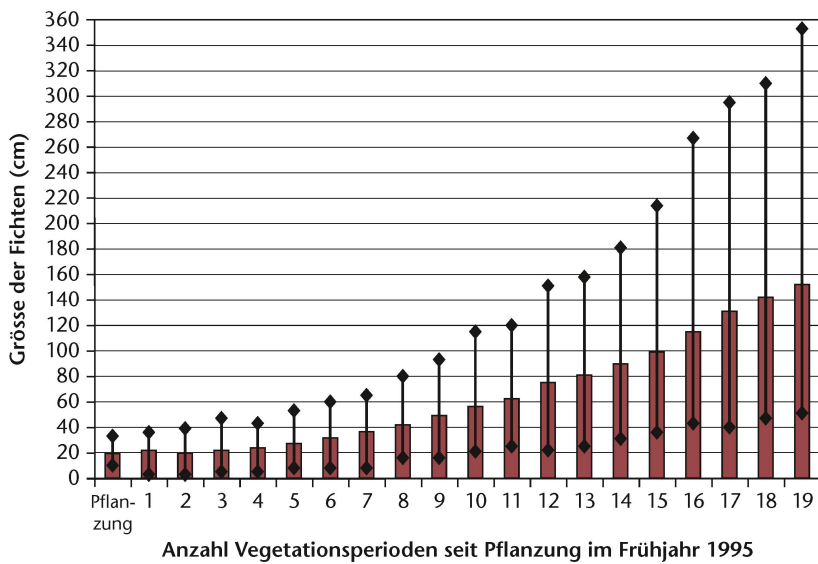


Abb 9 Wachstum der jungen Fichten auf 1730–1780 m ü. M. Durchschnittliche Grössen (Säulen) sowie Streubereiche zwischen den kleinsten und den grössten Pflanzen.

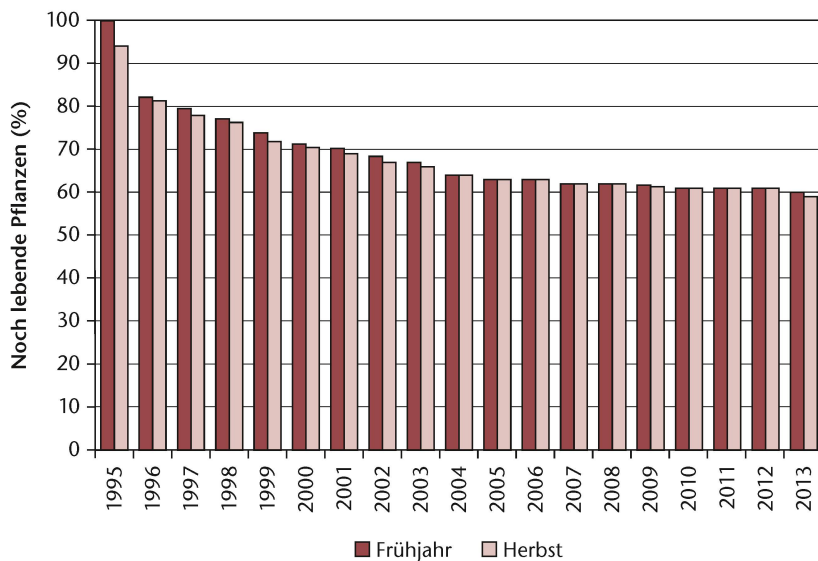


Abb 10 Überlebensrate der Fichten in der Hochlagenaufforstung am Schwanderort auf 1780 m ü. M. seit der Pflanzung im Jahr 1995.

