

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 153 (2002)

**Heft:** 6

**Artikel:** Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald : Nachweis mit einem neuen Modellansatz

**Autor:** Brang, Peter / Duc, Philippe

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1098235>

### **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>**

# Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz

PETER BRANG und PHILIPPE DUC

Keywords: Regeneration; inventories; mountain forest; *Picea abies*; critical levels; modelling. FDK 231 : 524.6 : 174.7 *Picea* : UDK 519 : (494)

**Abstract:** A be-value for tree regeneration cover was derived from a static model of a Norway spruce mountain selection forest and published data. If those assumptions that seem most realistic are adopted in the model, the be-value is 10% cover. According to data from the second Swiss National Forest Inventory, some 55% of the mountain forests in Switzerland with Norway spruce dominance do not meet this be-value. Due to the uncertainty of several assumptions in the model it is not possible to quantify precisely the lack of regeneration, but the extent of insufficient regeneration has been shown to be considerable.

**Abstract:** Mit Hilfe eines statischen Gebirgsplenterwald-Modells und von Daten aus der Literatur wird für den Gebirgs-Fichtenwald ein Sollwert des Jungwald-Deckungsgrades abgeleitet. Bei plausibel scheinenden Modellannahmen liegt der Sollwert bei 10%; er wird in rund 55% des Fichten-dominierten Gebirgswaldes in der Schweiz unterschritten, wie ein Vergleich mit Daten aus dem zweiten Landesforstinventar zeigt. Einige Modellannahmen sind zwar unsicher und daher ist das genaue Ausmass des Verjüngungsmangels unbekannt. Es wird aber nachgewiesen, dass dieser erheblich ist.

## 1. Verjüngungsmangel im Gebirgswald: Beurteilungsansätze

Es gibt Hinweise für einen Mangel an Verjüngung im Schweizer Wald (ZINGGELER *et al.* 1999). Ein Grund für Verjüngungsmangel kann Wildverbiss sein; aus diesem Grunde wurden Kennzahlen der Verjüngung auch oft im Rahmen von Beurteilungen des Wildeinflusses auf die Verjüngung entwickelt (REIMOSER & REIMOSER 1997; RÜEGG 1999). Kennzahlen sollten Aussagen zur Dichte, zur räumlichen Verteilung und zum Zustand der Verjüngung ermöglichen. Die bisher dazu verwendeten Kennzahlen sind nur teilweise befriedigend: Z.B. orientiert sich das Verhältnis zwischen aktueller und nachhaltiger Verjüngungsfläche am Normalwaldmodell (ZÜRCHER 1965) und ist damit für stufige Bestände unbrauchbar (ZINGGELER *et al.* 1999; DUC 2001). Stammzahlbasierte Kennzahlen (REIMOSER 1991; KIENAST *et al.* 1999; SCHODTERER 2000) sind schwierig zu interpretieren, weil die Dichte der Verjüngung von Natur aus stark variiert und Sollwerte daher nur für grössere Flächen (z.B. >0,5 ha) anwendbar sind.

In Schutzwäldern ist ein Verjüngungsmangel besonders schwerwiegend. Ohne genügende Verjüngung kann ein Schutzwald nicht dauerhaft wirksamen Schutz gegen Naturgefahren bieten. Als waldbauliche Zielvorstellung gilt in vielen Schutzwäldern der Gebirgsplenterwald (OTT *et al.* 1997; WASSER & FREHNER 1996), der eine dauernde Erneuerung der Baumschicht gewährleistet. Bäume jeder Grösse kommen dabei allzeit auf kleinen Flächen (<0,1 ha) nebeneinander vor und bieten kontinuierlich Schutz vor Naturgefahren. Die natürliche Verjüngung tritt im Gebirgsplenterwald in der Regel geklumpt in der Form von sogenannten Verjüngungsansätzen auf (OTT *et al.* 1997: 21), von welchen jeder aus mehreren nahe beieinander stehenden Bäumchen besteht, selten aus nur einem einzelnen Bäumchen. Grund dafür ist unter anderem eine hohe zeitliche und räumliche Variation der Verjüngungsgunst der Kleinstandorte in der subalpinen Stufe. Einige Kleinstandorte tragen daher viel, andere nur sehr wenig oder gar keine Verjüngung. Verjüngungskennzahlen für den Gebirgsplenterwald müssen dieser unregelmässigen räumlichen Verteilung der Verjüngung Rechnung tragen.

Der notwendige Verjüngungsanteil im Gebirgsplenterwald wurde bisher, mit Ausnahme des Modells von KIENAST *et al.*

(1999), mit statischen Modellen abgeschätzt (MAYER 1967; BUCHLI 1997; OTT *et al.* 1997: 32). Eingangsgrössen waren dabei maximal erreichbare Bestandesalter und Durchwuchszeiten durch die Jungwaldphase, das Resultat war eine minimale Dichte von Pflanzen bzw. Verjüngungsansätzen. BUCHLI (1997) berücksichtigte bereits, dass zwischen den Rotten im subalpinen Fichtenwald (*Picea abies* (L.) Karst.) baumfreie Flächen vorkommen. Er rechnete die Rottenfläche pro Hektare in Anzahl Verjüngungsansätze um (BUCHLI 1997: 62). Je nach Rottenradius und Rottenabstand kam er in der Aufwuchsphase der Verjüngung (OTT *et al.* 1997: 37) auf einen Sollwert von 12 bis 38 Verjüngungsansätzen pro Hektare. OTT *et al.* (1997: 34) errechneten minimal 15 Verjüngungsansätze pro Hektare.

Ein Nachteil der Sollwerte, die aus den erwähnten statischen Verjüngungsmodellen abgeleitet wurden, ist deren mangelnde Kompatibilität mit den Variablen des zweiten Landesforstinventars (LF12, BRASSEL & BRÄNDLI 1999). Daher ist es nicht möglich, mit diesen Modellen den Verjüngungszustand grossräumig zu beurteilen. Die Jungwaldphase dauert bei den statischen Modellen (BUCHLI 1997; OTT *et al.* 1997: 33) bis zur «schutzwirksamen» Verjüngung, also bis eine Baumhöhe von 2 bis 3 m erreicht ist, wobei diese Baumhöhe nicht präzise definiert ist. Im LF12 hingegen dauert die Jungwaldphase wesentlich länger, nämlich bis ein Brusthöhendurchmesser ( $d_{1,3}$ ) von 12 cm erreicht ist. Dies könnte teilweise berücksichtigt werden, indem nur die Jungwaldklassen eins bis fünf des LF12 (bis  $d_{1,3} = 3,9$  cm) betrachtet werden. Problematisch ist aber, dass die Verjüngungs-Stammzahlen im LF12 ohne zusätzliche, genau auf diese Frage zielende Feldaufnahmen nicht in Anzahl Verjüngungsansätze (mit jeweils mehreren kleinen Bäumen) umgerechnet werden können. Die Verjüngungs-Stammzahlen des LF12 können zudem nur bedingt mit Bestandesparametern verknüpft werden: Sie wurden auf Probeflächen erfasst, die mit 28 m<sup>2</sup> (zwei Satelliten von je 14 m<sup>2</sup>, DUC 2001) viel kleiner sind als die Interpretationsflächen von 2500 m<sup>2</sup>, auf denen die Bestandesparameter erhoben wurden.

Aufgrund dieser Schwierigkeiten stellt sich uns folgende Aufgabe: Wie können wir die vorhandenen Verjüngungskennzahlen für den Gebirgsplenterwald so weiterentwickeln, dass der Verjüngungszustand mit Stichprobendaten, z.B. LF1-Daten, grossräumig beurteilt werden kann? Eine Lösung dieser Aufgabe möchten wir in diesem Aufsatz präsentieren.

## 2. Der Jungwald-Deckungsgrad: Eine vielversprechende Kennzahl

Neben der Stammzahl auf den Verjüngungs-Satellitenflächen wurde im LFI2 der Verjüngungs-Deckungsgrad erhoben. Wir nennen dieses Merkmal hier Jungwald-Deckungsgrad (JWDG), da es sich auf den Jungwald gemäss der Definition im LFI2 bezieht, nämlich auf alle Bäume, die mindestens 10 cm hoch sind und deren  $d_{1,3}$  kleiner als 12 cm ist (ZINGGELER *et al.* 1999). Der JWDG wurde auf jeder Stichprobe des LFI2 auf einer quadratischen Interpretationsfläche von 50 m x 50 m angesprochen, in deren Zentrum die LFI-Probefläche liegt (BRASSEL & LISCHKE 2001). Der JWDG wurde, ohne zwischen Baumarten zu unterscheiden, in folgenden Klassen geschätzt: <1%, 1–9%, 10–25%, 26–50%, 51–75%, 76–100%. Die Ansprache ist knapp genügend reproduzierbar, wie Kontrollaufnahmen auf 747 Stichprobenflächen ergaben. Die von Aufnahmegruppe und Kontrollgruppe geschätzten Klassen des JWDG stimmten bei 45% der Flächen genau überein, und sie waren nicht signifikant verschieden (SCHWYZER & HEROLD 2001). Das Korrelationsmass Gamma (KAUFMANN & SCHWYZER 2001) lag bei 0,74, wobei ein Wert von 0 völlige Unabhängigkeit und ein Wert von 1 völlige Übereinstimmung bedeutet.

