

Entwicklung von Fichtenverjüngung im Lehrwald Sedrun der ETH Zürich (nördliche Zwischenalpen)¹

MONIKA FREHNER

Keywords: Artificial regeneration; natural regeneration; *Picea abies*; sapling; seedling; mortality; *Herpotrichia juniperi*. FDK 11 : 174.7 *Picea* : 172 : 231 : 232 : (23)

Abstract: The development of planted Norway-spruce trees as well as the germination and self-seeding of natural regeneration were investigated on various forest locations on the north and south slopes between 1470 and 1800 m above sea level in the training forest of ETH Zurich in Sedrun, canton of Grisons, Switzerland.

Abstract: Auf verschiedenen Waldstandorten am Nordhang und am Südhang zwischen 1470 und 1800 m über Meer im Lehrwald der ETH Zürich in Sedrun wurde die Entwicklung von gepflanzten Fichten sowie die Keimung und Ansamung von Naturverjüngung untersucht.

1. Einleitung

Viele unserer Gebirgswälder wurden in den letzten Jahrhunderten stark anthropogen beeinflusst: durch Kahlschläge sowie durch Beweidung. Oft ist deshalb die Waldstruktur ziemlich naturfern. Die homogenen Bestände, die wir heute im Gebirge häufig antreffen, entstanden meist nach Kahlschlag und Beweidung (OTT *et al.* 1997). Diese Bestände sind heute oft entweder dicht mit instabilen, kurz-kronigen Bäumen bestockt oder diffus aufgelichtet mit einzelnen stabilen Bäumen und einer üppig entwickelten Bodenvegetation, die eine natürliche Verjüngung der Fichte praktisch nur noch auf Moderholz zulässt. Die Belastung des Gebirgswaldes nahm in den letzten Jahrzehnten zu, z.B. durch Luftverunreinigung (BRANG 1998b) und Wildverbiss (ARBEITSGRUPPE WALD UND WILD DES SCHWEIZERISCHEN FORSTVEREINS 1999).

Unsere Gesellschaft verlangt an immer mehr Örtlichkeiten stabile Gebirgswälder, die vor Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag, Erosion und Rutschungen schützen (BUWAL 1999). Nicht mehr nur Siedlungen, sondern auch Verkehrswege sollten das ganze Jahr über durch den Wald geschützt werden. Diesen Forderungen kommt der Gebirgswald in den meisten Fällen am besten mit einer naturnahen Baumartenzusammensetzung und ungleichförmigen Strukturen nach (WASSER und FREHNER 1996). Solche Waldbilder werden bei der Pflege angestrebt. Soweit als möglich wird mit natürlicher Verjüngung gearbeitet.

Manchmal kann jedoch das Ziel mit natürlicher Verjüngung nicht erreicht werden: z.B. in einem diffus aufgelichteten Bestand mit alten, faulen Bäumen, üppiger Bodenvegetation und wenig Moderholz oder in einem Verjüngungsschlitz, wo sich die Naturverjüngung wegen mangelnder Samenjahre oder zu starkem Wildverbiss nicht etablieren konnte, bevor sich die Bodenvegetation üppig entwickelt hat. Zumindest bei diesen zwei Beispielen können wir uns in einem Wald mit besonderer Schutzfunktion nicht die Geduld leisten, zu warten, bis neues Moderholz entsteht, auf dem sich die Fichte ansamen kann. In solchen Fällen benötigen wir effiziente Pflanzmethoden.

Im Wald ist das erfolgreiche Pflanzen oft schwieriger als auf Freiflächen. In vielen Gebirgswäldern war es noch vor wenigen Jahren üblich, dass viele Fichten gepflanzt wurden und nur wenige die ersten Jahre überlebten. So wurden z.B. im Lehrwald Sedrun der ETH Zürich bis in die 80er-Jahre diffus verteilt nacktwurzlige Fichten gepflanzt, und diese Fichten wurden nicht gepflegt. Unter diesen Umständen überlebten bestenfalls 20% der gepflanzten Fichten. Sobald sie grösser wurden, wurde zudem ein grosser Teil dieser Solitärbaumchen vom Wild gefegt.

Im Lehrwald Sedrun der ETH Zürich wurde zwischen 1985 und 1998 ein Versuch zur Erprobung verschiedener Techniken von stützpunktartigen Pflanzverfahren durchgeführt. In steilen, subalpinen und hochmontanen Fichtenwäldern wurde der Einfluss von Standortunterschieden und der Pflanztechnik auf den Anwuchserfolg von Fichtenpflanzungen mit Pflanzungsexperimenten untersucht. Über diesen Versuch wurde von der Autorin an der Professur für Waldbau der ETH Zürich eine Dissertation erarbeitet, mit Prof. Dr. J.-Ph. Schütz als Doktorvater und PD Dr. E. Ott und Prof. Dr. P. Piussi als Korreferenten (FREHNER 2001).

Im gleichen Gebiet untersuchten MOTTA *et al.* (1994) den Einfluss der Moosschicht auf die Naturverjüngung der Fichte und BRANG (1996a, 1996b und 1998a) die Ansamungsökologie der Fichte.

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Lage und Klima

Der Lehrwald Sedrun der ETH Zürich liegt in der Gemeinde Tujetsch (GR) in den nördlichen Zwischenalpen. Das Klima ist mässig feucht bis feucht, ähnlich dem nordalpinen Klimatyp, mit mittelgrossen Temperaturextremen und mit grossen Unterschieden zwischen Nord- und Südhängen. Die Niederschläge fallen v.a. bei Nord- und Westwindlagen, teilweise aber auch bei Südwindlagen. Der mittlere Jahresniederschlag in Sedrun (1450 m über Meer) beträgt 1214 mm (SMA), die mittlere maximale Schneehöhe 137 cm (SLF-Messstation).

2.2 Exposition, Höhenlage, Geologie, Boden, Waldstandort

Der Hauptteil der Versuche wurde am Nordhang zwischen 1470 und 1800 m über Meer ausgeführt. Dieser ist NNW-exponiert und ziemlich gleichmässig geformt. Die geologische Unterlage besteht aus muskowitreichen Paragneisen des Tavetscher Zwischenmassives (NIGGLI 1944). Als Humusform dominiert Rohhumus, die Bodentypen variieren zwischen Eisen-Humus-Podsol, Braunpodsol und Hangbraunerde (Cambisol).

Die Pflanzungen wurden auf folgenden Waldstandorten durchgeführt: Hochstauden-Fichtenwald mit Alpenwaldfarn (60A) sowie Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere (57V) oder mit Wollreitgras (57C), in den unteren Lagen im Über-

¹ Nach einem Referat, gehalten am 24. Januar 2000 im Rahmen der Montagskolloquien des Departementes Forstwissenschaften der ETH Zürich.



Abbildung 1: Uaul Surrein (Nordhang), 30 cm breite Kleinterrassen nach ihrer Erstellung im Frühling 1986.

Figure 1: Uaul Surrein (north slope), 30 cm wide terracettes, when built in 1986.

gang zum Labkraut-Tannen-Fichtenwald (57[51]) (nach OTT et al. 1997). Die Fichte dominiert auf allen Standorten.

Als Vergleich wurden auch Pflanzungen am Südhang zwischen 1590 und 1790 m über Meer durchgeführt. Der Südhang weist ein stark bewegtes Kleinrelief auf, die lokale Exposition wechselt zwischen Südost und Südwest. Der geologische Untergrund besteht aus Bugnei-Granodiorit des Aaremassivs (NIGGLI 1944). Die dominierende Humusform ist Moder, die Bodentypen variieren zwischen Eisen-Humus-Podsol, Braunpodsol und Hangbraunerde (Cambisol).

Die Pflanzungen wurden in den unteren Lagen auf dem Waldstandort Schneesimsen-Fichtenwald (55*) und in den oberen Lagen auf dem Waldstandort Typischer Preiselbeer-Fichtenwald (58) ausgeführt (nach OTT et al. 1997). Der Sturm Vivian verursachte im Februar 1990 am Südhang sehr starke Schäden. Die umgefallenen Bäume haben die Fichtenpflanzung beschädigt (mechanische Schäden, Schneeschimmel); deshalb konnte nur ein kleiner Teil der 1988 gepflanzten Fichten bis 1991 beobachtet und gemessen werden.

3. Versuchsanlage

3.1 Verteilung der Pflanzungen

Die Pflanzungen sollen die Naturverjüngung möglichst gut imitieren. Da die Naturverjüngung in den subalpinen Fichtenwäldern mehrheitlich in Gruppen angeordnet ist, wurden auch die Pflanzungen im Versuch in Gruppen von 25 bis 30 Fichten angelegt. Diese Gruppen werden als Stützpunkte bezeichnet. Es wurde eine relativ hohe Anzahl von Pflanzen pro Stützpunkt verwendet, damit auch bei verschiedenen Varianten (Kleinterrassen – Bodenschälung, Nacktwurzler – Topfpflanzen) noch genügend Fichten für eine statistische Auswertung vorhanden sind.

Das Versuchsdesign wurde so gewählt, dass das mögliche zeitliche Spektrum der potentiellen Sonnenscheindauer gut abgedeckt ist. Es wurden möglichst günstige Kleinstandorte gewählt, so wurden z.B. spät ausapernde Stellen wie eindeu-

tige Muldenlagen (IMBECK und OTT 1987) gemieden. Im Versuchsgelände war vor Beginn des Versuches nur wenig Verjüngung vorhanden; ein positiver Nebeneffekt des Versuches war, dass die vorhandene Verjüngung ergänzt wurde.

Die Fichten wurden in verschiedenen Jahren gepflanzt, einerseits um den Einfluss klimatisch unterschiedlicher Jahre zu erfassen, andererseits aus arbeitstechnischen Gründen.