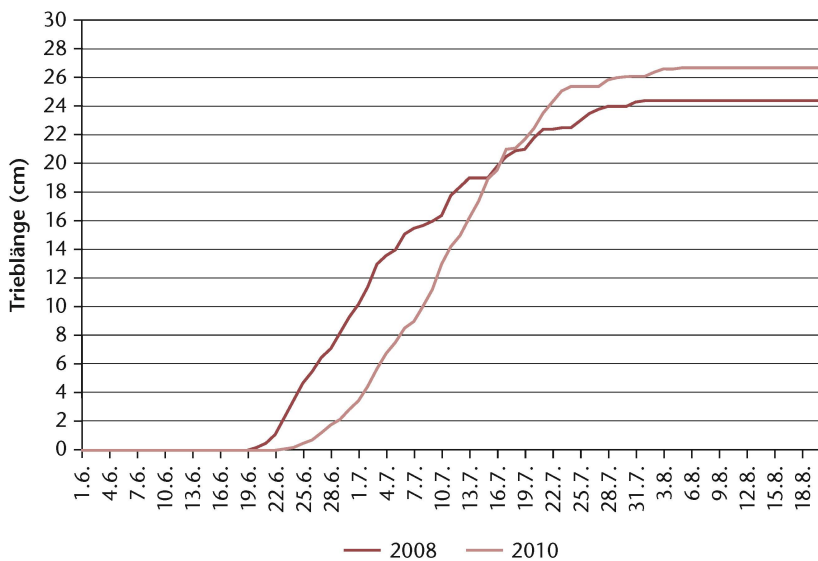


Abb 11 Wachstum von Fichten-Gipfeltrieben in den Sommermonaten 2008 und 2010.

berg [Davos]; Senn & Schönenberger 2001) recht hohe Überlebensrate deutet auf einen verhältnismässig waldfreundlichen Standort hin und zeigt, dass die verwendete Lokalprovenienz gut an den Standort angepasst ist. Zudem hat sich die Anordnung der jungen Fichten im Schutz der Dreibeinböcke gegen die Einwirkungen des Gleitschnees bewährt.

Die Ausfälle waren vor allem im ersten Sommer nach der Pflanzung (6%) und im ersten Winter (13%) relativ hoch. In den darauffolgenden Jahren betrug die Differenz zwischen zwei Aufnahmen nie mehr als 3%. Bezogen auf die Jahreszeit beträgt das Verhältnis der Ausfälle im Winterhalbjahr zum Sommerhalbjahr 57:43. Rund 60% der ausgefallenen Pflanzen waren abgestorben, 40% waren nicht mehr auffindbar.

Im Gegensatz zu anderen Regionen der Schweiz, wo sich Topfpflanzen gut bewährt haben (Schönenberger et al 1990, Wasem et al 2010), war am Schwanderort die Überlebensrate nach 19 Jahren bei den Topfpflanzen mit lediglich 23% deutlich geringer als bei den Nacktwurzeln mit 59%. Bereits im ersten Sommer sind 21% der Topfpflanzen ausgefallen, dreieinhalb mal so viele wie bei den Nacktwurzeln. Nach dem ersten Winter war ein Drittel der im Herbst noch lebenden Pflanzen verschwunden oder abgestorben. Gestützt auf Beobachtungen in anderen Aufforstungen, die gezeigt haben, dass die Wurzeln von Topfpflanzen in der ersten Vegetationsperiode noch kaum in den umgebenden Boden vorzudringen vermögen, gehen wir davon aus, dass die hohe Absterberate am Schwanderort durch die ungenügende Verwurzelung und Verankerung verursacht wurde.

#### Kurze Vegetationszeit

In Hochlagen steht den Pflanzen aufgrund der Temperaturverhältnisse jährlich nur eine sehr begrenzte Zeit für das Wachstum und die Verholzung der neuen Triebe zur Verfügung. Wann das Wachstum der Gipfeltriebe jeweils einsetzt und abgeschlossen ist, wird in der Versuchsfläche am Schwanderort mit einer automatischen Kamera bildlich dokumentiert und ausgewertet. Auf den mit Datum und Zeitpunkt der Aufnahme versehenen Fotos ist neben dem Gipfeltrieb ein Doppelmeter mit Millimeterteilung abgebildet; dadurch lässt sich der Verlauf des Wachstums genau rekonstruieren. Die Auswertungen der Jahre 2008 und 2010 zeigen, dass das Höhenwachstum um den 20. Juni einsetzt und bereits Ende Juli abgeschlossen ist (Abbildung 11). In den übrigen Jahren hat die Kamera nicht durchgehend funktioniert; die Beobachtungen im Gelände decken sich aber mit den Ergebnissen der zwei ausgewerteten Wachstumsperioden.

Selbst während dieser kurzen Zeit von nur sechs Wochen wachsen die Gipfeltriebe nicht konstant. Der Vergleich mit den Lufttemperaturen zeigt