Um die Kalibrierung und Interpretation unseres Modells zum JWDG zu vereinfachen, beschränkten wir uns auf den Fichten-dominierten Gebirgswald. Wir verstehen darunter denjenigen Teil des Gebirgswaldes, in welchem die Fichte aus standörtlichen Gründen von Natur aus dominiert, und in welchem somit Fichtenverjüngung zu erwarten und, soweit es sich um Schutzwald handelt, für eine kontinuierlich genügende Schutzwirkung nötig ist. Den Fichten-dominierten Gebirgswald definierten wir als die Summe aller LFI2-Probeflächen in den Waldgesellschaften 53 bis 58 und 60 nach ELLENBERG & KLÖTZLI (1972). Die Zuteilung der Probeflächen zu Waldgesellschaften erfolgte mit einem statistischen Modell (KIENAST *et al.* 1994). 70% der vom Modell vorhergesagten Waldgesellschaften 53 bis 58 und 60 erwiesen sich bei vegetationskundlichen Erhebungen auch tatsächlich als *Piceeten* (DUC & KULL 2001).

Der Fichten-dominierte Gebirgswald (Abbildung 1) weist mit einer Fläche von  $93\,500 \pm 3800$  ha (Mittelwert  $\pm$  einfacher Standardfehler) einen Anteil von 7,6% an der Waldfläche der Schweiz auf. Dabei wurden dauernd aufgelöste Bestockungen ( $19\,000 \pm 1700$  ha, vor allem Weidwald), dauernd oder vorübergehend nicht bestockte Flächen ( $5200 \pm 900$  ha) sowie Nieder- und Mittelwälder ( $1100 \pm 400$  ha) ausgeschlossen. Der Fichten-dominierte Gebirgswald verteilt sich zu 74% auf die subalpine und zu 26% auf die obermontane Vegetationshöhenstufe (Höhenstufen-Definitionen nach LFI2, BRASSEL & LISCHKE 2001).

## 3. Das Modell des minimalen Jungwald-Deckungsgrades

### 3.1 Modellansatz

Um den minimalen JWDG abzuleiten, gingen wir wie BUCHLI (1997) und OTT *et al.* (1997: 33) von einem statischen Modell eines ideal strukturierten, Fichten-dominierten Gebirgsplenterwaldes aus. Wir entwickelten die bestehenden Modelle weiter, indem wir weitere Einflussfaktoren berücksichtigten und ihren Einfluss auf den JWDG so weit als möglich aufgrund der Literatur quantifizierten. Unser besonderes Augenmerk galt dabei dem Wachstumsgang der Verjüngung und dem Bestandesalter der Fichte.

Wir rechneten drei Modell-Szenarien mit unterschiedlichen Annahmen durch, welche die Unsicherheit der Modellannahmen widerspiegeln: Ein «realistisches», ein «optimistisches» und ein «pessimistisches.» Das realistische Szenario enthält die aufgrund des heutigen Kenntnisstandes wahrscheinlichsten Annahmen. Das optimistische Szenario enthält vorwiegend Annahmen, die den minimalen JWDG senken, das pessimistische Szenario vorwiegend Annahmen, die ihn erhöhen. Aus dem Szenario mit den plausibelsten Annahmen leiteten wir Sollwerte für den JWDG ab. Dann verglichen wir diese Sollwerte mit Daten zum JWDG aus dem LFI2.

Der JWDG ist eine Flächengrösse. Daher ist auch unser Modell ein flächenbasiertes Modell. Wir gingen vom Normalwaldmodell aus, das zur Beschreibung von Altersklassenwä-

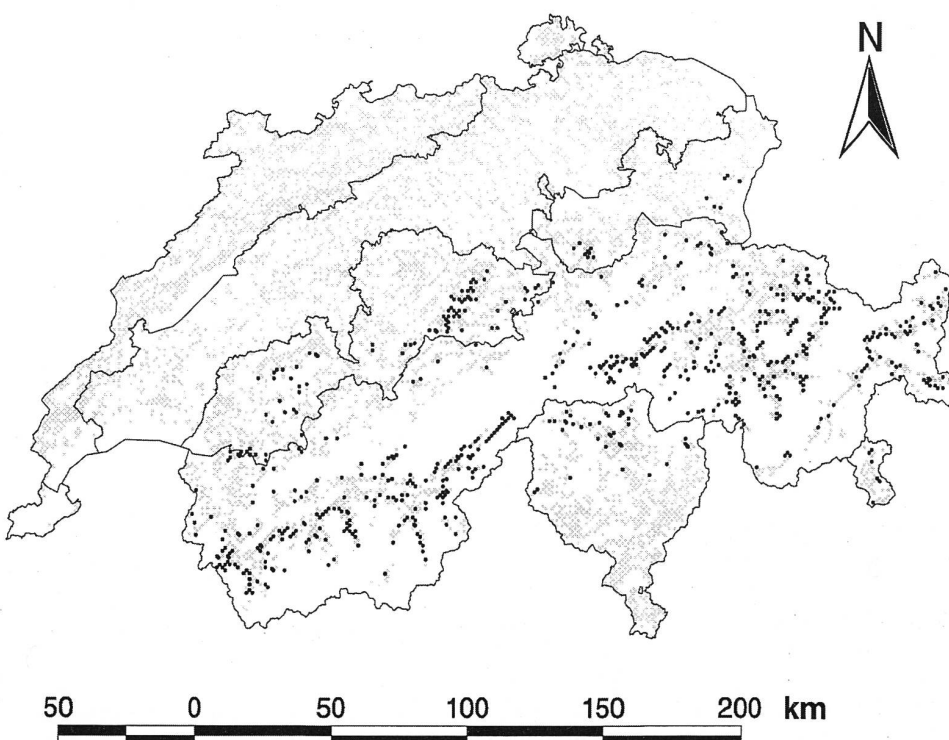


Abbildung 1: Probeflächen des zweiten Schweizerischen Landesforstinventars im Fichten-dominierten Gebirgswald (schwarze Punkte) und im übrigen zugänglichen Wald ohne Gebüschwald (graue Punkte).<sup>1</sup>

Figure 1: Sample plots in the 2nd National Forest Inventory in Norway spruce dominated mountain forests (black points) and in the remaining accessible forest without shrub forest (grey points).

<sup>1</sup> Als Fichten-dominierten Gebirgswald bezeichnen wir die Waldgesellschaften 53 bis 58 und 60 nach ELLENBERG & KLÖTZLI (1972), vorhergesagt nach einem Modell von KIENAST *et al.* (1994).

dem geeignet ist (ZÜRCHER 1965). Dieses Modell schien uns auch im Gebirgsplenterwald mit seinem Nebeneinander der Entwicklungsstufen (OTT *et al.* 1997: 32) genügend realitätsnah. Im Gleichgewichtszustand des Normalwaldmodells ist die Fläche jeder Altersklasse direkt proportional zu ihrer Durchwuchszeit. Im Normalwaldmodell ergibt sich die Fläche einer Altersklasse und damit auch des Jungwaldes aus der Flächenbedingung:

$$\frac{\text{Jungwaldfläche}}{\text{Gesamtwaldfläche}} = K_i \cdot \frac{\text{Durchwuchszeit}_{\text{Jungwaldphase}}}{\text{Maximales Bestandesalter}}, \text{ mit } K_i = \text{Korrekturfaktoren (1)}$$

Die Zielgrösse in der Flächenbedingung ist die Jungwaldfläche bzw. ihr Verhältnis zur Gesamtwaldfläche (der JWDG). Die Gesamtwaldfläche ist eine vorgegebene Grösse. Die Durchwuchszeit durch die Jungwaldphase, das maximale Bestandesalter eines schutzwirksamen Bestandes und die Korrekturfaktoren sind Einflussfaktoren, welche die nachhaltige Jungwaldfläche bestimmen. Es wurden drei Korrekturfaktoren eingeführt: Der Flächenanteil überschränkbarer Kleinstandorte, die Zunahme des Deckungsgrades der Verjüngungsansätze bis ins Baumholz und ein Sicherheitszuschlag für Mortalität während der Jungwaldphase.