3.2 Pflanzmethoden und Anzahl der gepflanzten Fichten

Am Nordhang wurden zwischen 1985 und 1987 über 10 000 Fichten (*Picea abies*) mit Provenienzen aus dem Forstkreis Disentis gepflanzt, etwa 3000 auf Bodenschälung (die Bodenvegetation inkl. oberflächlicher Wurzeln wurde flächig entfernt) und etwa 7000 auf Kleinterrassen (zuerst wurde die Bodenvegetation inkl. oberflächlicher Wurzeln entfernt, anschliessend wurden rund 30 cm breite Kleinterrassen erstellt, die Erde auf den Kleinterrassen wurde durchmischt und angeklopft) (Abbildung 1). Etwa 1700 Fichten wurden als Nacktwurzler mit Lochpflanzung gesetzt (Alter 2/2), etwa 8300 als Topfpflanzen in Torffasertöpfen mit 10 cm Durchmesser, mit Vertopfung im Pflanzgarten Disentis (Abbildung 2), Alter beim Vertopfen 2/1.

Am Südhang wurden 1988 rund 3300 Fichten mit einheimischer Provenienz auf Kleinterrassen gepflanzt, knapp 700 als Nacktwurzler, etwa 2600 als Topfpflanzen.

3.3 Unterhalt der gepflanzten Fichten

Die Pflanzen wurden im Frühling von Material wie Steinen, Ästen, Erde usw. befreit. Im Juli wurden die Stützpunkte ausgemäht. Im Herbst wurden die Terminaltriebe der Pflanzungen mit einem Mittel zum Schutz gegen Wildverbiss bestrichen. Die Pflege- und Schutzmassnahmen wurden jedes Jahr bis 1991 durchgeführt.

3.4 Messungen und Kontrollen der gepflanzten Fichten

Der Höhenzuwachs der gepflanzten Fichten wurde jedes Jahr auf 0,5 cm genau gemessen.

Nach IMBECK und OTT (1987) reagieren Baumsämlinge auf unterschiedliche Umweltbedingungen weniger mit der Länge



Abbildung 2: Fichten vertopfen im Pflanzgarten Disentis, Frühling 1987.

Figure 2: Norway-spruce trees being potted in the nursery at Disentis, spring 1987.

des Höhentriebes als vielmehr mit der gesamten Stoffproduktion (Trockengewicht). Die Bestimmung des Trockengewichtes ist aber aufwendig und zerstört die Pflanzen, so dass diese Methode nur in einigen Fällen am Ende des Versuches durchgeführt werden konnte. Als Alternative dazu wurde 1990 das Volumen der Pflanzen erfasst. In Anlehnung an die Untersuchungen von KRONFUSS (1985) über Zuwachsleistung von Arven wurden verschiedene Durchmesser erhoben: am Wurzelhals, in einem Drittel der Gesamthöhe und in der Mitte des Terminaltriebes. Zusammen mit der Gesamthöhe und der Höhe des Terminaltriebes kann so das Volumen berechnet werden. Die Gesamthöhe wurde 1990, 1991 und bei einem Teil der Fichten 1998 gemessen.

Um die Überlebenschancen jeder gepflanzten Fichte besser nachvollziehen zu können, wurden im Frühling und im Herbst vorhandene Schäden festgehalten.

3.5 Erhobene Daten

Pro Stützpunkt wurden folgende Standortfaktoren erhoben:

- Vegetationstyp (qualitativ);
- Humusformindex (quantitativ) (Definition wie bei LÜSCHER 1991);
- Auswaschungshorizont (quantitativ);
- Deckung der Baumschicht (quantitativ);
- Deckung der Krautschicht neben dem Stützpunkt (quantitativ);
- Deckung der Mooschicht neben dem Stützpunkt (quantitativ);
- Höhe über Meer (quantitativ);
- Hangneigung (quantitativ);
- Sonnenscheindauer (quantitativ);
- unbedeckter Himmelsanteil (quantitativ);
- Relief (qualitativ);
- Ausaperung (quantitativ), 1990 und 1991.

Für jede einzelne Fichte wurden die folgenden Parameter erhoben:

- Anfangshöhe (quantitativ);
- Höhenzuwachs (quantitativ), jedes Jahr;
- Gesamthöhe (quantitativ), 1990, 1991 und teilweise 1998;
- Volumen (quantitativ, aus verschiedenen Durchmessern und Höhen berechnet), 1990;
- Nacktwurzler – Topfpflanzen (qualitativ);
- Kleinterrasse – Bodenschälung (qualitativ);
- unter Schirm – Freifläche (qualitativ);
- Bemerkungen zu Zustand, Vitalität, Schäden (qualitativ), jedes Jahr im Frühling und im Herbst;
- Schneeschimmelbefall (quantitativ), jedes Jahr im Frühling;
- Phänologie (quantitativ), 1991 bei etwa 100 Stützpunkten.

Bei 130 ausgegrabenen Fichten wurden zusätzlich die folgenden Daten erhoben:

- Wurzelform (qualitativ);
- Bemerkungen zu den Wurzeln (qualitativ);
- Trockengewicht Spross (quantitativ);
- Trockengewicht Wurzel (quantitativ);
- Länge der längsten Wurzel (quantitativ).

3.6 Erfassung von Naturverjüngung

Im Jahre 1988 wurde am Nordhang auf 1600 m über Meer die Naturverjüngung beobachtet, die sich in Verjüngungsschlitzen, die im Winter 1981/82 erstellt wurden, entwickelt hat (FREHNER 1989). 1988/89 war ein ergiebiges Samenjahr für die Fichten in der Region Sedrun, 1991/92 fand eine Teilmast statt. Im Sommer 1989 keimten auf den Stützpunkten teilweise sehr

viele Fichtensamen, daneben jedoch konnten nur wenige beobachtet werden. Offensichtlich boten die Stützpunkte mit Bodenschälung und Kleinterrassen günstige Bedingungen für die Ansamung.

Bei den Feldaufnahmen im Herbst 1989 wurde deshalb die Anzahl der vorhandenen Fichtenkeimlinge geschätzt, zusätzlich wurde die Deckung der häufigsten Arten der Krautschicht, der Mooschicht und von Steinen u.ä. geschätzt. Diese Ansprachen wurden im Herbst 1991 wiederholt. Bei einem Teil der Stützpunkte wurden die Keimlinge im Herbst 1989 mit Nadeln markiert und nachher regelmässig im Frühling und im Herbst gezählt.

3.7 Saat mit Saathilfe

Bei je 150 Stützpunkten am Nordhang und am Südhang wurden 1988 mit den Saathilfen Cerbel (Trichter) und Cerkon (Kegel) der schwedischen Firma Cerbon Fichtensamen ausgesät (Abbildung 3). Bis 1990 wurden die Saathilfen im Frühling und im Herbst kontrolliert. Die Anzahl Keimlinge oder Sämlinge wurde notiert.



Abbildung 3: Uaul Bugnei (Südhang), Saathilfen-Trichter (Cerbel) links von der Fichte und Kegel (Cerkon) rechts davon, Oktober 1990.
Figure 3: Uaul Bugnei (south slope), seeding funnel (Cerbel) on the left of the Norway spruce and cone (Cerkon) on the right, October 1990.

3.8 Auswertungskonzept

Die Hauptauswertung wurde mit allgemeinen linearen Modellen und mit kategorialen Modellen durchgeführt, als Software wurden PROC GLM und POC CATMOD in SAS INSTITUTE INC. (1990) verwendet. Die Modelle wurden in Anlehnung an SAS INSTITUTE INC. (1990) und SCHUEMER, STÖHLEIN und GOGOLOK (1990) dargestellt.

Bei allgemeinen linearen Modellen ist die Zielvariable (Response) quantitativ. Die erklärenden Variablen können quantitativ oder qualitativ sein. Das allgemeine lineare Modell berechnet einen linearen Zusammenhang zwischen der Zielvariable und den erklärenden Variablen. Bei der vorliegenden Auswertung wurden die folgenden Modelle verwendet:

- multiple Regression,
- Kovarianzanalyse,
- Kovarianzanalyse mit geschachtelter Regression.

Bei den Residuen wurde überprüft, ob sie eine unerwünschte Struktur aufweisen und ob sie angenähert normal verteilt sind. Falls unerwünschte Strukturen vorhanden waren

oder die Residuen stark von der Normalverteilung abweichen, wurde die Zielvariable transformiert (Quadratwurzel oder natürlicher Logarithmus), wodurch die Struktur und Verteilung der Residuen verbessert wurde (explorative Datenanalyse nach STAHEL 1999).

Das kategoriale Modell unterscheidet sich vom allgemeinen linearen Modell, indem die Zielvariable qualitativ anstatt quantitativ ist. Die Regressionsparameter wurden via Maximum Likelihood geschätzt. Mit diesen Methoden wurde untersucht, welche Faktoren auf das Wachstum, den Schneeschimmelbefall und die Mortalität der gepflanzten Fichten sowie auf die Keimung und Ansammlung von Naturverjüngung einwirken.

Es wurden auch Häufigkeiten, Mittelwerte und Standardabweichungen sowie Korrelationen berechnet. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden Streudiagramme erstellt.

Wie die *Abbildungen 4* und *5* zeigen, konnten sich nicht alle gepflanzten Fichten voll entfalten. Für die Zukunft eines Stützpunktes sind nur die stärksten Fichten wichtig. Von den 25 bis 30 Fichten pro Stützpunkt werden im Baumholz höchstens 2 bis 3 übrig bleiben. Für die Auswertung der Beziehungen zwischen den gepflanzten Fichten und den Standortfaktoren wurden deshalb nur die Zukunftsbäume berücksichtigt, d.h. jene 40% der Fichten, die 1991 oder 1998 die höchste Gesamthöhe aufweisen.

Der Einfluss der erhobenen Faktoren auf die Entwicklung der Fichten konnte am Südhang weniger gut dargestellt werden als am Nordhang, da die Datenmenge am Südhang wegen den Sturmschäden (Vivian 1990) manchmal zu klein war für eine aussagekräftige Auswertung.



Abbildung 4: Am Nordhang, Stützpunkt 276, Gesamtansicht, Herbst 1998, mit PD Dr. Ernst Ott. Maximale Gesamthöhe der Fichten im Herbst 1998: 199 cm. Sonnenscheindauer im Juni: 4.35 h. Unbedeckter Himmelsanteil: 38,5%.