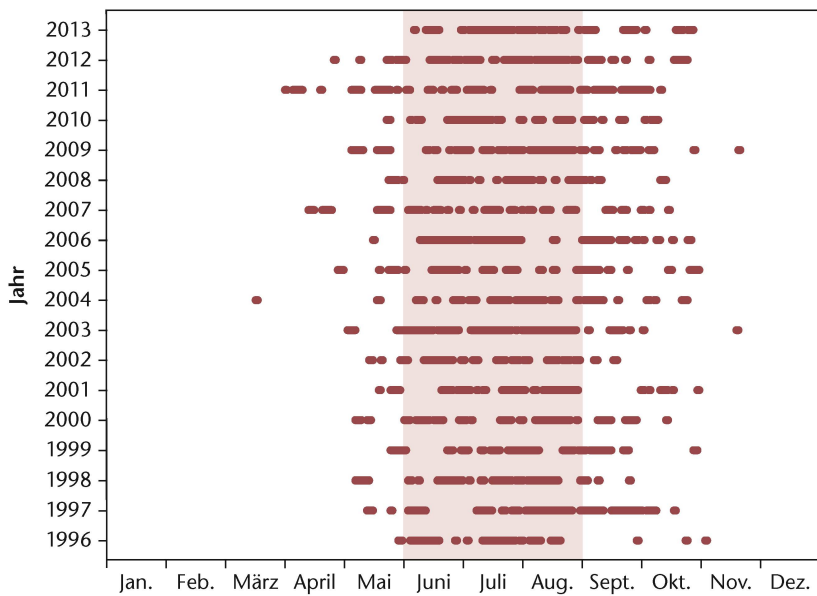


Abb 12 Vegetationstage mit Temperaturmittelwerten >10 °C auf 1780 m ü. M. (hinterlegt: Sommermonate).

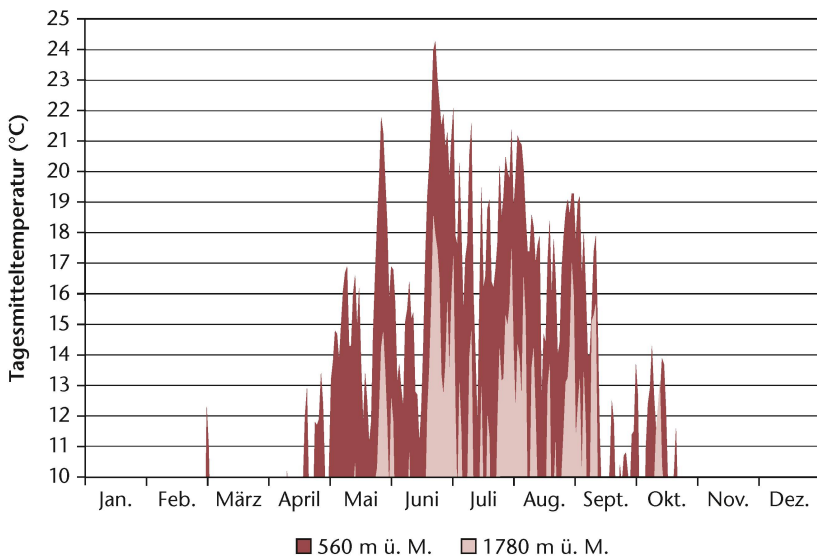


Abb 13 Tagesmitteltemperaturen von mindestens 10 °C («Vegetationstage») in zwei Höhenlagen im Jahr 2008.



Abb 14 Unterschiedlicher Stand der Verholzung von Hochlagen- (links) und Tieflagenprovenienz (rechts) am 9. September 2004.

eine deutliche Abhängigkeit. Aus verschiedensten Untersuchungen weltweit und auch am Stillberg ist bekannt, dass die kritische Temperatur, oberhalb welcher das Wachstum von Bäumen im temperaturlimitierten Waldgrenzenbereich möglich ist, zwischen 5 und 7.5 °C beträgt (vgl. z.B. Körner 1998 oder Häsler et al 1999). Meistens wird dabei mit Bodentemperaturen gearbeitet, da diese weniger schwanken als Lufttemperaturen.

Die Auswertungen in der Hochlagenaufforstung am Schwanderort zeigen, dass das Wachstum bei Tagesdurchschnittswerten der Lufttemperatur unter 10 °C stark eingeschränkt ist oder sogar ganz aussetzt. Aufgrund dieser Erkenntnis wurden aus den Daten der Temperaturlogger für die vergangenen 18 Jahre die «Vegetationstage» mit Tagesmitteltemperaturen von mindestens 10 °C berechnet (Abbildung 12). Die Auswertungen zeigen, dass in Hochlagen selbst während der Sommermonate immer wieder Perioden auftreten, in denen dieser Schwellenwert nicht erreicht wird (sogar im Hitzesommer 2003).