### 3.2 Durchwuchszeit durch die Jungwaldphase

Um die Durchwuchszeit durch die Jungwaldphase nach LFI (von 10 cm Höhe bis 12 cm  $d_{1,3}$ ) zu bestimmen, analysierten wir die uns zugängliche Literatur zum Höhen- und Dickenwachstum von Fichtenverjüngung im Gebirgswald. So weit vorhanden wurden Höhen- und Dickenwachstums-Verläufe

(mehrere Werte von Alter vs. Höhe bzw.  $d_{1,3}$ ) berücksichtigt; meist waren aber nur einzelne Mittelwerte vorhanden. Angaben aus der unteren montanen Stufe (SOMMER 1962; KERN 1966; BURSCHEL *et al.* 1985; DUC 2000) und Fälle mit ungenügendem Wachstum (also auf Freiflächen, GRILC 1971) schlossen wir aus, letztere weil das Wachstum der Verjüngung in den kleinen Lücken im Gebirgs-Plenterwald gehemmt ist. Die Beziehung zwischen Höhe und Alter (Abbildung 2) bzw.

$d_{1,3}$  und Alter (Abbildung 3) war recht straff, wobei das berechnete  $r^2$  nicht als Bestimmtheitsmass betrachtet werden kann, weil wir die Streuung der Originaldaten vernachlässigt haben. Fichten er-

reichen eine Höhe von 10 cm durchschnittlich im Alter von rund 10 Jahren, eine Höhe von 5,0 m im Alter von 68 Jahren (Abbildung 2), und einen  $d_{1,3}$  von 12 cm im Alter von rund 100 Jahren (Abbildung 3). Damit ergab sich eine durchschnittliche Durchwuchszeit durch die Jungwaldphase von 100–10=90 Jahren. Für unser Modell nahmen wir Durchwuchszeiten von 70, 90 und 110 Jahren an.

### 3.3 Maximales Bestandesalter

Als maximales Bestandesalter eines schutzwirksamen Bestandes bezeichnen wir das Alter, welches drei Viertel der Bäume in einem Bestand erreichen können. Dieses Alter dürfte wesentlich unter den Maximalwerten von bis zu 600 Jahren liegen, die von einzelnen Fichten berichtet werden (Tabelle 1). Zudem ist zweifelhaft, ob anthropogen beeinflusste Bestände so alt werden wie Urwaldbestände; Fäulen, welche die Lebenserwartung vermindern dürften, sind in anthropogen beeinflussten Beständen häufig. Nach LFI-Daten war der Holz-

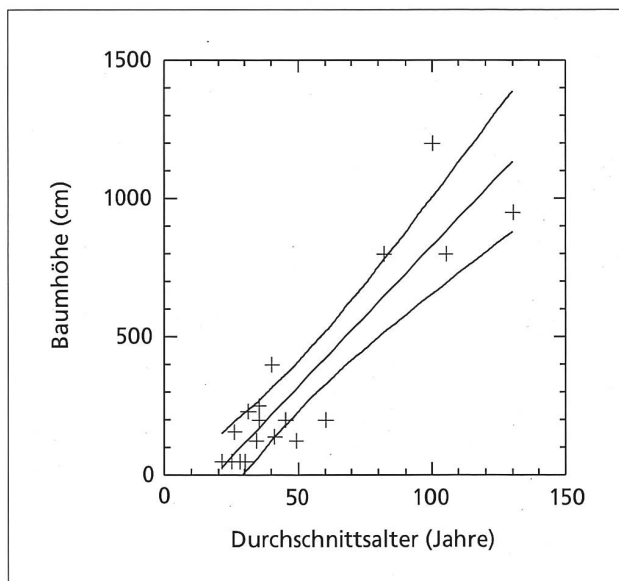


Abbildung 2: Höhen-Altersbeziehung bei in Lücken aufwachsenden Fichten in der Jungwaldphase in hochmontanen und subalpinen Gebirgswäldern. Eine lineare Regression war signifikant (Höhe =  $-189,5 + 10,2 \cdot \text{Alter}$ ,  $p=0,001$ ,  $r^2=0,82$ ,  $n=19$ ). Das Konfidenzintervall weist ein  $p=0,95$  auf.<sup>2</sup>

Figure 2: Height/age ratio of Norway spruce at young forest stage growing in gaps in upper montane and subalpine forests. Linear regression was significant (height =  $-189.5 + 10.2 \cdot \text{age}$ ,  $p=0.001$ ,  $r^2=0.82$ ,  $n=19$ ). The confidence interval shows  $p=0.95$ .

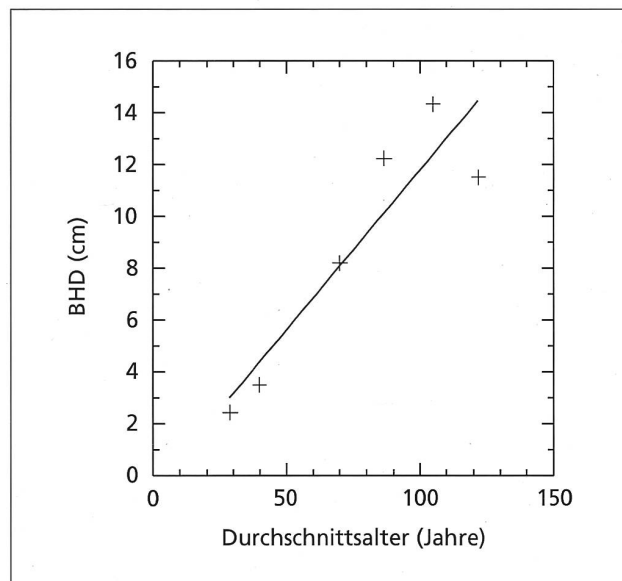


Abbildung 3: BHD-Altersbeziehung bei in Lücken aufwachsenden Fichten in der Jungwaldphase in hochmontanen und subalpinen Gebirgswäldern. Eine lineare Regression war signifikant (BHD =  $-0,18 + 0,12 \cdot \text{Alter}$ ,  $p=0,023$ ,  $r^2=0,70$ ,  $n=6$ ).<sup>3</sup>

Figure 3: DBH/age ratio of Norway spruce at young forest stage growing in gaps in upper montane and subalpine forests. Linear regression was significant (DBH =  $-0.18 + 0.12 \cdot \text{age}$ ,  $p=0.023$ ,  $r^2=0.70$ ,  $n=6$ ).

<sup>2</sup> Die Daten sind Mittelwerte aus folgenden zehn Quellen: KERN 1966 (drei Mittelwerte); GRILC 1971 (2); HILLGARTER 1971 (2); INDERMÜHLE 1978 (1); NÄSCHER 1979 (1); PIUSSI 1979 (1); FISCHER 1980 (2); LÜSCHER 1990 (4); CHERUBINI *et al.* 1996 (3); Motta (schriftliche Mitteilung 1999) (1). Die verwendeten Daten sind unter <http://www.wsl.ch/forest/waldman/gebirgsplenterwald.ehtml> abrufbar.

<sup>3</sup> Die Daten sind Mittelwerte aus folgenden vier Quellen: KERN 1966 (zwei Mittelwerte), LEIBUNDGUT 1976 (2); INDERMÜHLE 1978 (1); FISCHER 1980 (1). Die verwendeten Daten sind unter <http://www.wsl.ch/forest/waldman/gebirgsplenterwald.ehtml> abrufbar.

**Tabelle 1: Maximales Alter von Fichten und Fichtenbeständen.**

Table 1: Maximum age of Norway spruce individuals and stands.