Figure 4: Site no. 276, north slope, entire view, autumn 1998, with Prof. Dr. Ernst Ott. Maximum total height of the Norway-spruce trees in autumn 1998: 199 cm. Hours of sunshine in June: 4.35 h. Proportion of uncovered sky: 38.5%.

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Wachstum

Als Beispiel (*Tabelle 1*) wird der Einfluss von Faktoren auf die Gesamthöhe im Jahr 1998 von Fichten dargestellt, die 1987 am Nordhang zwischen 1610 bis 1800 m über Meer gepflanzt wurden.

Bei den Residuen ist ausgenommen von Rundungseffekten keine offensichtliche Struktur feststellbar. Die Residuen sind angenähert normal verteilt.

In diesem Fall haben die Anfangshöhe, der unbedeckte Himmelsanteil aufgeteilt nach den verschiedenen Vegetationstypen, der Vegetationstyp, die Sonnenscheindauer im Juni, der unbedeckte Himmelsanteil und die Höhe über Meer

einen sehr stark signifikanten Einfluss auf die Gesamthöhe; auch der Einfluss von Nacktwurzeln im Vergleich zu Topfpflanzen ist noch stark signifikant. Diese Faktoren haben auch bei den anderen Auswertungen (Zuwachs für verschiedene Jahre, Volumen 1990, Gesamthöhe 1991, andere Teilversuche am Nordhang) mehrheitlich einen signifikanten Einfluss.

Die spätere Ausaperung, die zunehmende Hangneigung und die abnehmende Deckung der Moosschicht neben dem Stützpunkt haben einen sehr stark signifikanten positiven Einfluss auf die Gesamthöhe 1998, die abnehmende Deckung der Baumschicht einen stark signifikanten positiven Einfluss. Bei den anderen Auswertungen (Zuwachs für verschiedene Jahre, Volumen 1990, Gesamthöhe 1991, andere Teilversuche am Nordhang) ist der Einfluss dieser Faktoren aber teils



Abbildung 5: Surrein, Stützpunkt 276, Detailansicht der Pflanze Nr. 1, Herbst 1998. Gesamthöhe der Pflanze Nr. 1 im Herbst 1998: 73 cm.

Figure 5: Surrein, site no. 276, detailed view of plant no. 1, autumn 1998. Total height of plant no. 1 in autumn 1998: 73 cm.

Tabelle 1: Nordhang: Gesamthöhe 1998 für 1234 Zukunftsbäume mit Gesamthöhe 1998 grösser 0. Beziehung zu anderen Faktoren, Kovarianzanalyse mit geschachtelter Regression (proc glm).

Table 1: North slope: Total height (1998) for 1234 future trees with a total height (1998) higher than 0. Relation to other factors, covariance analysis with nested regression (proc glm).

Zielvariable = Gesamthöhe 1998				
Anzahl der Datensätze N = 1234 Bestimmtheitsmass $R^2 = 0,57$				
Explikative Variablen	Schätzung der Regressionsparameter			
	Parameter	T für H_0 Parameter = 0	Pr > T	Standardfehler der Schätzung
Zunehmende Anfangshöhe (cm)	1,231	11,56	0,0001	0,107
Unbedeckter Himmelsanteil (<i>Athyrium</i>)	1,607	10,68	0,0001	0,150
Unbedeckter Himmelsanteil (<i>Calamagrostis</i>)	0,903	1,06	0,2882	0,850
Unbedeckter Himmelsanteil (<i>Luzula</i>)	3,154	0,86	0,3908	3,674
Unbedeckter Himmelsanteil (<i>Vaccinium</i>)	0,000	-9,81	0,0001	3,446
Vegetationstyp <i>Athyrium</i>	-33,790	-1,13	0,2600	17,678
<i>Calamagrostis</i>	-29,921	-1,17	0,2422	55,210
<i>Luzula</i>	-64,595			
<i>Vaccinium</i>	0,000			
Spätere Ausaperung 1990 (Tag im Jahr)	1,442	8,97	0,0001	0,161
Zunehmende Hangneigung (%)	0,371	7,36	0,0001	0,050
Zunehmende Sonnenscheindauer im Juni (h)	2,950	7,10	0,0001	0,416
Zunehmender unbedeckter Himmelsanteil (%)	0,615	5,19	0,0001	0,119
Zunehmende Höhe über Meer (m)	-0,107	-5,09	0,0001	0,021
Zunehmende Deckung der Moossschicht neben Stützpunkt (%)	-0,122	-4,66	0,0001	0,026
Zunehmende Deckung der Baumschicht (%)	-0,558	-3,00	0,0027	0,186
Nacktwurzler – Topfpflanzen	-5,633	-2,89	0,0039	1,951

Nicht signifikante Faktoren absteigend nach p-Werten sortiert:

Unter-Schirm-Freifläche, Humusformindex, Ausaperung 1991, Deckung Krautschicht neben Stützpunkt, Auswaschungshorizont, Relief.

signifikant positiv, teils signifikant negativ und teils nicht signifikant, so dass bei diesen Faktoren über den ganzen Versuch betrachtet am Nordhang kein eindeutiger Einfluss auf das Wachstum nachgewiesen werden konnte.

Dass die Sonnenscheindauer das Wachstum stark beeinflusst, entspricht den Erwartungen (IMBECK und OTT, 1987, PIUSSI 1986 und 1988, BAGNARESI, BALDINI und ROSSI 1989, FREHNER 1989, LÜSCHER 1990, OTT et al. 1991, KREILIGER 1992 und 1994, MAYER 1997). Erstaunlicherweise nimmt aber das Wachstum mit abnehmender Sonnenscheindauer kontinuierlich ab, auch ohne direkte Besonnung ist noch ein Wachstum möglich (Abbildung 6). Bei mindestens zwei Stunden Sonnenscheindauer im Juni hat es jedoch deutlich weniger Fichten mit geringem Wachstum.

Entgegen den Erfahrungen aus dem Versuch Lusiwald (IMBECK und OTT 1987) hat der unbedeckte Himmelsanteil (diffuses Licht) einen ähnlich starken Einfluss auf das Wachstum wie die Sonnenscheindauer (direktes Licht). Auch hier nimmt das Wachstum mit abnehmendem unbedeckten Himmelsanteil kontinuierlich ab; bei mindestens 20% Himmelsanteil hat es deutlich weniger Fichten mit geringem Wachstum (Abbildung 7).

Der Versuch im Lusiwald war auf die Wirkung schlitzförmiger Bestandesöffnungen auf die Fichtenverjüngung ausgerichtet. Der Einfluss der diffusen Strahlung stand nicht im Vordergrund, die Anlage des Stichprobennetzes war hierfür nicht geeignet. Zudem ist der Einfluss des diffusen Lichtes auch in Surrein erst ein bis vier Jahre nach der Pflanzung signifikant. Im Lusiwald wurde aber mit sehr jungen Fichten gearbeitet, es wurden zweijährige Sämlinge gepflanzt, die während drei Jahren im Feld untersucht wurden. Die Ergebnisse vom Versuch Sedrun widersprechen deshalb dem Versuch Lusiwald nicht.

Überraschend war das Ergebnis, dass der unbedeckte Himmelsanteil nicht bei allen Vegetationstypen einen gleich starken Einfluss auf das Wachstum hat. In *Abbildung 8* ist zu sehen, dass der Einfluss beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn (*Athyrium*) deutlich grösser ist als beim Vegetationstyp Heidelbeere (*Vaccinium*). Bei der Sonnenscheindauer ist der Einfluss auf das Wachstum der Fichten bei allen Vegetationstypen ähnlich.

Faktoren, die das Wachstum der gepflanzten Fichten am Nordhang signifikant positiv beeinflussen:

- zunehmende Sonnenscheindauer;
- zunehmender unbedeckter Himmelsanteil. Der Einfluss des unbedeckten Himmelsanteils ist beim Vegetationstyp *Vaccinium* schwächer als bei den Vegetationstypen *Prenanthes*, *Calamagrostis* und *Athyrium*;
- keine Überschirmung durch Fichten;
- zunehmende Anfangshöhe;
- Topfpflanzen im Vergleich zu Nacktwurzeln, deutlicher Pflanzschock bei den Nacktwurzeln;
- Kleinterrassen im Vergleich zu Bodenschälung;
- Vegetationstyp neben dem Stützpunkt: gutes Wachstum bei Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), Wollreitgras (*Calamagrostis villosa*), mittleres Wachstum bei Alpenwaldfarn (*Athyrium distentifolium*), geringes Wachstum bei Waldsimse (*Luzula sylvatica*), Hasenlattich (*Prenanthes purpurea*);
- zunehmende Deckung der Krautschicht neben dem Stützpunkt;
- abnehmende Deckung der Baumschicht;
- abnehmende Deckung der Moossschicht neben dem Stützpunkt;
- abnehmende Höhe über Meer;
- Relief: Kuppen und Hanglagen sind eher günstiger als Muldenlagen.

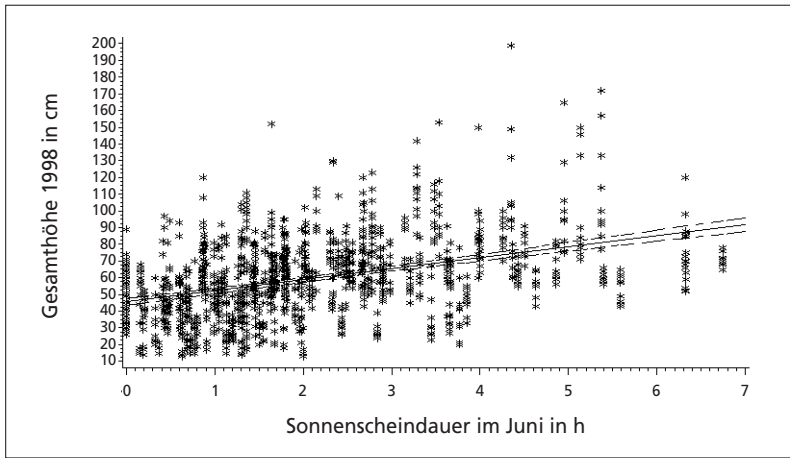


Abbildung 6: Grafik Nordhang: Gesamthöhe 1998 und Sonnenscheindauer im Juni für die lebenden Zukunftsbäume 1998. Regressionsgerade mit ihrem Vertrauensintervall von 95%.