Die Verhältnisse im Bereich der Waldgrenze wurden mit denjenigen im Tal verglichen (Abbildung 13), die dabei festgestellten Unterschiede sind erwartungsgemäss sehr gross. Die Summe aller Tage mit Tagesmitteltemperatur von mindestens 10 °C beträgt am Schwanderort im Durchschnitt 89; in Interlaken ist sie mit 176 Tagen fast doppelt so gross. Die Werte variieren in der Hochlage zwischen 66 und 113 Tagen; diese Spannweite von 47 Tagen beträgt 53% des Mittelwerts und ist somit sehr gross. In der Tallage schwanken die Werte zwischen 164 und 194 Tagen und damit wesentlich weniger (Spannweite 30 Tage, 17%). Die Vegetationszeit dauerte am Schwanderort beispielsweise im Jahr 2008 von Mitte Juni bis Mitte September, wies aber in dieser Periode immer wieder Unterbrüche auf. Im Vergleich dazu wurden im Tal die Tagesmitteltemperaturen von 10 °C von Anfang Mai bis Mitte September nie unterschritten. Diese grundsätzlichen Unterschiede konnten in den vergangenen 18 Jahren durchwegs festgestellt werden. Die Vegetationszeit ist in Hochlagen deutlich kürzer und verläuft wesentlich unregelmässiger als in tieferen Lagen.

#### Bedeutung der Provenienzen

Den extremen Bedingungen in Hochlagen können nur angepasste Provenienzen trotzen. Zur Veranschaulichung dieser Tatsache wurden im Jahr 2004 am Schwanderort auch 205 Fichten einer typischen Tieflagenherkunft (Lyss, 490 m ü. M.) gepflanzt und beobachtet. Dass diese Pflanzen nicht an die kurze Vegetationszeit angepasst sind, zeigt sich beispielsweise darin, dass die neuen Triebe im Herbst nicht rechtzeitig vor den ersten Frühfrösten verholzt sind (Abbildung 14). Das Erfrieren der neuen Triebe führt dazu, dass das Wachstum der Tieflagenprovenienz im Vergleich zur Hochlagenprovenienz

stark reduziert ist. Nach zehn Vegetationsperioden hatten die Tieflagenfichten ihre Grösse im Vergleich zur Grösse bei der Pflanzung verdoppelt, die Hochlagenfichten waren zu diesem Zeitpunkt bereits dreimal so gross. Erstaunlicherweise unterscheidet sich der Ausfall bei den beiden Provenienzen nach zehn Jahren nicht wesentlich.

## Entwicklung und Schutzwirksamkeit von Aufforstungen im Berner Oberland

### Beobachtungsflächen und Untersuchungsmethoden

Aufnahmeequipen der Abteilung Naturgefahren haben in 24 Lawinerverbauungs- und Auffors-

tungsprojekten in verschiedenen Höhenlagen und Tälern (Abbildung 15) insgesamt 112 Fichten gefällt und vermessen. Die Untersuchungen hatten zum Ziel, das Wuchsverhalten der Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland zu analysieren.

Gemessen wurden die Höhen der Fichten sowie die Längen der Triebe der vergangenen Jahre, soweit diese aufgrund der Astquirle noch zugeordnet werden konnten. Die Altersbestimmung erfolgte durch Auszählung der Jahrringe. Die Auswahl der Probestämme innerhalb der Probestflächen erfolgte aus den grössten 40% der Fichten; einzelne übergrosse «Ausreisser» wurden nicht berücksichtigt. Diese Einschränkung erfolgte mit der Überlegung, dass dieser Anteil Pflanzen für die flächige Ausübung der Schutzfunktion genügt.

### Wachstum in verschiedenen Höhenlagen

Die untersuchten Bäume repräsentierten verschiedene Altersklassen. Für jedes Alter wurde jeweils pro Höhenstufe die durchschnittliche Höhe der Fichten berechnet und dargestellt (Abbildung 16). Diese Wachstumskurven zeigen sehr deutlich, dass die Entwicklung der Aufforstungen mit zunehmender Höhe über Meer stark verlangsamt ist. In Höhenlagen zwischen 800 und 1000 m erreichen die untersuchten Fichten bereits nach 20 Jahren eine Grösse von 10 m, auf 1700–1900 m ü. M. ist dies erst nach 55 Jahren der Fall. Die Ergebnisse stimmen gut überein mit anderen Untersuchungen in Aufforstungen in temporären Lawinerverbauungen im Berner Oberland (Egli 2010, Gertsch 2000) sowie auch mit Wachstumsmodellen, die aus Fichtenflächen im Gebirge abgeleitet wurden (Rammig et al 2007).