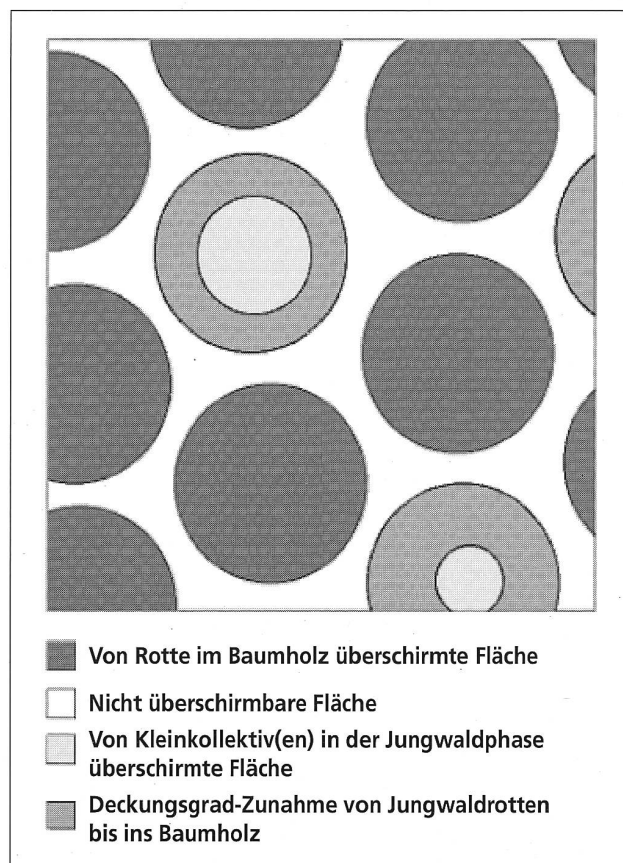
Waldtyp	Ort	Höhenlage	Alter (Jahre)	Anzahl Bäume	Quelle
Urwald	Bödmerenwald SZ	Subalpin	391	1	LEIBUNDGUT 1976
	Bödmerenwald SZ	Subalpin	121–240 (etwa 450)	117	GABRIEL 1998, GABRIEL <i>et al.</i> 2001
	Scatlé GR	Subalpin	300–650	unbekannt	HILLGARTER 1971
	Scatlé GR	Subalpin	etwa 350	2	GÖTZ 2000
	Neuwald (Österreich)	Montan	400 (bis 600)	unbekannt	MAYER <i>et al.</i> 1972
	Hohe Tatra (Slowakei)	Obermontan bis subalpin	350–400	unbekannt (Bestand)	KORPEL' 1995: 293
	Hohe Tatra (Slowakei)	Subalpin	300	unbekannt (Bestand)	TUROK 1991
	Diverse Orte	–	300–440	unbekannt (Extremwerte)	SCHMIDT-VOGT 1986: 81–83
Anthropogen beeinflusster Wald	Sedrun GR	Subalpin	260–300	5	BUCHLI 1997: 56
	Vals GR	Subalpin	200–259	unbekannt (Bestand)	INDERMÜHLE 1978
	Elm GL	Subalpin	220–250	unbekannt (Bestand)	SCHWEIZERISCHE GEBIRGSWALDPFLEGEGRUPPE 1991
	Rötiboden UR	Subalpin	300	unbekannt (Bestand)	BRAUN <i>et al.</i> 1996
	Werdenfeller Land (Deutschland)	Subalpin	500–600 (483 auf Brusthöhe)	2600	LÖW & METTIN 1977
	Niedere Tauern (Österreich)	Subalpin	206–242	12	EXNER 1987
	Juribello/Paneveggio (Italien)	Subalpin	153–374	27	PIUSSI 1976

körper im Fichten-dominierten Gebirgswald an  $11,2 \pm 0,9\%$  der Bäume freigelegt (U. Ulmer, WSL, schriftliche Mitteilung). Aufgrund der Daten in *Tabelle 1* nahmen wir für die drei Szenarien maximale Bestandesalter von 250, 300 und 350 Jahren an. Zum Vergleich: In der unteren subalpinen Stufe sind  $19,3 \pm 2,2\%$  der Bestände (34 400 von 225 600 ha) älter als 180 Jahre (BRASSEL & BRÄNDLI 1999: 129, Zusatzauswertung von LFI-Daten durch P. Duc), wobei das Alter meist nur geschätzt wurde.

### 3.4 Korrekturfaktor 1: Flächenanteil übershirmbarer Kleinstandorte

Nur ein Teil der Waldfläche ist von Fichten übershirmbar, nämlich verjüngungsgünstige Kleinstandorte und Flächen, die davon höchstens einen Kronenradius entfernt sind (*Abbildung 4*). Der Anteil verjüngungsgünstiger Kleinstandorte dürfte allerdings zeitlich stark schwanken; bei günstiger Witterung werden sonst ungünstige Kleinstandorte verjüngungsfreundlich, so bei einer Folge von schneearmen Jahrzehnten, während derer der Schneeschimmel (*Herpotrichia juniperi*) die Fichtenverjüngung nicht so stark schädigen kann wie sonst (IMBECK & OTT 1987; OTT *et al.* 1997: 37; FREHNER 2001).

Wie hoch der Flächenanteil übershirmbarer Kleinstandorte ist, lässt sich kaum aus der Literatur ableiten. BUCHLI (1997: 61) errechnet bei Rottenradien von 4,0 bis 5,5 m und Abständen zwischen den Rottenmänteln von 2,0 oder 3,0 m einen Anteil von permanent nicht übershirmten Flächen von 35 bis 52%. In subalpinen Fichtenbeständen bei Sedrun waren 50% der Fläche übershirmt (STROBEL 1997: 121), in den Niederen Tauern (Österreich) in der späten Optimalphase der Bestandesentwicklung ebenfalls durchschnittlich 50% (EXNER 1987). Dies sind Werte für die realisierte Übershirmung in Beständen mit kleinen Bestandeslücken; die mögliche Übershirmung liegt daher höher. In Waldgrenzennähe dürfte der Anteil übershirmbarer Kleinstandorte eher niedrig sein, in hochmontanen Fichtenwäldern dagegen nahe bei 100% liegen (OTT *et al.* 1997: 190); hier ist das Kleinstandortsmosaik nur schwach ausgeprägt. Für die drei Szenarien unseres Modells nahmen wir Anteile übershirmbarer Kleinstandorte von 65,



**Abbildung 4: Schematisches flächenbasiertes Modell des Gebirgspflenterwaldes: Ausschnitt aus einem Fichtenbestand.<sup>4</sup>**

Figure 4: Schematic area-based model of mountain selection forest: section of Norway spruce stand.

<sup>4</sup> Ein Teil der Bestandesfläche ist von Fichtenrotten der Baumholzphase übershirmt, ein Teil ist aus verjüngungsökologischen Gründen nicht übershirmbar, ein Teil wird von Verjüngungsansätzen übershirmt und ein Teil wird bei Wachstum dieser Verjüngungsansätze in Zukunft zusätzlich übershirmt.

75 und 85% an. Je niedriger der Flächenanteil überschirmbarer Kleinstandorte ist, desto niedriger ist der minimal nötige JWDG.

### 3.5 Korrekturfaktor 2:

#### Zunahme des Deckungsgrades der Verjüngungsansätze bis ins Baumholz

Der zweite Korrekturfaktor berücksichtigt, dass der Deckungsgrad von Verjüngungsansätzen von der Jungwaldphase bis ins Baumholz zunimmt (Abbildung 4). Die beschirmte Fläche nimmt also mit zunehmendem Baumalter zu. Diese Zunahme ist aber wegen fehlender Literaturangaben schwierig zu quantifizieren. Welche

Fläche beschirmt eine Rotte? STROBEL (1997: 68) findet bei Fichtenrotten der subalpinen Stufe Kronenprojektionsflächen von 50 bis 518 m<sup>2</sup>, mit einem Mittelwert von 89 m<sup>2</sup>. Die einseitige Kronenausladung der Fichte liegt im Gebirgswald bei Einzelbäumen bei 4,0 bis 4,5 m, bei Rotten von drei bis fünf Bäumen bei 2,5 bis 4,0 m (BUCHLI 1997: 62). Ähnliche Werte sind bei STROBEL (1997: 82) zu finden. Dies ergibt eine Kronenprojektionsfläche für einen ausgewachsenen Einzelbaum von 50 bis 65 m<sup>2</sup>, für eine Rotte mit drei bis fünf Bäumen eine solche von 60 bis 250 m<sup>2</sup>. In einem subalpinen Fichtenwald bei Sedrun bestanden 57% von 682 Verjüngungsansätzen (Naturverjüngung) aus eins bis fünf Bäumen, 43% aus mindestens sechs Bäumen (BUCHLI 1997). In einem anderen subalpinen Fichtenwald bei Sedrun bestanden 88% von 97 Verjüngungsansätzen (Naturverjüngung) aus eins bis fünf Bäumen, 12% aus mindestens sechs Bäumen (STROBEL 1997: 67). Die von einer einzelnen Fichte in der Jungwaldphase überschirmte Fläche variiert stark, von unter 0,01 m<sup>2</sup> (bei 10 cm Höhe) bis zu rund 7 m<sup>2</sup> (1,5 m Kronenradius, bei 12 cm d<sub>1,3</sub>) (SCHODTERER 2000). Aufgrund der vorhandenen Daten wurde der Korrekturfaktor mit folgenden Annahmen berechnet: (1) Ein Verjüngungsansatz besteht aus durchschnittlich sechs Fichten der Jungwaldphase mit einer Kronenprojektionsfläche von zusammen 2,0, 5,0 oder 10,0 m<sup>2</sup>; (2) die Kronenprojektionsfläche eines ausgewachsenen Fichten-Kollektivs (also nach der Jungwaldphase) beträgt durchschnittlich 90 m<sup>2</sup>; (3) Kollektive sind kreisförmig; (4) durchschnittlich wachsen fünf Verjüngungsansätze zu einem Kollektiv zusammen, mit einer Gesamtprojektionsfläche von 10 bis 50 m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich eine prozentuale Überschirmungszunahme der fünf angenommenen Verjüngungsansätze bis ins Baumholz um 80, 260 oder 800%, je nach Szenario (Zunahme um Faktor 1,8 bis 9,0). Je höher die Zunahme des Deckungsgrades der Verjüngungsansätze bis ins Baumholz, desto niedriger ist der minimal nötige JWDG.