Figure 6: Diagram of north slope: total height (1998) and hours of sunshine in June for the living future trees (1998). Regression tangent with its confidence interval of 95%.

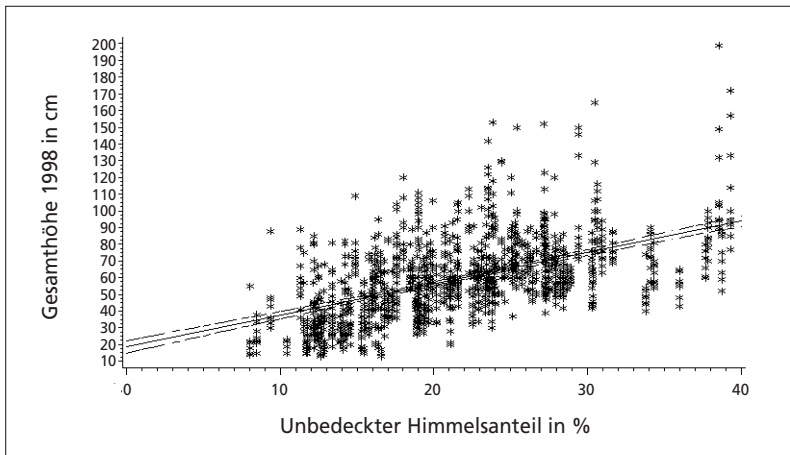


Abbildung 7: Grafik Nordhang: Gesamthöhe 1998 und unbedeckter Himmelsanteil für die lebenden Zukunftsbäume 1998. Regressionsgerade mit ihrem Vertrauensintervall von 95%.

Figure 7: Diagram of north slope: total height (1998) and proportion of uncovered sky for the living future trees (1998). Regression tangent with its confidence interval of 95%.

Vegetationstyp *Athyrium* inkl. Übergänge zu anderen Vegetationstypen.

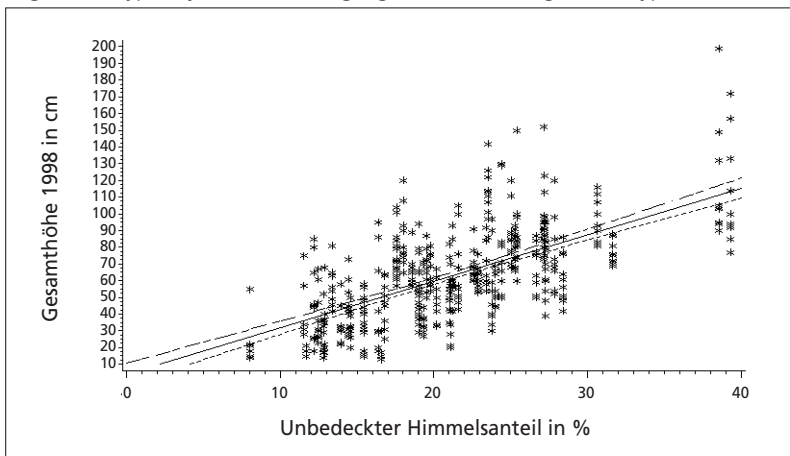
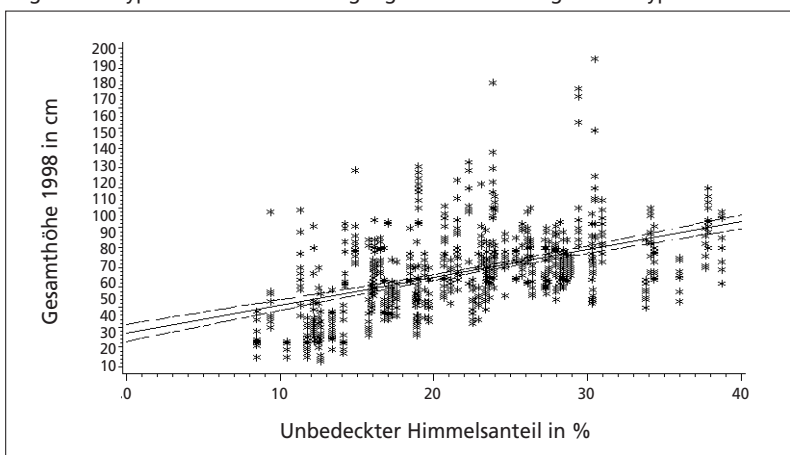


Abbildung 8: Grafiken Nordhang: Gesamthöhe 1998 und unbedeckter Himmelsanteil für verschiedene Vegetationstypen für die lebenden Zukunftsbäume 1998. Regressionsgerade mit ihrem Vertrauensintervall von 95%.

Figure 8: Diagram of north slope: total height (1998) and proportion of uncovered sky of various vegetation types with regard to the living future trees (1998). Regression tangent with its confidence interval of 95%.

Vegetationstyp *Vaccinium* inkl. Übergänge zu anderen Vegetationstypen.



Um die Frage zu untersuchen, ob die Sonnenscheindauer im Juni oder der unbedeckte Himmelsanteil wichtiger ist für das Wachstum der Fichten in der subalpinen Stufe, wurden die Vegetationstypen Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) und Alpenwaldfarn (*Athyrium distentifolium*) getrennt ausgewertet. Dabei wurden Topfpflanzen auf Kleinterrassen auf mindestens 1600 m über Meer am Nordhang berücksichtigt. Die Kovarianzanalyse zwischen der Gesamthöhe 1991 bzw. 1998 und den übrigen Faktoren ergab Folgendes:

- Vegetationstyp Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*): die Sonnenscheindauer im Juni beeinflusst die Gesamthöhe etwas stärker als der unbedeckte Himmelsanteil.
- Vegetationstyp Alpenwaldfarn (*Athyrium distentifolium*): der unbedeckte Himmelsanteil beeinflusst die Gesamthöhe wesentlich stärker als die Sonnenscheindauer im Juni.

Faktoren, die das Wachstum der gepflanzten Fichten am Südhang signifikant positiv beeinflussen:

- zunehmende Sonnenscheindauer;
- zunehmender unbedeckter Himmelsanteil;
- zunehmende Anfangshöhe;
- Topfpflanzen im Vergleich zu Nacktwurzlern (der Unterschied zwischen den beiden Pflanzverfahren ist weniger gross als am Nordhang), Pflanzchock bei den Nacktwurzlern nicht deutlich;
- Vegetationstyp neben dem Stützpunkt: gutes Wachstum bei nährstoffreichem Vegetationstyp, mittleres Wachstum bei Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*), mittlerem Vegetationstyp, geringes Wachstum bei trockenem Vegetationstyp, Wollreitgras (*Calamagrostis villosa*), saurer Vegetationstyp.

4.2 Mortalität

Am Nordhang sind die Ausfälle unterhalb 1600 m über Meer nach vier Jahren rund halb so gross wie oberhalb 1600 m über Meer. Die Ausfälle bei den Pflanzen unter Schirm sind deutlich

höher als im Durchschnitt. Bei den Pflanzungen, wo die Topfpflanzen direkt unter alte Fichten gepflanzt wurden, beträgt der Ausfall zehn Jahre nach der Pflanzung fast 100%.

Bei einem grossen Teil der bis im Herbst abgestorbenen Fichten (41%) konnte die Todesursache nicht festgestellt werden. 36% der Ausfälle bis 1991 wurden durch Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) verursacht. Der Schneeschimmel ist damit wie im Lusiwald (IMBECK und OTT 1987) die wichtigste bekannte Todesursache für junge Fichten.

Bei 6% waren Steine oder Erde die Todesursache. Trotz Schutz mit Wildverbissmittel sind 4% der ausgefallenen Fichten zu Tode verbissen worden. 5% der ausgefallenen Fichten wurden durch das Schalenwild zu Tode getrampelt. Auf geschältem Boden wurden Topfpflanzen und Nacktwurzler am stärksten zertrampelt, am wenigsten Ausfälle wegen Zertrampeln gab es bei Nacktwurzlern auf Kleinterrassen.

Am Südhang waren die Ausfälle nach drei Jahren etwa doppelt so hoch wie auf gleicher Meereshöhe am Nordhang. Bei den Nacktwurzern waren die Ausfälle deutlich höher als bei Topfpflanzen, etwa die Hälfte der Ausfälle wurde bei den Nacktwurzern durch Spätfrost in ausgetriebenem Zustand verursacht. Das schlechte Abschneiden der Nacktwurzler lässt sich darauf zurückführen, dass die Fichten schon im Pflanzgarten ausgetrieben hatten.

Bei den Topfpflanzen war bei 76% der Ausfälle die Todesursache unbekannt. Schneeschimmel als Todesursache konnte nur bei 7% der bis 1991 ausgefallenen Pflanzen festgestellt werden.

Bis 1991 betrug die Mortalität (Tabelle 2) pro Stützpunkt maximal 60%, im Durchschnitt am Nordhang etwa 12 ± 12%, am Südhang 28 ± 15%. Auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen haben überall genügend Fichten überlebt, um zu ermöglichen, dass im Stangenholz pro Stützpunkt eine bis drei Fichten vorhanden sind.

Falls am Nordhang 15 Fichten pro Stützpunkt gepflanzt werden, sind drei Jahre nach der Pflanzung noch auf mindestens 95% der Stützpunkte mindestens zehn Fichten vorhanden.

Tabelle 2: Ursachen der Mortalität bis Herbst 1991.

Table 2: Mortality causes up until autumn 1991.