### Wann übernehmen Aufforstungen die Funktion der Lawinerverbauungen?

Massgebend für die Lawinenschutzfunktion der Gebirgswälder sind die Wirkungen des wintergrünen Kronendachs auf die Schneeablagerung und die Eigenschaften der Schneedecke. Damit Aufforstungen das Anreissen von Lawinen verhindern können, müssen sie eine minimale Höhe erreichen. Zur Herleitung dieses Schwellenwerts finden sich in der Literatur verschiedene Faustregeln.

Gemäss Wegleitung Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS; Frehner et al 2005) leisten Bäume einen Beitrag gegen das Anreissen von Lawinen, wenn sie die Schneehöhe um mindestens das Doppelte überragen. Obwohl bereits kleinere Bäume zur Stabilisierung der Schneedecke beitragen, wird im Allgemeinen erst Bäumen, welche mindestens 1.5-mal so hoch sind wie die maximal möglichen Schneehöhen einer bestimmten Region eine zuverlässige Lawinenschutzfunktion zugeordnet (Saeki & Matsuka 1969, Bebi et al 2009).

Die massgebenden Schneehöhen wurden für verschiedene Höhenlagen im Berner Oberland ge-

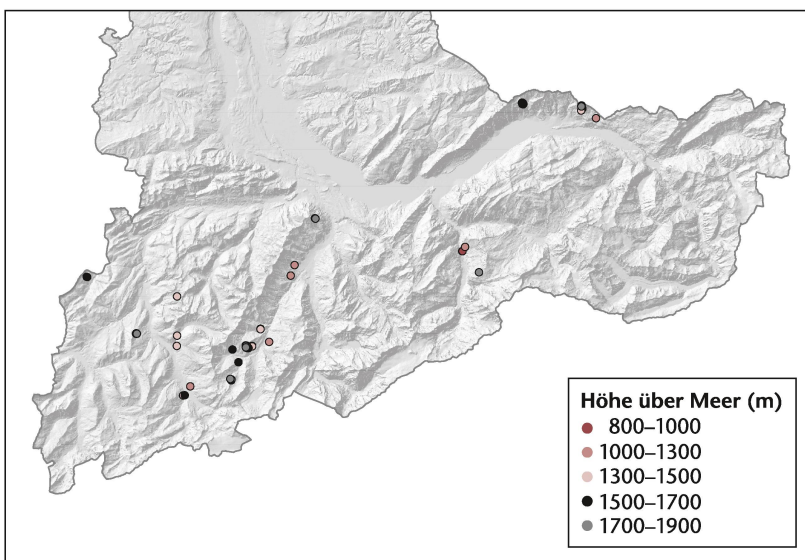


Abb 15 Lage der Stichproben in verschiedenen Tälern und Höhenlagen im Berner Oberland.