### 3.6 Korrekturfaktor 3:

#### Mortalität während der Jungwaldphase

Der dritte Korrekturfaktor berücksichtigt, dass ein Teil der zu Beginn der Jungwaldphase vorhandenen Verjüngungsansätze während der Jungwaldphase ausfällt und somit die Baumholzphase nicht erreichen wird. Dabei ist die in der Regel sehr hohe Sämlingsmortalität während der ersten drei Jahre (BRANG 1998) nicht berücksichtigt, sondern nur spätere Mortalität in der Anwuchs- und Aufwuchsphase. Wir nennen diese Mortalität «Jungwald-Mortalität» und verstehen darunter eine durchschnittliche Mortalität für Verjüngungsansätze vom Anwuchs bis zum Aufwuchs. Für spätere Entwicklungsstadien (Stangenholz, schwaches Baumholz) wird eine Mortalität von Null angenommen. BUCHLI (1997) beurteilt auf drei Teilflächen in einem subalpinen Fichtenwald 17 bis 69% (Mittelwert von drei Flächen: 47%) von 682 Verjüngungsan-

sätzen als nicht entwicklungsfähig. Für unsere drei Szenarien nahmen wir Jungwald-Mortalitäten von 20, 35 und 50% an. Je höher die Jungwald-Mortalität ist, desto höher ist der minimal nötige JWDG.

### 3.7 Modellgleichung und Kombination der Modellannahmen zu Szenarien

Aus all den Annahmen ergibt sich die folgende konkrete Modellgleichung:

$$\frac{\text{Jungwaldfläche}}{\text{Gesamtwaldfläche}} = \frac{K_1}{100} \cdot \left(1 + \frac{K_2}{100}\right)^{-1} \cdot \left(1 - \frac{K_3}{100}\right)^{-1} \cdot \frac{\text{Durchwuchszeit}_{\text{Jungwaldphase}}}{\text{Maximales Bestandesalter}}, \quad (2)$$

mit K<sub>1</sub> = Flächenanteil überschirmbarer Kleinstandorte (%), K<sub>2</sub> = Deckungsgrad-Zunahme von Verjüngungsansätzen bis ins Baumholz (%), K<sub>3</sub> = Jungwald-Mortalität (%). Der JWDG entspricht dem Term auf der linken Seite von Gleichung 2.

Die Modellannahmen sind voneinander abhängig. Daher ist das Szenario «optimistisch» nicht einfach eine Kombination aller jeweils «günstigsten» (zum tiefsten JWDG führenden) Annahmen, und das Szenario «pessimistisch» eine Kombination aller «ungünstigsten». Die Amplitude der Modellannahmen spiegelt nämlich nicht nur ungenügende Kenntnis, sondern auch Standortsunterschiede. So dürfte in der subalpinen Stufe ein hohes maximales Bestandesalter (350 Jahre) auch mit langen Durchwuchszeiten durch die Jungwaldphase (110 Jahre) und einem niedrigen Flächenanteil überschirmbarer Kleinstandorte (60%) verbunden sein. Daher wurden die längsten Durchwuchszeiten durch die Jungwaldphase dem Szenario «optimistisch» zugeordnet und die kürzesten dem Szenario «pessimistisch».

## 4. Sollwertableitung

Werden die in Kapitel 3 hergeleiteten Modellannahmen in die Modellgleichung (2) eingesetzt, resultieren Sollwerte des JWDG von rund 3, 10 und 26% für die Szenarien «optimistisch», «realistisch» und «pessimistisch» (Tabelle 2). Der Ein-

**Tabelle 2:** Flächenbasiertes Modell des notwendigen Jungwald-Deckungsgrades (JWDG) im ideal aufgebauten Gebirgspflenterwald: Annahmen für die drei Szenarien, notwendiger JWDG und Einfluss der Amplitude der Annahmen auf den JWDG (Verhältnis vom grössten zum kleinstem Wert, nach Einsetzen in Formel 2).

Table 2: Area based model of necessary regeneration cover (JWDG) in an ideal mountain selection forest: assumptions for the 3 scenarios, necessary JWDG and influence on JWDG of the amplitude of the assumptions (ratio from highest to lowest value, after application to formula 2).

Parameter	Szenario			Einfluss auf den JWDG
	Optimistisch	Realistisch	Pessimistisch	
Maximales Bestandesalter (Jahre)	350	300	250	1,4
Durchwuchszeit der Fichten-Naturverjüngung durch die Jungwaldphase (10 cm Höhe bis 12 cm d <sub>1,3</sub> , Jahre)	110	90	70	1,6
Flächenanteil überschirmbarer Kleinstandorte (%)	65	75	85	1,3
Deckungsgrad-Zunahme von Verjüngungsansätzen bis ins Baumholz (%)	800	260	80	5,0
Jungwaldmortalität (%)	20	35	50	1,6
Notwendiger JWDG (%)	2,8	9,6	26,4	9,3

fluss der Modellannahmen auf den Sollwert ist unterschiedlich. Die Amplitude der Modellannahmen beeinflusst den Sollwert von vier Parametern um Faktoren von rund 1,3 bis 1,6 (Tabelle 2). Bei der Deckungsgrad-Zunahme von Verjüngungsansätzen bis ins Baumholz ist dieser Einfluss mit einem Faktor von 5,0 wesentlich höher.

Der Sollwert des JWDG kann anhand der Stichproben des LFI2 im plenterartigen Hochwald (10% der Fichten-dominierten Gebirgswälder) überprüft werden. 4% der 51 Stichproben wiesen hier einen JWDG von 0% auf, 28% von 1–9%, 37% von 10–25%, 27% von 26–50% und 4% von >50%. Der JWDG übertrifft also auf rund zwei Drittel der Stichproben den «realistischen» Sollwert, auf rund ein Drittel sogar den «pessimistischen». Der Sollwert dürfte somit zurückhaltend festgelegt sein. Legt man den «realistischen» Sollwert des JWDG zugrunde, dann weist allerdings rund ein Drittel der Stichproben zu wenig Verjüngung auf. Dies könnte damit zusammenhängen, dass nicht alle plenterartigen Hochwälder (nach Definition LFI) im Fichten-dominierten Gebirgswald wie Gebirgsplenterwälder strukturiert sind; es könnte auch eine Folge von Wildeinfluss sein.

## 5. Soll-Ist-Vergleich im Fichten-dominierten Gebirgswald

Ein einzelnes Baumholzkollektiv beschirmt nur eine Fläche von 0,005 bis 0,02 ha (im Durchschnitt 0,0089 ha, STROBEL 1997: 68), also 2 bis 8% einer Interpretationsfläche im LFI2 (0,25 ha). Auf jeder Interpretationsfläche sollten daher 12 bis 50 Kollektive vorkommen, wovon – bei genügend Verjüngung – einige Kollektive im Jungwaldstadium. In einem ideal aufgebauten Gebirgsplenterwald ist daher ein JWDG von 0% auf einer Interpretationsfläche von 50 m x 50 m unwahrscheinlich.

Der Soll-Ist-Vergleich für den gesamten Fichten-dominierten Gebirgswald (Tabelle 3) zeigt, dass  $54,6 \pm 3,7\%$  der Stichproben einen JWDG <10% aufweisen. Wird der in Kapitel 4 abgeleitete «realistische» Sollwert von 10% angenommen, so weisen also gut die Hälfte des Fichten-dominierten Gebirgswaldes zu wenig Verjüngung auf. Diese Aussage ist allerdings, aufgrund der Schätzfehler und der Unsicherheit bei der Festlegung der Modellparameter, unscharf; statt 55% Waldflächen mit zu wenig Verjüngung könnten es durchaus auch 30% oder 70% sein. Die Szenarien «optimistisch» und «pessimistisch», aus denen sich rund 20% bzw. 75% Stichproben mit ungenügendem JWDG ableiten lassen, scheinen hingegen wenig wahrscheinlich.

**Tabelle 3:** Jungwald-Deckungsgrad im Fichten-dominierten Gebirgswald der Schweiz (Daten aus dem LFI2, Auswertung P. Duc, WSL, 2002).<sup>5</sup>

Table 3: Regeneration cover in mountain forests in Switzerland with Norway spruce dominance (data from LFI2, evaluation P. Duc, WSL, 2002).

Deckungsgrad	Anteil in % ( $\pm$ Standardfehler)
<1%	12,1 $\pm$ 1,6
1–9%	42,6 $\pm$ 3,2
10–25%	22,4 $\pm$ 2,2
26–50%	13,7 $\pm$ 1,7
51–75%	6,1 $\pm$ 1,1
76–100%	3,2 $\pm$ 0,8
Alle	100,0 $\pm$ 5,4

<sup>5</sup> Dauernd aufgelöste Bestockungen, dauernd oder vorübergehend nicht bestockte Flächen sowie Nieder- und Mittelwälder sind nicht berücksichtigt.