	Anzahl Fichten bei Pflanzung	Anzahl Fichten, die im Herbst 1991 tot waren (ohne Mortalität wegen menschlichen Einflüssen oder umgefallenen Bäumen)	Unbekannt	Schneeschimmel (<i>Herpotrichia juniperi</i>)	Schneemechanische Schäden	Frost	Grauschimmel (<i>Botrytis cinerea</i>)	Insekten, meist Gebirgsfichtenblattwespe (<i>Pachynematus montanus</i>)	Wildverbiss	Fegeschäden	Zertrampelt durch Wild	Erdbeugung/Steine	Wildverbissmittel	Unter Baum/Ästen, Holzernte oder ganzer Stützpunkt zerstört	Ausgegeben zu Versuchszwecken
Surrein															
Total	10 193	1262	522	454	10	0	48	24	53	4	66	81	32	439	93
% der Gesamtzahl	100	12,4	5,1	4,5	0,1	0	0,5	0,2	0,5	0	0,6	0,8	0,3	4,3	0,9
% der bis 1991 gestorbenen		100	41,3	36,0	0,8	0	3,8	1,7	4,2	0,3	5,2	6,4			
Bugnei (nach Vivian)															
Total	1027	330	218	23	0	60	4	7	9	0	2	7	5	127	0
% der Gesamtzahl	100	32,1	21,2	2,2	0	5,8	0,4	0,7	0,9	0	0,2	0,7	0,5	12,4	0,0
% der bis 1991 gestorbenen		100	66,1	7,0	0	18	1,2	2,1	2,7	0	0,6	2,1			
			In Auswertung berücksichtigt										In Auswertung nicht berücksichtigt		

Faktoren, die die Mortalität am Nordhang signifikant verringern:

- zunehmende Anfangshöhe;
- zunehmender unbedeckter Himmelsanteil;
- abnehmende Höhe über Meer;
- Freifläche im Vergleich zu Überschirmung.

Faktoren, die die Mortalität am Nordhang tendenziell verringern:

- zunehmende Sonnenscheindauer;
- Kleinterrassen im Vergleich zu Bodenschälung;
- zunehmende Deckung der Moosschicht neben dem Stützpunkt;
- zunehmende Hangneigung;
- Topfpflanzen im Vergleich zu Nacktwurzlern;
- abnehmender Humusformindex.

4.3 Schneeschimmelbefall

Der Befall durch Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) war in Surrein (Nordhang) deutlich stärker als in Bugnei (Südhang). Im ersten Jahr nach der Pflanzung war der Befall immer gering. Nachher nahm der Befall allgemein von Jahr zu Jahr zu. Vom dritten Jahr an war der Befall abhängig vom Befall des Vorjahres, ausser wenn die Dauer der Schneebedeckung sehr gering war; dann nahm der Befall ab.

Abbildung 10: Ausgegrabene Fichte: Topfpflanze; Wurzeln allseitig, deformiert, maximale Wurzellänge 20 cm, Gesamthöhe Herbst 1991 24 cm.

Figure 10: Dig-up of a Norway spruce: potted plant; deformed roots with a maximum length of 20 cm to all sides, total height in autumn 1991: 24 cm.

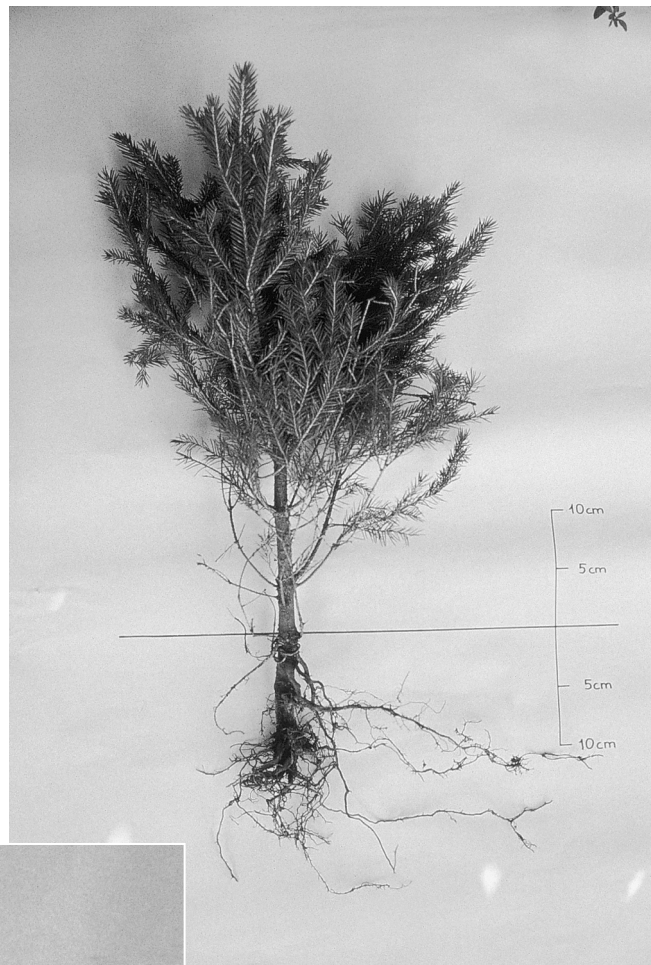
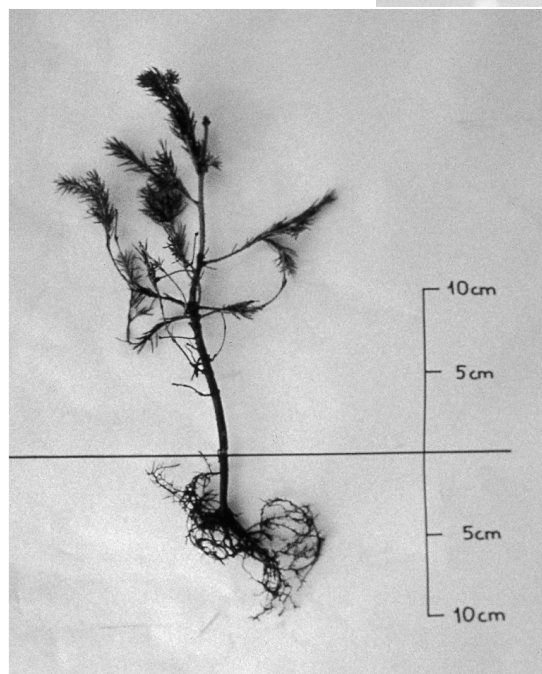


Abbildung 9: Ausgegrabene Fichte: Topfpflanze; Wurzeln allseitig, auch in die Tiefe, maximale Wurzellänge 41 cm, Gesamthöhe Herbst 1991 44 cm.

Figure 9: Dig-up of a Norway spruce: potted plant; roots with a maximum length of 41 cm to all sides, depth included, total height in autumn 1991: 44 cm.

Faktoren, die die Zunahme des Schneeschimmelbefalles am Nordhang signifikant verringern:

- abnehmender unbedeckter Himmelsanteil;
- Kleinterrassen im Vergleich zu Bodenschälung;
- abnehmende Hangneigung.

Faktoren, die die Zunahme des Schneeschimmelbefalles am Nordhang tendenziell verringern:

- zunehmender Humusformindex (Definition bei LÜSCHER 1991);
- zunehmende Höhe über Meer;
- Überschirmung im Vergleich zu Freifläche;
- abnehmender Auswaschungshorizont;
- Relief: In Mulden ist der Schneeschimmelbefall grösser als am Hang und auf Kuppen.

4.4 Wurzelsystem und Biomasse

1991 wurden 130 der gepflanzten Fichten ausgegraben, ihre Wurzeln beurteilt (Abbildung 9 und 10), die Pflanzen vermessen und das Trockengewicht von Spross und Wurzel bestimmt.

Bei mehr als der Hälfte der Pflanzen mit langen Wurzeln wachsen diese nur oberflächlich, bei der ausgegrabenen Naturverjüngung wachsen alle Wurzeln nur oberflächlich.

Mehr als die Hälfte der ausgegrabenen Fichten hat Wurzeln in alle Richtungen. Bei etwa 14% der Topfpflanzen und 22% der Nacktwurzler wachsen die Wurzeln nur in einem Viertelsektor. Bei diesen Pflanzen muss nach STROHSCHNEIDER (1985) in Zukunft mit einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Windwurf und Sturmschäden gerechnet werden.

Gut 20% der Topfpflanzen und gut 35% der Nacktwurzler weisen Deformationen oder Knicke auf. Die Knicke entstanden nach STROHSCHNEIDER (1985) vermutlich bei der Verschulung, die lotrechten Stauchungen beim Vertopfen oder Pflanzen.

Es wurden keine starken Deformationen wie Knollenbildung oder Verwachsungen beobachtet.

Die Wurzelausbildung der Topfpflanzen ist im Durchschnitt günstiger als jene der Nacktwurzler. Die Nacktwurzler weisen vor allem mehr lotrechte Stauchungen, aber auch vermehrt ein einseitiges Wurzelwerk auf.

Das Trockengewicht des Sprosses ist gleich gross oder grösser als das Trockengewicht der Wurzeln, der Spross ist im Durchschnitt schwerer als die Wurzeln; ein signifikanter Unterschied zwischen Topfpflanzen und Nacktwurzlern war nicht feststellbar.

Das Sprossvolumen, das 1990 bei allen Fichten auf Grund von verschiedenen Durchmessern und Höhen berechnet

wurde, kann gut anstatt des Trockengewichtes des Sprosses verwendet werden, um die Biomasse des Sprosses zu erfassen.

Auch die Gesamthöhe, die 1990, 1991 und teilweise 1998 gemessen wurde, ist stark mit dem Trockengewicht des Sprosses korreliert und kann zur Erfassung der Biomasse verwendet werden, allerdings repräsentiert die Gesamthöhe die Biomasse etwas weniger gut als das Sprossvolumen.

4.5 Saat mit Saathilfe

Am Nordhang sind 2½ Jahre nach der Saat in 71% der Kegel Sämlinge zu finden, bei den Nullproben in 34% und bei den Trichtern in 17%. Am Südhang sind 1½ Jahre nach der Saat in 21% der Kegel Sämlinge zu finden, bei den Nullproben in 7% und bei den Trichtern in 25%. Die Verluste entstehen am Nordhang vor allem im Winter, am Südhang im Winter und im Sommer.

Tabelle 3: Nordhang: Einfluss verschiedener Faktoren auf Keimung und Ansamung von Naturverjüngung und auf das Wachstum von gepflanzten Fichten.