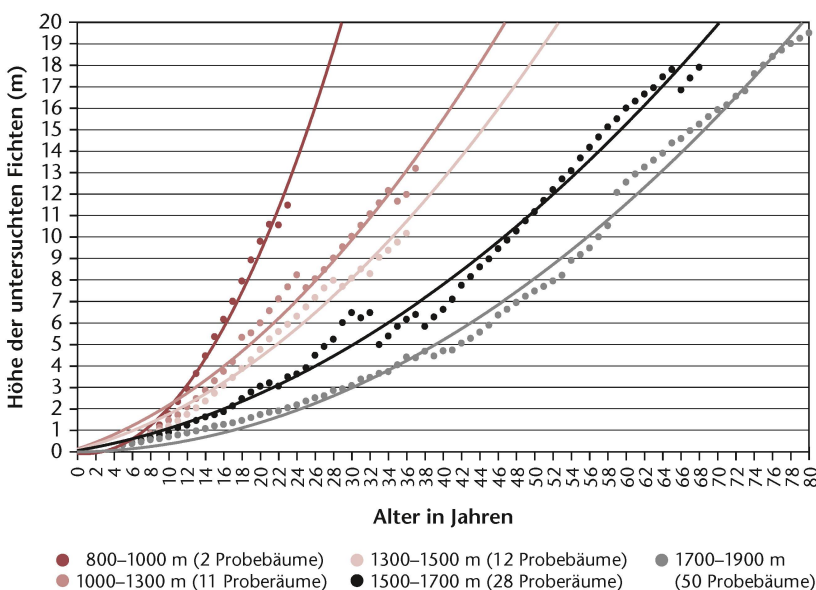
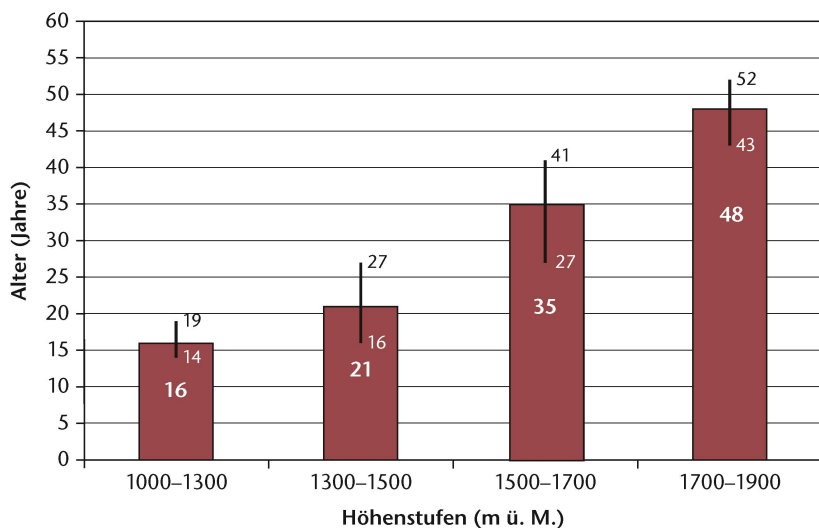
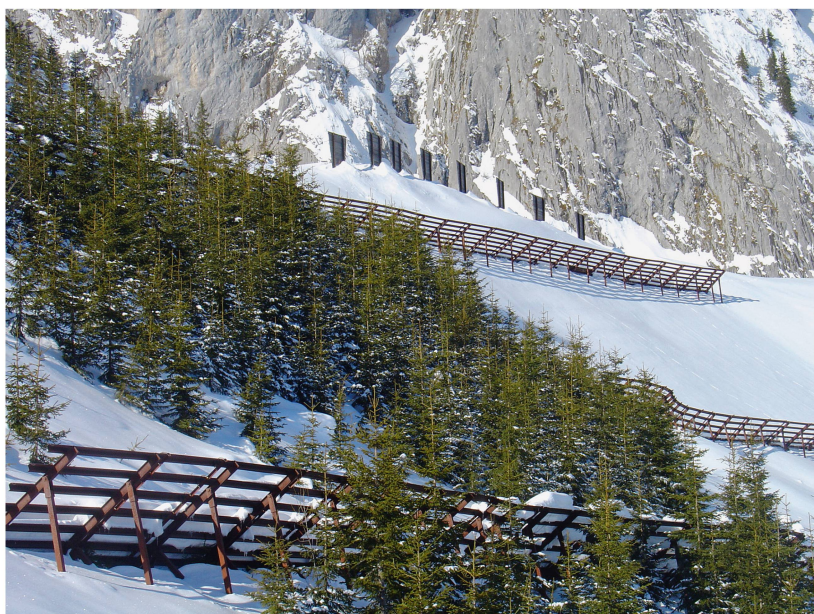


Abb 16 Wachstum der Fichtenaufforstungen im Berner Oberland in Abhängigkeit von der Höhenlage. Die «Sprünge» bei den Durchschnittswerten (z.B. 1500–1700 m ü. M., Alter 32–33) sind darin begründet, dass die Proben in unterschiedlichen Regionen entnommen wurden und dass die Anzahl Proben mit Alter über 30 Jahren wesentlich kleiner war.



**Abb 17** Alter, ab welchem die Aufforstungen die Funktion der Lawinerverbauungen übernehmen können (Mittelwerte und Streubereich von zwei Dritteln der untersuchten Pflanzen).



**Abb 18** Diese Aufforstung in Abländschen (1700 m ü. M.) hat sich seit der Pflanzung im Frühjahr 1986 sehr gut entwickelt und kann das Anreissen von Lawinen bereits zuverlässig verhindern.

mäss den Technischen Richtlinien für den Lawinerverbau im Anbruchgebiet (Margreth 2007) ermittelt. Sie sind definiert für eine Wiederkehrdauer von 100 Jahren. Diese Schneehöhen wurden mit dem Faktor 1.5 multipliziert und gerundet. Die so berechneten minimal erforderlichen Pflanzengrössen in den Aufforstungen betragen 4 m für die Höhenlagen von 1000 bis 1300 m ü. M., 5 m für solche von 1300 bis 1500 m, 6 m für 1500 bis 1700 m und 7 m für 1700 bis 1900 m.