## 6. Diskussion

Das vorgestellte Modell, mit dem sich Sollwerte der Verjüngung ableiten lassen, ist nicht stammzahl-, sondern flächenbasiert. Mit diesem Ansatz wird das Problem der grossen Streuung der Stammzahl der Verjüngung umgangen. Ob eine Verjüngung genügt, ist nicht in erster Linie eine Frage der Stammzahl, sondern vielmehr der räumlichen Verteilung von genügend vielen Bäumchen. Ein weiterer Vorteil dieser Betrachtungsweise ist die Möglichkeit, für grössere Aussageeinheiten (Regionen, grosse Kantone) die Verjüngung mit Daten aus dem LFI zu beurteilen. Die Kontrollaufnahmen des LFI haben allerdings gezeigt, dass das Merkmal nur knapp genügend reproduzierbar ist (SCHWYZER & HEROLD 2001). Es ist also zu prüfen, ob das Merkmal im LFI3 und auch bei kleinräumigen Inventuren zuverlässiger erhoben werden kann. Dies ist umso mehr wünschbar, als der JWDG gegenüber Verjüngungsstammzahlen zeitsparender zu erheben ist.

Das vorgestellte Modell lässt sich grundsätzlich in allen Wäldern anwenden, wo Bäume und Baumkollektive unterschiedlicher Grösse nebeneinander und nicht untereinander auftreten. Auch wenn ein solches «untereinander» vorübergehend ist, also Keimlinge und Sämlinge nur vorübergehend unter Schirm von älteren Bäumen wachsen, dann aber wieder absterben, bleibt das Modell anwendbar. Hingegen ist eine Anwendung des Modells in den schneereichsten Lagen der Voralpen, wo die Verjüngung eher unter Schirm auftritt (OTT *et al.* 1997: 51), fragwürdig, denn eine grundlegende Modellannahme ist verletzt. Daraus lässt sich allerdings nicht ableiten, dass die aus dem Modell abgeleiteten Sollwerte in den Voralpen unbrauchbar sind. Eine weitere Bedingung für die Anwendung des Modells ist selbstverständlich, dass verlässliche Daten zu den Modellparametern vorhanden sind. Das ist für den Fichten-dominierten Gebirgswald teilweise der Fall.

Während das Modell selbst einen Fortschritt darstellt, ist die Sollwertableitung problematisch, weil die Unsicherheiten bei Modellparametern gross sind. Es ist zwar hinreichend bekannt, wie alt Fichtenbestände in der hochmontanen und subalpinen Stufe werden können und wie rasch die Fichtenverjüngung in Bestandeslücken die Jungwaldphase durchwächst. Es ist auch möglich abzuschätzen, wie gross der Anteil überschirmbarer Kleinstandorte ist und wie hoch die Mortalität der Verjüngung während der Jungwaldphase ist. Sehr ungewiss ist aber, wie stark der Deckungsgrad von Verjüngungsansätzen vom Jungwald bis ins Baumholz zunimmt. Dies ist eine grosse Kenntnislücke. Ebenfalls ungewiss ist, wie gut der im LFI2 geschätzte JWDG dem wahren JWDG entspricht.

Um die Sollwerte einzuengen, haben wir die Anwendung separater Modellannahmen in der hochmontanen und subalpinen Stufe geprüft und aus folgendem Grund verworfen: Uns fehlen Daten, um die weit auseinander klaffenden pessimistischen und optimistischen Annahmen der Deckungsgrad-Zunahme von Verjüngungsansätzen bis ins Baumholz einer Höhenlage zuzuordnen. Gerade bei demjenigen Faktor, welcher die grösste Unsicherheit der Annahmen und damit der Modellaussagen verursacht (Tabelle 2), reduziert die Differenzierung zwischen hochmontaner und subalpiner Stufe diese Unsicherheit nicht. Die Unsicherheit der Sollwerte lässt sich also kaum reduzieren.

Wildeinflüsse auf die Verjüngung wie Verbiss und Fegen können bei der Sollwertableitung mit dem Modell auf zwei Arten eingebaut werden: Indem die Durchwuchszeit durch die Jungwaldphase verlängert (bzw. das Maximalalter noch schutzwirksamer Bestände verkürzt) wird und indem die Mortalität der Verjüngungsansätze erhöht wird. In beiden Fällen

erhöht sich der Sollwert des JWDG. Für Inventuren problematisch ist dabei, dass Wildeinflüsse nicht direkt ins Modell eingehen, sondern nur indirekt über veränderte Annahmen bei Modellparametern. Wie Verbiss mit diesen Parametern zusammenhängt, ist schwierig zu quantifizieren. Bei extremen Modellannahmen liefert das Modell übrigens unmögliche Werte; wird beispielsweise die Jungwaldmortalität im optimistischen Szenario auf 99% gesetzt, resultiert ein Sollwert des JWDG von 227%.

Die für den Fichten-dominierten Gebirgswald der Schweiz hergeleiteten Sollwerte des JWDG von 3 bis 26%, mit einem realistischen Wert von rund 10%, gelten für Bestände mit Gebirgsplenterstruktur. Plenterartige Hochwälder gemäss LFI sind aber heute wenig verbreitet; im Fichten-dominierten Gebirgswald nehmen sie nur 10% der Waldfläche ein. Die anderen 90% sind grossteils gleichförmige Baumholzbestände. Unter Schirm ist die Fichtenverjüngung im Fichten-dominierten Gebirgswald schwierig, mit Ausnahme von schneereichen Standorten in den nördlichen Randalpen (OTT *et al.* 1997: 51; BACHOFEN & BRANG 2001; HUNZIKER 1999). Der grosse Anteil gleichförmiger Bestände dürfte daher wesentlich dazu beitragen, dass der JWDG den Sollwert auf einem erheblichen Teil der Waldfläche unterschreitet.

Die ungünstigen Bestandesstrukturen haben auch Folgen für den Vergleich zwischen Sollwert und Istwert: Viele der heute ungünstig strukturierten Bestände, vor allem solche im Schutzwald, sollen in den nächsten Jahrzehnten in Gebirgsplenterwald überführt werden. Diese Überführung dauert in montanen Fichten-Tannen-Buchenwäldern mindestens 60 bis 80 Jahre (SCHÜTZ 1999), in hochmontanen und subalpinen Fichtenwäldern wohl eher 100 bis 150 Jahre. Wo das maximale Bestandesalter rascher erreicht wird als in 100 bis 150 Jahren, muss bei der Überführung die Verjüngung forciert werden; hier ist vorübergehend mehr Verjüngung notwendig als in einem Plenterwald im Strukturgleichgewicht. Sollwerte des JWDG, welche für einen Gebirgsplenterwald im Gleichgewicht gelten, sind also für viele Überführungsbestände zu tief. Somit dürfte der Anteil der Bestände mit zu tiefem JWDG grösser sein als oben festgestellt.

## 7. Schlussfolgerungen

Mit Hilfe eines statischen Gebirgsplenterwald-Modells haben wir für den Teil des Gebirgswaldes, wo die Fichte aus standörtlichen Gründen von Natur aus dominieren würde, Sollwerte des Jungwald-Deckungsgrades (JWDG) abgeleitet und mit Daten aus dem LFI2 verglichen. Der Vergleich zeigt: Je nach Modellannahmen fehlt es in rund 20 bis 75% des Fichten-dominierten Gebirgswaldes an Verjüngung. Mit Annahmen, die uns realistisch scheinen, haben wir berechnet, dass es auf rund der Hälfte der Waldfläche an Verjüngung mangelt. Die grosse Streubreite des Ergebnisses kommt daher, dass die Sollwerte unsicher sind; einige Annahmen im verwendeten Modell sind ungenügend durch Daten gestützt. Bei aller Unsicherheit ist aber klar, dass ein beträchtlicher Teil des Fichten-dominierten Gebirgswaldes heute zu wenig Verjüngung für seine langfristige Erhaltung aufweist. Dies gilt insbesondere auch deswegen, weil viele dieser Fichtenbestände derzeit in Gebirgs-Plenterwald überführt werden, wozu es vorübergehend mehr Verjüngung bedarf. Schwerwiegend ist der Verjüngungsmangel allerdings nur in Fichten-dominierten Gebirgswäldern mit direkter Schutzfunktion oder mit Produktionsfunktion; weniger folgenschwer ist er in Wäldern mit anderen Waldfunktionen.

Heute ist es nicht möglich, den Zustand der Verjüngung im Schweizer Gebirgswald aufgrund von lokalen, regionalen oder nationalen Inventurdaten zuverlässig und genügend

präzise zu beurteilen. Es fehlt an einheitlichen Variablen und Erhebungsmethoden, und es fehlt an plausibel abgeleiteten und von den direkt betroffenen Kreisen (Waldbewirtschaftern, Jägern) anerkannten Sollwerten für diese Variablen. Dies führt erstens dazu, dass Daten aus Inventuren auf unterschiedlichen räumlichen Skalen (z.B. Forstbetrieb – Kanton oder Kanton – Schweiz) nicht verglichen werden können, was ihren Wert erheblich vermindert. Es führt zweitens dazu, dass die Verjüngungssituation im Einzelfall je nach Interessenlage sehr unterschiedlich beurteilt wird.