Table 3: North slope: influence of various factors on the germination and self-seeding of natural regeneration and on the growth of planted Norway-spruce trees.

	Keimung und Ansamung von Naturverjüngung	Wachstum von gepflanzten Fichten (gepflegt)
Allgemeines	Die Keimungsbedingungen sind am Nordhang deutlich günstiger als am Südhang. Das Wurzelwerk von Keimlingen und Sämlingen ist am Nordhang viel stärker entwickelt als am Südhang. Die Wasserversorgung ist am Südhang zeitweise ungenügend (BRANG 1996a, 1996b und 1998).	Beobachtungsdauer: 4–11 Jahre Die Konkurrenzvegetation wurde in den ersten 4–6 Jahren nach der Pflanzung entfernt. Die häufigste bekannte Todesursache war Schneeschimmelbefall.
Bodenoberfläche	Mineralerde günstiger als Humusaufgabe (BRANG 1996a, 1996b und 1998).	
Deckung der Vegetation auf Kleinterrassen	Deutlich ungünstig	
Deckung der Moosschicht auf Kleinterrassen	Günstig, falls so locker, dass der Boden noch sichtbar ist (siehe auch MOTTA <i>et al.</i> 1994).	
Moosarten	Günstig falls locker: <i>Polytrichum</i> sp. und <i>Pogonatum</i> sp. Ungünstig: <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Hylocomium splendens</i> und <i>umbratum</i> , <i>Rhytidiadelphus loreus</i> , <i>squarrosus</i> und <i>triquetrus</i> , <i>Ptilium crista-castrensis</i> , <i>Plagiothecium undulatum</i> , <i>Dicranum scoparium</i> , <i>Sphagnum</i> sp. (MOTTA <i>et al.</i> 1994)	
Zunehmende Sonnenscheindauer im Juni	Günstig (BRANG 1996a, 1996b und 1998)	Deutlich günstig für Wachstum
Zunehmendes diffuses Licht	Günstig	Deutlich günstig für Wachstum, teils erst 1–4 Jahre nach der Pflanzung, die Mortalität nimmt ab. Bei Kleinstandorten mit Heidelbeere hat das diffuse Licht deutlich weniger Einfluss als bei solchen mit Hasenlattich, Wollreitgras oder Alpenwaldfarn. Im Vergleich zur Sonnenscheindauer ist der Einfluss des diffusen Lichtes beim Vegetationstyp Heidelbeere etwas kleiner, beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn ist der Einfluss deutlich grösser.
Direkte Überschildung durch alte Fichten	Ungünstig (BRANG 1996a, 1996b und 1998)	Ungünstig für Wachstum, die Mortalität und der Schneeschimmelbefall nehmen zu.
Vegetationstyp neben dem Stützpunkt	Ungünstig: Hasenlattich Günstig: Heidelbeere, Alpenwaldfarn	Geringes Wachstum: Waldsimse, Hasenlattich Dazwischen: Alpenwaldfarn Gutes Wachstum: Heidelbeere, Wollreitgras
Zunehmende Deckung der Krautschicht neben Pflanzungen		Deutlich günstig für das Wachstum
Zunehmende Höhe über Meer	Mortalität infolge Schneeschimmelbefall nimmt tendenziell zu (BRANG 1996a).	Ungünstig für das Wachstum, die Mortalität und der Schneeschimmelbefall nehmen zu.
Relief		In Kuppen- und Hanglagen ist das Wachstum eher besser und der Schneeschimmelbefall weniger intensiv als in Muldenlagen.

5. Synthese der Versuchsergebnisse

5.1 Allgemeines

Die Synthese bezieht sich auf die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet Sedrun. Der Versuch wurde auf folgenden Waldstandorten (Bezeichnungen nach OTT *et al.* 1997) durchgeführt:

- Nordhang: Hochstauden-Fichtenwald mit Alpenwald-farn (60A) sowie Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidel-beere (57V) oder mit Wollreitgras (57C), in den unteren Lagen im Übergang zum Labkraut-Tannen-Fichtenwald (57[51]);
- Südhang: in den unteren Lagen auf dem Waldstandort Schneesimsen-Fichtenwald (55*) und in den oberen Lagen auf dem Waldstandort Typischer Preiselbeer-Fichtenwald (58);
- Bei der Übertragung der Empfehlungen auf andere Gebie-te sollte Folgendes beachtet werden:
 - Die Empfehlungen sollten durch intensives Beobachten überprüft werden.
 - Die Übertragung sollte vor allem innerhalb der Wald-standorte vom Nordhang bzw. vom Südhang stattfinden.

5.2 Pflanztechnik

Die Kleinterrassen (etwa 30 cm breit und 2 m lang) haben sich im Vergleich zur Bodenschälung bewährt. Am Nordhang ist das Wachstum auf Kleinterrassen besser als auf Bodenschälung, obwohl der Schneeschimmelbefall grösser ist.

Um ein langfristiges Überleben des Stützpunktes zu er-möglichen, sollten am Nordhang mindestens 15 Fichten pro Stützpunkt gepflanzt werden.

Die Topfpflanzen weisen weniger Wurzeldeformationen auf als die Nacktwurzler. Bei Fichten mit Wurzeldeformatio-nen muss nach STROHSCHNEIDER (1985) in Zukunft mit einer er-

höhten Anfälligkeit gegenüber Windwurf gerechnet werden. Am Nordhang ist das Wachstum bei den Topfpflanzen besser, bei den Nacktwurzlern ist der Pflanzschock im Jahr nach der Pflanzung deutlich sichtbar. Am Südhang ist das Wachstum der Topfpflanzen auch besser als jenes der Nacktwurzler, der Unterschied ist aber weniger gross als am Nordhang.

Eine grosse Anfangshöhe beeinflusst das Wachstum signi-fikant positiv. Trotzdem ist es problematisch, grössere Pflan-zen zu setzen, da dann das korrekte Behandeln der Wurzeln immer schwieriger wird und die Wahrscheinlichkeit von Wur-zeldeformationen zunimmt (WASEM 2000).

Bei Saat mit Saathilfe keimen am Nordhang und am Süd-hang deutlich mehr Samen als bei Saat ohne Saathilfe. Als Saathilfe ist der Kegel dem Trichter vorzuziehen. Für die Saat mit Saathilfe muss der Boden bearbeitet werden, es müssen horizontale Standflächen mit Mineralerde vorhanden sein (z.B. Kleinterrassen). Auch SCHÖNENBERGER und WASEM (1990) empfehlen Saaten mit Kegel, nach WASEM (2000) eignet sich dieses Verfahren speziell, um rasch nach der Holzernte mit der Waldverjüngung zu beginnen und noch vegetationsfreie Saatplätze auszunützen.

5.3 Keimung und Ansamung von Naturverjüngung, Wachstum von gepflanzten Fichten

Bei der Versuchsanlage wurden möglichst günstige Klein-standorte ausgewählt: spät ausapernde Stellen wie eindeuti-ge Muldenlagen wurden gemieden. Bei der Auswertung hatte deshalb die Ausaperung keinen eindeutigen Einfluss auf das Wachstum, der Einfluss des Reliefs ist nur schwach. Der Boden wurde bearbeitet, deshalb konnte vermutlich keine Be-ziehung zwischen Humusformindex und Wachstum der Fich-ten sowie zwischen Auswaschungshorizont und Wachstum der Fichten nachgewiesen werden.

Die Eignung von Moderholz für die Ansamung von Fichten wurde im Versuch nicht untersucht; auf Grund von Literatur-

Tabelle 4: Südhang: Einfluss verschiedener Faktoren auf Keimung und Ansamung von Naturverjüngung und auf das Wachstum von gepflanzten Fichten.

Table 4: South slope: Influence of various factors on the germination and self-seeding of natural regeneration and on the growth of planted Norway-spruce trees.

	Keimung und Ansamung von Naturverjüngung	Wachstum von gepflanzten Fichten (gepflegt)
Allgemeines	Die Keimungsbedingungen sind am Nordhang deutlich günstiger als am Südhang. Das Wurzelwerk von Keimlingen und Sämlingen ist am Nordhang viel stärker entwickelt als am Südhang. Die Wasserversorgung ist am Südhang zeitweise ungenügend (nach BRANG 1996 und 1998).	Beobachtungsdauer: 3 Jahre Die Konkurrenzvegetation wurde in den ersten 3 Jahren nach der Pflanzung entfernt.
Bodenoberfläche	Mineralerde günstiger als Humusauflage. Der Unter-schied ist wegen der zeitweise ungenügenden Wasser-versorgung grösser als am Nordhang (nach BRANG 1996 und 1998).	
Deckung der Vegetation auf Kleinterrassen	Deutlich ungünstig	
Zunehmende Sonnenscheindauer im Juni	Deutlich ungünstig, vor allem bei Besonnung über Mittag, auf Humusauflage ungünstiger als auf Mineralerde (auch nach BRANG 1996 und 1998)	Günstig für Wachstum
Zunehmendes diffuses Licht		Günstig für Wachstum
Direkte Überschildung durch alte Fichten	Deutlich ungünstig (nach BRANG 1996 und 1998)	Ungünstig für Wachstum
Zunehmende Höhe über Meer	Ungünstig	Eher günstig
Vegetationstyp neben dem Stützpunkt		Am günstigsten: nährstoffreicher Vegetationstyp Dazwischen: Vegetationstyp Heidelbeere mittlerer Vegetationstyp Vegetationstyp Wollreitgras Am ungünstigsten: Trockener Vegetationstyp

	Einleitung Naturverjüngung	Begünstigung etablierter Naturverjüngung
Günstige Kleinstandorte	<ul style="list-style-type: none"> – Kuppe oder Hang – Mineralerde oder Humusauflage mit lockerer Moosschicht und höchstens wenig Krautvegetation, Moderholz – Mind. etwa 2 h Sonne im Juni (beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn nicht entscheidend) – Mind. 20% unbedeckter Himmelsanteil – Keine direkte Überschirmung 	<ul style="list-style-type: none"> – Mind. etwa 2 h Sonne im Juni (beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn nicht entscheidend für An- und Aufwuchs) – Mind. 20% unbedeckter Himmelsanteil – Keine direkte Überschirmung

Tabelle 5: Waldbauliche Empfehlungen für die Einleitung und Begünstigung von Naturverjüngung am Nordhang.