Aufgrund der Wachstumskurven und der erforderlichen Pflanzengrössen konnte für verschiedene Höhenlagen im Berner Oberland abgeleitet werden, wie lange es dauert, bis die Aufforstungen die Funktion der Lawinerverbauungen übernehmen (Abbildung 17). Die Werte dürfen wahrscheinlich in

der Grössenordnung auch auf andere fichtendominierte Standorte in der Schweiz übertragen werden. Da die grössten Baumhöhen ausgerechnet dort erforderlich sind, wo das Wachstum der Pflanzen durch die Standortverhältnisse am stärksten eingeschränkt wird, nimmt die Dauer mit zunehmender Höhe über Meer nicht linear, sondern exponentiell zu.

Die Auswertungen bestätigen die Praxis im Berner Oberland, wonach in Lawinerverbauungs- und Aufforstungsprojekten bis in Lagen von 1500 m ü. M. in der Regel temporäre Stützwerke eingebaut werden können. Die Aufforstungen übernehmen dort innerhalb der Lebensdauer der verbauten Hölzer die Schutzfunktion. Periodische Untersuchungen in temporären Lawinerverbauungen im Berner Oberland (Gertsch 2000, Egli 2010) haben gezeigt, dass die statische Belastbarkeit von Lärchenholz nach 20 Jahren rapide abnimmt. Lawinerverbauungen und Dreibeinböcke aus Edelkastanienholz hingegen sind in diesem Alter noch völlig intakt und tragfähig, ihre Lebensdauer beträgt mindestens 30 Jahre. Zwischen 1500 und 1700 m ü. M. ist der Entscheid, ob permanente Stützwerke eingebaut werden müssen, stark von den jeweiligen Standortverhältnissen abhängig (Abbildung 18). Falls die temporäre Variante gewählt wird, kommen nur Stützwerke aus Edelkastanienholz infrage.

## Schlussbemerkungen

Die Untersuchungen der Aufforstungen im Berner Oberland zeigen eindrücklich, wie schwierig die Wachstumsbedingungen in Gebirgslagen und insbesondere im Waldgrenzbereich (im Berner Oberland oberhalb ca. 1700 m ü. M.) sein können. Limitierend sind dabei vor allem die Temperaturen während der Sommermonate und lange anhaltende Schneedecken. Trotz diesen schwierigen Bedingungen ist es in der Aufforstung Schwanderort und in anderen Aufforstungen im Berner Oberland dank standortgerechtem Pflanzenmaterial und geeigneter Pflanztechnik sowie dank Kombination mit technischem Verbau gelungen, die entsprechenden Hänge wirksam vor Lawinenanrissen zu schützen. Unter den während der Beobachtungsperiode herrschenden Umweltbedingungen benötigt eine Aufforstung im Waldgrenzbereich rund 45 bis 50 Jahre, bis die Lawinenschutzwirksamkeit voll gewährleistet ist. Wie sich die Wachstumsbedingungen und Zeiträume bis zur Erfüllung der Schutzwirksamkeit unter dem Einfluss des Klimawandels ändern, ist offen. Eine Weiterführung der langjährigen Untersuchungen im Berner Oberland kann aber auch im Hinblick auf solche Fragestellungen wertvolle Hinweise liefern. ■

Eingereicht: 9. Dezember 2013, akzeptiert (mit Review): 16. April 2014

## Dank

Recht herzlich bedanke ich mich bei Peter Bebi, der mich beim Verfassen des Artikels tatkräftig unterstützt hat.

## Literatur

- BEBI P, KULAKOWSKI D, RIXEN C (2009)** Snow avalanche disturbances in forest ecosystems – state of research and implications for management. *For Ecol Manage* 257: 1883–1892.
- EGLI B (2010)** Aufforstungen und temporäre Lawinerverbauungen – Stand 2010. Interlaken: Amt Wald Kanton Bern, Abteilung Naturgefahren. 125 p.
- EIBERLE K, NIGG H (1987)** Grundlagen zur Beurteilung des Wildverbisses im Gebirgswald. *Schweiz Z Forstwes* 183: 747–785.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005)** Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. *Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion*. Bern: Bundesamt Umwelt, Vollzug Umwelt. 564 p.
- GERTSCH E (2000)** Aufforstungen und temporäre Lawinerverbauungen – Stand 2000. Interlaken: Amt Wald Kanton Bern, Abteilung Naturgefahren. 192 p.