Wie könnten die aufgezeigten Probleme angegangen werden? Wir schlagen vor, dies im Projekt «Nachhaltigkeit im Schutzwald», das von der Eidgenössischen Forstdirektion in Auftrag gegeben wurde, und bei der laufenden Vorbereitung des dritten Landesforstinventars (LFI3) zu tun. Dabei ist erstens sorgfältig zu prüfen, inwieweit vorhandene Inventurdaten (z.B. LFI1 und LFI2) und Beurteilungsansätze («Minimale Pflegemassnahmen», WASSER & FREHNER 1996) berücksichtigt werden können. Zweitens ist zu prüfen, inwieweit Modelle helfen können, geeignete Variablen und Sollwerte des Verjüngungszustandes abzuleiten. Das Merkmal «Jungwald-Deckungsgrad» verdient dabei besondere Aufmerksamkeit. Drittens dürften bei Teilfragen gezielte Fallstudien nötig sein, um Verjüngungs-Sollwerte auf verlässlichere Annahmen abstützen zu können.

## Zusammenfassung

Ohne genügende Verjüngung kann ein Schutzwald nicht dauerhaft wirksamen Schutz gegen Naturgefahren bieten. Heute fehlen aber zuverlässige Methoden, um abzuschätzen, ob die Verjüngung auf lokaler, regionaler oder nationaler Ebene genügt. Ziel dieser Studie war, eine Methode zu entwickeln, um den Verjüngungszustand in Fichten-dominierten Gebirgswäldern (7,6% der Waldfläche der Schweiz) mit Inventurdaten des schweizerischen Landesforstinventars grossräumig zu beurteilen. Mit Hilfe eines statischen Gebirgsplenterwald-Modells und von Daten aus der Literatur zum Wachstum der Fichtenverjüngung leiten wir Sollwerte des Jungwald-Deckungsgrades ab. Das Modell berücksichtigt die Durchwuchszeit durch die Jungwaldphase bis zum Brusthöhendurchmesser von 12 cm (70 bis 110 Jahre), das Maximalalter eines schutzwirksamen Bestandes (250 bis 350 Jahre), den Flächenanteil überschränkbarer Kleinstandorte (65 bis 85% der Bestandesfläche), die Zunahme des Deckungsgrades von Verjüngungsansätzen bis ins Baumholz (80 bis 800%) und die Mortalität der Verjüngung während der Jungwaldphase (20 bis 50%). Der abgeleitete Sollwert liegt bei 3 bis 26% Jungwald-Deckungsgrad, unter den am plausibelsten scheinenden Annahmen bei 10%. Die grosse Sollwertspanne spiegelt die Unsicherheit bei einigen Modellannahmen. Die Sollwerte werden dann auf Daten zum Jungwald-Deckungsgrad aus dem zweiten Landesforstinventar angewendet. Es zeigt sich, dass es je nach Modellannahmen in rund 20 bis 75% des Fichten-dominierten Gebirgswaldes in der Schweiz an Verjüngung mangelt, mit realistisch scheinenden Annahmen in 55%. Schwerwiegend ist der Verjüngungsmangel allerdings nur in Fichten-dominierten Gebirgswäldern mit direkter Schutzfunktion oder mit Produktionsfunktion. Bei der laufenden Vorbereitung des dritten Landesforstinventars ist nach Wegen zu suchen, um die Verjüngungssituation im Schweizer Wald sicherer zu beurteilen. Dazu dürften gezielte Fallstudien nötig sein.

## Résumé

### Le rajeunissement ne suffit pas dans les pessières des montagnes suisses: un nouveau type de modélisation le démontre

En l'absence d'un rajeunissement suffisant, une forêt protectrice ne peut remplir sa fonction de manière durable et efficace. Or, des méthodes fiables permettant d'estimer si le rajeunissement est suffisant aux échelles locale, régionale ou nationale font aujourd'hui défaut. Cette étude avait pour but de développer une méthode d'estimation à grande échelle de l'état de la régénération dans les forêts de montagne dominées par l'épicéa (7,6% de la surface forestière suisse), sous une forme permettant d'utiliser les données du deuxième inventaire forestier national suisse. À l'aide d'un modèle statique de forêt jardinée de montagne et de données bibliographiques sur la croissance juvénile de l'épicéa, nous déduisons le seuil minimal de recouvrement que doit assumer la jeune forêt. Le modèle prend en compte les paramètres suivants: le temps de passage depuis le stade de jeune forêt jusqu'au seuil d'inventaire, c'est-à-dire 12 cm de diamètre à hauteur de poitrine (70 à 110 ans), l'âge maximal d'un peuplement apte à assurer la fonction de protection (250 à 350 ans), la proportion de surface sur laquelle un recouvrement des microstations est biologiquement possible (65 à 85% de la surface du peuplement), l'augmentation du degré de recouvrement du rajeunissement jusqu'au stade de la futaie (80 à 800%) et la mortalité du rajeunissement durant le stade de jeune forêt (20 à 50%). Le seuil minimal de recouvrement ainsi obtenu se situe entre 3 et 26%, plus précisément aux alentours de 10% selon les hypothèses les plus plausibles. Cette grande variation reflète l'imprécision de quelques paramètres introduits dans le modèle. Après avoir comparé ces seuils minimaux avec les données du deuxième inventaire forestier national, nous avons constaté que 20 à 75% des pessières de montagne de Suisse manquent de rajeunissement. Ce taux varie en fonction des paramètres utilisés; il serait de 55% selon des hypothèses qui paraissent réalistes. Soulignons toutefois qu'un tel manque ne porte à conséquence que dans les pessières de montagne qui remplissent des fonctions de protection directe ou de production. Dans le cadre des travaux préliminaires du troisième inventaire forestier national, actuellement en cours, il importe de vérifier dans quelle mesure il est possible d'augmenter la précision de l'appréciation du rajeunissement, au besoin par des études de cas ciblées.

Traduction: MONIQUE DOUSSE

## Summary

### A new modelling approach suggests insufficient regeneration in Swiss Norway spruce mountain forests

Forests that should provide protection against natural hazards need sufficient tree regeneration if they are to offer continuous effective protection. However, to date there are no reliable methods available to estimate whether regeneration is sufficient on the local, regional and national levels. The goal of this study was to develop a method for a large-scale assessment of the regeneration in mountain forests with natural Norway spruce dominance (7.6% of the Swiss forest area), using data from the Swiss National Forest Inventory. We used a static model of a mountain selection forest and published data relating to growth of Norway spruce regeneration to derive be-values for regeneration cover. The following assumptions were made in the model: the time saplings need to reach a diameter at breast height of 12 cm, i.e., to develop beyond the stage of young stands, is 70–110 years; the maximum age of a stand able to offer effective protection is 250–

350 years; the proportion of those microsites where tree cover is possible is 65%–85% of the area of a stand; the increase in cover of saplings until the timber stage is 80%–800%; and sapling mortality during the stage of young stands is 20%–50%. The resulting be-values lie between 3% and 26% regeneration cover, with a value of 10% when the most plausible assumptions were made. The wide range reflects the fact that some of the assumptions in the model are uncertain. The be-values for regeneration cover were then applied to data of the Second National Forest Inventory. In 20% to 75% of the mountain forests in Switzerland with Norway spruce dominance the regeneration is insufficient (the most realistic assumptions give a proportion of 55%). However, this lack of regeneration is only cause for concern in those Norway spruce dominated mountain forests that should either offer effective protection or produce timber. During the preparatory work for the third National Forest Inventory there needs to be an evaluation, probably involving case studies, of possible approaches to assessing the state of regeneration of Swiss forests more precisely.