Table 5: Silvicultural recommendations for the introduction of and favourable conditions for natural regeneration on the north slope.

	Einleitung Naturverjüngung	Begünstigung etablierter Naturverjüngung
Günstige Kleinstandorte	<ul style="list-style-type: none"> – Mineralerde oder Humusauflage mit höchstens wenig Krautvegetation – Wenig Sonne im Juni – Viel unbedeckter Himmelsanteil – Keine direkte Überschirmung 	<ul style="list-style-type: none"> – Viel Sonne im Juni – Viel unbedeckter Himmelsanteil – Keine direkte Überschirmung

Tabelle 6: Waldbauliche Empfehlungen für die Einleitung und Begünstigung von Naturverjüngung am Südhang.

Table 6: Silvicultural recommendations for the introduction of and favourable conditions for natural regeneration on the south slope.

angaben (EICHRODT 1969, IGNESTI und PIUSSI 1993, STÖCKLI 1995) ist das Moderholz jedoch günstig für die Ansamung von Fichten.

In den *Tabellen 3* und *4* werden die Einflüsse von verschiedenen Faktoren auf die Verjüngung der Fichte im Untersuchungsgebiet in Sedrun zusammengefasst.

Am Südhang (*Tabelle 4*) war die Datenmenge wegen den Sturmschäden im Jahre 1990 zu klein für die Auswertung, für die Keimung und Ansamung konnten die Ergebnisse mit den Resultaten aus den Untersuchungen von MOTTA *et al.* (1994) und BRANG (1996a, 1996b und 1998a) ergänzt werden. Die Einflüsse der erhobenen Faktoren auf das Wachstum der gepflanzten Fichten konnten vermutlich wegen der geringen Datenmenge nicht vollständig erfasst werden.

5.4 Waldbauliche Empfehlungen

Am Nordhang können die Bedingungen (*Tabelle 5*) für die Einleitung von Naturverjüngung und für die Förderung von etablierter Naturverjüngung gleichzeitig erfüllt werden. Es ist aber besonders in homogenen Beständen schwierig, Sonne in den Bestand zu bringen. Oft werden deshalb zur Einleitung der Verjüngung Schlitze schräg zur Falllinie angelegt werden. Die Schlitze sollten nicht über eine halbe Baumlänge breit und mindestens anderthalb Baumängen lang sein (IMBECK und OTT 1987). Beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn ist das diffuse Licht wichtiger als das direkte Licht (Sonne). In Schlitzen mit der oben erwähnten Ausdehnung ist auch genügend diffuses Licht für das Wachstum der Fichten vorhanden (IMBECK und OTT 1987).

Falls zu wenig günstige Kleinstandorte vorhanden sind, kann der Boden geschürft werden.

Künstliche Verjüngung am Nordhang, falls die Lichtverhältnisse in den letzten Jahren ähnlich geblieben sind (kein Holzschlag usw.): Topfpflanzen auf Kleinterrassen.

Günstige Kleinstandorte:

- mindestens zwei Stunden Sonne im Juni (beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn nicht entscheidend für An- und Aufwuchs);
- mindestens 20% unbedeckter Himmelsanteil;
- Hang oder Kuppe;
- hohe Deckung der Krautschicht.

In den ersten Jahren sollten die Pflanzungen im Juli gepflegt werden.

Künstliche Verjüngung am Nordhang, falls die Lichtverhältnisse in den letzten Jahren stark zunahm (Holzschlag usw.): Saat mit Saathilfe auf Kleinterrassen oder Topfpflanzen auf Kleinterrassen.

Günstige Kleinstandorte:

- mindestens zwei Stunden Sonne im Juni (beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn nicht entscheidend für An- und Aufwuchs);
- mindestens 20% unbedeckter Himmelsanteil;
- Hang oder Kuppe.

In den ersten Jahren sollten die Saaten oder Pflanzungen im Juli gepflegt werden.

Am Südhang widersprechen sich die Bedingungen (*Tabelle 6*) für die Einleitung von Naturverjüngung und für die Förderung von etablierter Naturverjüngung. Für die Einleitung sollte nur wenig Sonne auf die verjüngungsgünstigen Kleinstandorte scheinen, die etablierte Verjüngung gedeiht besser mit viel Sonne.

Für die Einleitung der Verjüngung sollten Öffnungen angelegt werden, in denen der Niederschlag ungehindert den Boden erreichen kann und die Sonne nur wenig scheint (BRANG 1996b). Falls zu wenig günstige Kleinstandorte vorhanden sind, kann der Boden geschürft werden.

Für die Begünstigung von etablierter Verjüngung reicht es meistens, einige Bäume zu entfernen, damit die Verjüngung genügend Sonne erhält.

Künstliche Verjüngung Südhang: Topfpflanzen oder Nacktwurzler auf Kleinterrassen.

Günstige Kleinstandorte:

- lange Sonnenscheindauer im Juni;
- viel diffuses Licht;
- keine direkte Überschirmung.

In den ersten Jahren müssen die Pflanzungen im Juli gepflegt werden.

5.5 Erfahrungen und offene Fragen

Eine lange Untersuchungsdauer ist sehr wichtig, um den Einfluss von Standortfaktoren auf das Wachstum von Fichten zu erfassen, z.B. das diffuse Licht beeinflusst das Wachstum der Fichten erst nach ein paar Jahren stark positiv. Gleichzeitig bringt aber eine lange Untersuchungszeit auch Risiken, da die Wahrscheinlichkeit grösser wird, dass die Versuchsbedingungen durch äussere Einflüsse gestört werden (Sturm, Wildver-

biss, Fegeschäden von Wild). Das Untersuchen von mehreren Versuchsblöcken über mehrere Jahre hilft, zufällige Einflüsse auszuschalten.

Das Versuchsdesign beeinflusst die möglichen Resultate wesentlich, so konnte der Einfluss des diffusen Lichtes auf das Wachstum der Fichten im Versuch Lusiwald nicht nachgewiesen werden, weil das Versuchsdesign nicht darauf ausgerichtet war.

Die intensive Beobachtung im Gelände ist wichtig, um einen Wald zu beurteilen und eventuell Massnahmen zu planen. Beim Beobachten besteht aber einerseits die Gefahr, dass wir nur das sehen, was wir erwarten, andererseits gibt es Zusammenhänge, die mit der Beobachtung allein schwer zu erfassen sind. Zum Überprüfen und Ergänzen der Beobachtungen sind deshalb möglichst objektive Untersuchungen wichtig, auch wenn sie aufwendig sind.

Auf Grund der Auswertung beeinflusst der unbedeckte Himmelsanteil das Wachstum der Fichten wesentlich, er kann aber im Feld nur mühsam gemessen werden. Damit dieser Faktor in der Praxis berücksichtigt werden kann, könnte z.B. ein Schlüssel erstellt werden, in dem der unbedeckte Himmelsanteil für verschiedene Lückengrößen, Hangneigungen und Expositionen ersichtlich ist.

Die verschiedenen Vegetationstypen haben einen unterschiedlichen Einfluss auf das Wachstum; überraschend ist vor allem, dass der Einfluss des unbedeckten Himmelsanteils auf das Wachstum je nach Vegetationstyp verschieden gross ist. Die Ursache für den unterschiedlichen Einfluss der Vegetationstypen ist nicht klar ersichtlich. Dass am Südhang beim nährstoffreichsten Vegetationstyp (höchste Nährstoffzahl nach LANDOLT 1977) das Wachstum am besten ist, erscheint zwar plausibel. Am Nordhang kann der Einfluss der Vegetationstypen aber nicht mit diesem Schema erklärt werden, da Alpenwaldfarn nach LANDOLT (1977) eine höhere Nährstoffzahl aufweist als Heidelbeere. Eine genauere Untersuchung über den Einfluss verschiedener Vegetationstypen auf das Wachstum mit Berücksichtigung von unterschiedlich diffusem Licht wäre wünschenswert.

Zusammenfassung

Auf verschiedenen Fichten-Waldstandorten am Nord- und Südhang des Lehrwaldes der ETH Zürich in Sedrun wurden zwischen 1985 und 1998 verschiedene Techniken von stützpunktartigen Pflanzverfahren erprobt sowie die Keimung und Ansamung von Naturverjüngung untersucht.

Bei der Pflanztechnik haben sich die 30 cm breiten Kleinterrassen besser bewährt als die Bodenschälung. Die Topfpflanzen weisen weniger Wurzeldeformationen auf als die Nacktwurzler. Am Nordhang ist das Wachstum bei den Topfpflanzen besser, bei den Nacktwurzlern ist der Pflanzschock im Jahr nach der Pflanzung deutlich sichtbar. Am Südhang ist das Wachstum der Topfpflanzen ebenfalls besser als jenes der Nacktwurzler, der Unterschied ist aber weniger gross als am Nordhang.

Für Keimung und Ansamung sind allgemein günstig: Mineralerde im Vergleich zu Humusauflage, geringe Deckung der Krautschicht, keine Überschildung durch alte Fichten. Am Nordhang zusätzlich: lockere Moosschicht (der Boden ist zwischen dem Moos noch sichtbar), zunehmende Sonnenscheindauer, zunehmendes diffuses Licht. Am Südhang zusätzlich: wenig Sonnenscheindauer, vor allem auf Humusauflage.

Für das Wachstum von gepflanzten Fichten sind zunehmende Sonnenscheindauer, zunehmendes diffuses Licht, keine Überschildung durch alte Fichten günstig. Am Nordhang zusätzlich: zunehmende Deckung der Krautschicht neben den gepflanzten Fichten.

Auch der Vegetationstyp hat einen Einfluss auf das Gedeihen der Ansamung und auf das Wachstum der Fichten.