- HÄSLER R, STREULE A, TURNER H (1999)** Shoot and root growth of young *Larix decidua* in contrasting microenvironments near the alpine timberline. *Phyton* 39 (4): 47–52.
- KÖRNER C (1998)** A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia* 115: 445–459.
- MARGRETH S (2007)** Lawinerverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Vollzug 0704. 136 p.
- RAMMIG A, BEBI P, BUGMANN H, FAHSE L (2007)** Adapting a growth equation to model tree regeneration in mountain forests. *Eur J For Res* 126: 49–57.
- SCHÖNENBERGER W, FREY W, LEUENBERGER F (1990)** Ökologie und Technik der Aufforstung im Gebirge. Birmensdorf: Eidg Anstalt forstl Vers.wes, Ber 325. 58 p.
- SAEKI M, MATSUOKA H (1969)** Snow-buried young forest trees growing on steep slopes. *J Jpn Soc Snow Ice* 31: 19–23.
- SENN J, SCHÖNENBERGER W (2001)** Zwanzig Jahre Versuchsaufforstung Stillberg: Überleben und Wachstum einer subalpinen Aufforstung in Abhängigkeit vom Standort. *Schweiz Z Forstwes* 152: 226–246. doi: 10.3188/szf.2001.0226
- WASEM U, HESTER C, WOHLGEMUTH T (2010)** Waldverjüngung nach Feuer. Vielfältige Wiederbewaldung nach Waldbrand in Müstair. *Wald Holz* 91 (1): 42–45.

## Hochlagenaufforstungen in Lawinerverbauungen im Berner Oberland

In den Lawinerverbauungsprojekten im Berner Oberland werden seit den 1950er-Jahren konsequent Aufforstungen mit standortgerechten Hochlagenpflanzen einheimischer Provenienzen aus den kantonalen Forstbauschulen begründet. Die Aufforstungen sollen mittel- und langfristig das Anreissen von Lawinen verhindern. Im Artikel werden einerseits die Auswertungen der seit 1995 durchgeführten Messungen und Feldaufnahmen in der Hochlagenaufforstung am Schwanderort (1730–1780 m ü. M.) oberhalb von Brienz beschrieben. Sie geben Auskunft über die Entwicklung der jungen Fichten und die extremen äusseren Bedingungen. Andererseits wird anhand des Wuchsverhaltens von 112 Probestämmen unterschiedlichen Alters aus 24 Lawinerverbauungsprojekten untersucht, wann die Aufforstungen die Funktion von Lawinerverbauungen zu übernehmen vermögen. Die Standortverhältnisse sind in hohen Lagen viel extremer und variieren von Jahr zu Jahr deutlich stärker als in tieferen Lagen. 19 Jahre nach der Pflanzung leben am Schwanderort noch 60% der Fichten; in dieser Zeit nahm ihre durchschnittliche Grösse von 19 cm auf 152 cm zu. Das Höhenwachstum findet aufgrund der kurzen Vegetationszeit lediglich etwa zwischen dem 20. Juni und Ende Juli statt und ist an Tagen mit durchschnittlicher Lufttemperatur unter 10 °C eingestellt oder stark eingeschränkt. Die Untersuchungen zeigen, dass es im Bereich der Waldgrenze 45 bis 50 Jahre dauert, bis die Aufforstungen die Funktion der Lawinerverbauungen übernehmen können.

## Reboisement de haute altitude dans les paravalanches de l’Oberland bernois

Dans les projets de paravalanches de l’Oberland bernois sont pratiqués systématiquement depuis les années 1950 des reboisements avec des essences en station de provenances locales issues des pépinières cantonales bernoises. Les plantations doivent prévenir à moyen et à long terme le déclenchement d’avalanches. L’article décrit d’une part les analyses des mesures effectuées depuis 1995 et des relevés de terrain dans la plantation d’altitude au Schwanderort (1730–1780 m) au-dessus de Brienz. Elles renseignent sur le développement des jeunes épicéas et des conditions extérieures extrêmes. D’autre part, à l’aide des caractéristiques de croissance de 112 arbres d’âges différents et issus de 24 projets de paravalanches, il a été examiné à partir de quand les reboisements peuvent assumer la fonction de paravalanche. Les conditions de station en haute altitude sont beaucoup plus extrêmes et varient plus d’année en année que dans des régions plus basses. 19 ans après les plantations au Schwanderort, 60% des épicéas sont encore vivants; durant ce laps de temps, leur hauteur moyenne a cru de 19 cm à 152 cm. En raison de la courte période de végétation, la croissance en hauteur a lieu entre le 20 juin et la fin juillet, et est arrêtée ou fortement freinée lors de températures moyennes inférieures à 10 °C. Les analyses démontrent que dans la limite supérieure de la forêt, il faut attendre 45 à 50 ans pour que les reboisements assument la fonction de paravalanche.