Résumé

Développement des rajeunissements d'épicéas dans la forêt d'enseignement de l'EPFZ à Sedrun (Alpes centrales septentrionales)

Entre 1985 et 1998, on a testé, sur différentes stations de pessières des versants nord et sud de la forêt d'enseignement de l'EPF de Zurich à Sedrun, différentes techniques de plantation à points d'initials et étudié la germination et l'ensemencement du rajeunissement naturel.

En ce qui concerne la technique de plantation, les petites terrasses d'une largeur de 30 cm se sont avérées plus efficaces que l'écroutage du sol. Les plants en pots présentent moins de déformations racinaires que ceux à racines nues. Sur le versant nord, la croissance des plants en pots est meilleure; chez ceux à racines nues, le choc de plantation est très visible un an après l'intervention. Sur le versant sud, la croissance des plants en pots est également supérieure à celle des plants à racines nues, la différence est cependant moins marquée que sur le versant nord.

Les facteurs suivants sont généralement favorables à la germination et à l'ensemencement: présence de matière minérale plutôt que d'une couche d'humus, strate herbacée peu couvrante, pas de recouvrement par de vieux épicéas. Qualités supplémentaires requises sur le versant nord: strate muscinale peu compacte (le sol est encore visible entre la mousse), augmentation de la durée d'ensoleillement, augmentation de la lumière diffuse. Qualités supplémentaires requises sur le versant sud: durée d'ensoleillement plus faible, notamment en présence d'une couche d'humus.

Les facteurs suivants influencent favorablement la croissance des épicéas plantés: augmentation de la durée d'ensoleillement, augmentation de la lumière diffuse, pas de recouvrement par de vieux épicéas. Qualités supplémentaires requises sur le versant nord: densification de la strate herbacée à côté des épicéas plantés.

Le type de végétation influence aussi le succès de l'ensemencement et la croissance des épicéas.

Traduction: CLAUDE GASSMANN

Summary

Development of Norway-Spruce Regeneration in the Training Forest of ETH Zurich in Sedrun, Canton of Grisons, Switzerland (Northern Intermediate Alps)

Between 1985 and 1998, on various forest locations on the north and south slopes of the training forest of ETH Zurich in Sedrun, canton of Grisons, Switzerland, techniques of planting procedures were tried out (plantations in groups like «bases») and the germination and self-seeding of natural regeneration were investigated.

With regard to planting technique, the 30 cm wide terraces showed better results than the scarified soil. The potted trees showed less root deformation than the bare-root plants. On the north slope, the potted plants grew better; bare-root plants displayed visible transplantation shock in the year after planting. Likewise, on the south slope, the potted plants grew better than the bare-root plants, but the difference was less visible than on the north slope.

The following factors had a beneficial effect on germination and self-seeding: mineral soil compared with humus soil, sparse coverage of the herbaceous layer, no Norway-spruce canopy of old trees. On the north slope, the following factors can be added: transparent moss layer (soil still visible under the moss), increasing hours of sunshine, increasing diffuse light. On the south slope, the following factors can be added: few hours of sunshine, especially on humus soil.

The following factors had a beneficial effect on the growth of the Norway-spruce trees: increasing hours of sunshine, increasing diffuse light, no Norway-spruce canopy of old trees. On the north slope, the following factors can be added: increasing herbaceous layer coverage beside the planted Norway-spruce trees.

The vegetation type also plays an influential role in the prosperity of self-seeding and the growth of Norway-spruce trees.

Translation: TAMARA BRÜGGER

Literaturverzeichnis

- ARBEITSGRUPPE WALD UND WILD DES SCHWEIZERISCHEN FORSTVEREINS (1999): Einfluss freilebender Wiederkäufer auf die Verjüngung des Schweizer Waldes. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150, 9: 313–326.
- BAGNARESI, U., BALDINI, E., ROSSI, F. (1989): Energia radiante, struttura e accrescimento del novellame di abete rosso e di abete bianco in alcune formazioni forestali delle Alpi orientali. *Ann. Accad. Ital. Sci. Forest.* 38, 81–108.
- BRANG, P. (1996a): Experimentelle Untersuchungen zur Ansamungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. *Beiheft Schweiz. Z. Forstwes.* 77.
- BRANG, P. (1996b): Ansamungsgunst und Verteilung der Direktstrahlung in schlitzförmigen Bestandesöffnungen zwischenalpiner Fichtenwälder. *Schweiz. Z. Forstwes.* 147, 10: 761–784.
- BRANG, P. (1998a): Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. *Can. J. For. Res.* 28, 626–639.
- BRANG, P. (Red.) (1998b): Sanasilva-Bericht 1997. Zustand und Gefährdung des Schweizer Waldes – eine Zwischenbilanz nach 15 Jahren Waldschadenforschung. *Ber. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch.* 345.
- BUWAL (1999): Der Schweizer Wald – eine Bilanz. Waldpolitische Interpretation zum zweiten Landesforstinventar. Hrsg. Buwal, Bern.
- EICHRD, R. (1969): Über die Bedeutung von Moderholz für die natürliche Verjüngung im subalpinen Fichtenwald. *Beiheft Schweiz. Z. Forstwes.* 45.
- FREHNER, M. (1989): Beobachtungen zur Einleitung der Naturverjüngung an einem nordexponierten Steilhang im subalpinen Fichtenwald. *Schweiz. Z. Forstwes.* 140, 11: 1013–1022.
- FREHNER, M. (2001): Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kleinstandorte und der Pflanztechnik auf Fichtenpflanzungen in subalpinen Lawinenschutzwäldern. Dissertation ETH Zürich, *Beiheft Schweiz. Z. Forstwes.* 92 (im Druck).
- IGNESTI, S., PIUSSI, P. (1993): Natural regeneration in an artificial gap of a subalpine spruce stand. *Universita di Firenze, Istituto di Selvicoltura. Mésogée* 1993, Vol. 53, 71–74.
- IMBECK, H., OTT, E. (1987): Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und Lawinenbildung. *Mitt. Eidg. Inst. Schnee- u. Lawinenforschung*, 42.
- KREILIGER, M. (1992): Erhebung über das Höhenwachstum der Fichtenverjüngung in Beziehung zur Sonnenscheindauer in der montanen und subalpinen Stufe in sonnenzugewandten Hanglagen in der Cadi. Diplomarbeit ETH Zürich, Fachbereich Waldbau, unveröffentlicht.
- KREILIGER, M. (1994): Einflüsse des Sonnenlichtes in Verjüngungsbeständen im Bündner Oberland. *Bündner Wald* 4/47, 75–81.
- KRONFUSS, H. (1985): Die Zuwachsleistung einer Hochlagenaufforstung mit Zirbe (*Pinus cembra* L.) auf einem Südhang in Abhängigkeit von der Seehöhe, IUFRO Meeting and Study Tour 1985.
- LANDOLT, E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora, *Veröff. des Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich*, 64.
- LÜSCHER, F. (1990): Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Dissertation ETH Zürich, Nr. 8879, 138 S.
- LÜSCHER, P. (1991): Humusbildung und Humusumwandlung in Waldbeständen. Dissertation ETH Zürich Nr. 9572, 106 S.
- MAYER, A. (1997): Einflussfaktoren auf das Wachstum von gepflanzten Fichten in Bestandeslücken eines subalpinen hochstaudenreichen Fichtenwaldes. Diplomarbeit Forstliche Fakultät der Universität Freiburg, angefertigt am ELSL, unveröffentlicht.
- MOTTA, R., BRANG, P., FREHNER, M., OTT, E. (1994): Copertura muscinale e rinnovazione di abete rosso (*Picea abies* L.) nella pecceta subalpina die Sedrun (Grigioni, Svizzera). *Monti e Boschi* 1994/3. 49–56.
- NIGGLI, E. (1944): Geologisch-mineralogische Kartenskizze Disentis-Oberalp. Schweiz. *Min.-Petrogr. Mittlg.*, Bd. XXIV, Heft 1 und 2. Kümmerly und Frey, Bern.
- OTT, E., LÜSCHER, F., FREHNER, M., BRANG, P. (1991): Verjüngungsökologische Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe. *Schweiz. Z. Forstwes.* 142, 11, 879–904.
- OTT, E., FREHNER, M., FREY, H.U., LÜSCHER, P. (1997): Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Bern/Stuttgart/Wien.
- PIUSSI, P. (1986): La rinnovazione della pecceta subalpina. *Le Scienze. Numero* 215: 58–67.
- PIUSSI, P. (1988): Accrescimento e sopravvivenza del novellame di picea in tagliate a raso a buetwa Estratto da Scitti di Selvicoltura in onore di Alessandro de Philipps, Tipografia Coppini, Firenze.
- SAS INSTITUTE INC. (1990): SAS/STAT User's Guide, Version 6, 4. Auflage, Band 1 und 2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SCHÖNENBERGER, W., WASEM, U. (1990): Mehr Keimlinge dank Plastikkegel, Baumsaaten mit Keimhilfe im Gebirge. *Wald und Holz* 4, 24–29.
- SCHUEMER, R., STÖHLEIN, G., GOGOLOK, J. (1990): Datenverarbeitung und statistische Auswertung mit SAS. Band II: Komplexe statistische Analyseverfahren. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart/New York.
- STAHEL, W.A. (1999): Statistische Datenanalyse. Eine Einführung für Naturwissenschaftler. 2. Auflage. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden.
- STÖCKLI, B. (1995): Moderholz für Naturverjüngung im Bergwald. *WSL, Merkblatt für die Praxis* 26.
- STROHSCHNEIDER, I. (1985): Untersuchungen über Wurzeldeformationen und -erkrankungen im Gefolge verschiedener Pflanzverfahren, *Forschungsbericht Uni Boku, Wien*.
- WASEM, U. (2000): Verjüngung von Schutzwäldern nach Schneeschäden, Windwurf und Waldbrand. *Nachzucht- und Pflanzverfahren für den Gebirgswald.* <http://www.wsl.ch/forest/waldman/mfe/wasem/index-de.ehtml>
- WASSER, B., FREHNER, M. et al. (1996): Wegleitung Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion, *Vollzug Umwelt.* Hrsg. Buwal, Bern.

Autorin:

Dr. MONIKA FREHNER, dipl. Forst-Ing. ETH, Sixer 9, 7320 Sargans.