## Literatur

- BACHOFEN, H. & BRANG, P. (2001): Verjüngungserfolg nach Pflegeeingriff. Bündnerwald 54 (2): 20–22.
- BRANG, P. (1998): Early seedling establishment of *Picea abies* in small forest gaps in the Swiss Alps. Can. J. For. Res. 28 (4): 626–639.
- BRASSEL, P. & BRÄNDLI, U.-B. (Red.) (1999): Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft Buwal, Bern, Haupt, Bern u.a., 442 S.
- BRASSEL, P. & LISCHKE, H. (Eds.) (2001): Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment. Birmensdorf, Swiss Federal Research Institute WSL, 336 p.
- BRUN, S., FLÜCKIGER, W., LEONARDI, S., GRABER, W., JOSS, U., NATER, W., SIEGWOLF, R. (1996): Belastungen des Gebirgswaldes: Ansätze einer Risikobeurteilung. Umwelt-Materialien Wald/Luft 59, 237 S.
- BUCHLI, J. (1997): Beurteilung des minimal notwendigen Verjüngungsanteils in subalpinen Schutzwaldkomplexen anhand eines Fallbeispiels in Sedrun. Diplomarbeit, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich.
- BURSCHEL, P., EL KATEB, H., HUSS, J., MOSANDL, R. (1985): Die Verjüngung im Bergmischwald. Forstwiss. Cent.bl. 104 (2): 65–100.
- CHERUBINI, P., PIUSSI, P., SCHWEINGRUBER, F.H. (1996): Spatiotemporal growth dynamics and disturbances in a subalpine spruce forest in the Alps: a dendroecological reconstruction. Can. J. For. Res. 26 (6): 991–1001.
- Duc, P. (2000): Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in den Plenterwäldern des Val de Travers. Diss. Nr. 13584, ETH Zürich, 224 S.
- Duc, P. (2001): Sustainable Forest Regeneration. In: BRASSEL, P. & LISCHKE, H. (Eds.): 207–224.
- Duc, P. & KULL, P. (2001): Vergleich erhobener und modellierter Waldgesellschaften der Schweiz. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, unveröffentlicht.
- ELLENBERG, H. & KLÖTZLI, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes. 48: 587–930.
- EXNER, R. (1987): Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen: Strukturanalysen im subalpinen Fichtenwald (Niedere Tauern, Radstadt, Salzburg). FBVA Berichte (Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien) 18, 102 S.
- FISCHER, F. (1980): Verjüngungszustand und Jungwaldaufbau im Gebirgswald – einige Beispiele aus dem Lötschental. Beiheft Z. Schweiz. Forstver. 67, 57 S.
- FREHNER, M. (2001): Entwicklung von Fichtenverjüngung im Lehrwald Sedrun der ETH Zürich (nördliche Zwischenalpen). Schweiz. Z. Forstwes. 152 (1): 12–24.
- GABRIEL, J. (1998): Analyse der Altersstruktur im Waldreservat Bödmeren. Oberrickenbach, Ergänzungsprojekt zur Diplomarbeit 1994/95, unveröffentlicht.

- GABRIEL, J., BRÄKER, O.U., MATTER, J.-F. (2001): Altersstruktur und Wachstum anhand geworfener Bäume auf einer Windwurffläche im Waldreservat Bödmeren. *Schweiz. Z. Forstwes.* 152 (2): 61–70.
- GÖTZ, M. (2000): Baumalterszusammensetzung und Absterbeprozesse in einer ausgewählten Teilfläche des Waldreservats Scatlé/Brigels. Diplomarbeit, Professur für Waldbau, ETH Zürich.
- GRILC, J.F. (1971): Waldbauliche Untersuchungen in Fichten-Dickungen an der Nordabdachung der Schweizer Alpen. *Beih. Z. Schweiz. Forstver.* 49, 94 S.
- HILLGARTER, F.W. (1971): Waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen im subalpinen Fichtenurwald Scatlé/Brigels. *Diss. Nr. 4619*, ETH Zürich, 80 S.
- HUNZIKER, U. (1999): Zusammenhänge zwischen Kleinstandort und Nadelholzsammung in einem *Abieti-Piceetum* bei Chironico TI. Diplomarbeit, Professur für Waldbau, ETH Zürich, 61 S.
- IMBECK, H. & OTT, E. (1987): Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. *Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch.* 42, 202 S.
- INDERMÜHLE, M.P. (1978): Struktur-, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe (*Sphagno-Piceetum calamagrostietosum villosae*). *Beih. Z. Schweiz. Forstver.* 60, 98 S.
- KAUFMANN, E. & SCHWYZER, A. (2001). Control Survey of the Terrestrial Inventory. In: Brassel, P. & Lischke, H. (Eds.): 114–124.
- KERN, K.G. (1966): Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. *Schriftenreihe der Forstlichen Abteilung der Universität Freiburg*, 5.
- KIENAST, F., BRZEZIECKI, B., WILDI, O. (1994): Computergestützte Simulation der räumlichen Verteilung naturnaher Waldgesellschaften in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 145 (4): 293–309.
- KIENAST, F., FRITSCHI, J., BISSEGER, M., ABDERHALDEN, W. (1999): Modeling successional patterns of high-elevation forests under changing herbivore pressure – responses at the landscape level. *For. Ecol. Manag.* 120 (1-3): 35–46.
- KORPEL', S. (1995): Die Urwälder der Westkarpaten. *Gustav Fischer, Stuttgart u.a.*, 310 S.
- LEIBUNDGUT, H. (1976): Ergebnisse von Alters- und Wachstumsanalysen in einem Gebirgs-Fichtenwald. *Beiheft Z. Schweiz. Forstver.* 57: 74–86.
- LÖW, H. & METTIN, C. (1977): Der Hochlagenwald im Werdenfelser Land. *Forstwiss. Cent.bl.* 96: 108–120.
- LÜSCHER, F. (1990): Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. *Diss.*, ETH Zürich, 138 S.
- MAYER, H. (1967): Zur Behandlung überalterter Gebirgswälder. *Schweiz. Z. Forstwes.* 118 (6): 335–372.
- MAYER, H., SCHENKER, S., ZUKRIGL, K. (1972): Der Urwaldrest Neuwald beim Lahnsattel. *Cent.bl. gesamte Forstwes.* 89 (3): 147–190.
- NÄSCHER, F.A. (1979): Zur waldbaulichen Bedeutung des Rothirschverbisses in der Waldgesellschaft des subalpinen Fichtenwaldes in der Umgebung des Schweizerischen Nationalparks. *Beiheft Z. Schweiz. Forstver.* 63, 120 S.
- OTT, E., FREHNER, M., FREY, H.-U., LÜSCHER, P. (1997): Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. *Verlag Paul Haupt, Bern u.a.*, 287 S.
- PIUSSI, P. (1976): Observations sur l'âge et la croissance en diamètre de certains épicéas de haute montagne. *Beih. Z. Schweiz. Forstver.* 57: 66–73.
- PIUSSI, P. (1979). Nuovi studi sulla rinnovazione delle peccete nella valle di Fiemme. *Memorie del museo Tridentino di Scienze naturali* 23: 113-169.
- REIMOSER, F. (1991): Richtlinien für das Wildschadenkontrollsystem im Bundesland Vorarlberg. 2. Teil: Auswertungs- und Beurteilungskriterien, Verjüngungsziele (Sollwerte) und Toleranzgrenzen für das Vergleichsverfahren im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung, Bregenz.
- REIMOSER, F. & REIMOSER, S. (1997): Wildschaden und Wildnutzen – zur objektiven Beurteilung des Einflusses von Schalenwild auf die Waldvegetation. *Z. Jagdwiss.* 43 (3): 186–196.
- RÜEGG, D. (1999): Erhebungen über die Verjüngung in Gebirgswäldern und den Einfluss von freilebenden Paarhufern als Grundlage für die forstliche und jagdliche Planung. *Beih. Schweiz. Z. Forstwes.* 88, 207 S.
- SCHMIDT-VOGT, H. (1986): Die Fichte, Band 2. *Paul Parey, Hamburg, Berlin*.
- SCHODTERER, H. (2000): Grundlagen für die Beurteilung der Wildschäden an der Verjüngung im österreichischen Wald im Rahmen der Österreichischen Waldinventur. *Diss. Universität für Bodenkultur, Wien*.
- SCHÜTZ, J.-P. (1999): Praktische Bedeutung der Überführung für die Umsetzung der Plenteridee. *Forst Holz* 54: 104–108.
- SCHWEIZERISCHE GEBIRGSWALDPFLEGEGRUPPE (1991): Dokumentation der 8. Arbeitstagung der Gruppe Gebirgswaldpflege. *Unter Mitwirkung des Sanasilva-Teilprogramms Nr. 11. 2.–4. September, Elm (GL)*, 84 S.
- SCHWYZER, A. & HEROLD, A. (2001). Evaluation der LF12-Merkmale aus der terrestrischen Erhebung und der Umfrage: Genauigkeit, Reproduzierbarkeit, Brauchbarkeit. *Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf*, unveröffentlicht.
- SOMMER, H.G. (1962): Alter und Baumhöhen in Plenterbeständen. *Forstwiss. Cent.bl.* 81 (1/2): 11–17.
- STROBEL, G.W. (1997): Rottenstruktur und Konkurrenz im subalpinen Fichtenwald: eine modellhafte Betrachtung. *Beih. Schweiz. Z. Forstwes.* 81: 203 S.
- TUROK, J. (1991): Vytvojenie a regeneracia prirodnych lesov jarabinovych smrecin (*Sorbeto-Piceetum*) [Die Entwicklung, Struktur und Regeneration von Naturwäldern in Vogelbeer-Fichtenbeständen (*Sorbeto-Piceetum*)]. *Zbornik prac o tatranskom narodnom parku* 31: 119–159.
- WASSER, B. & FREHNER, M. (1996): Wegleitung Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. *Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Buwal), Bern, Vollzug Umwelt, Flankierende Massnahmen (FLAM) des Walderhebungsprogramms (WEP) 1992–1995, Modul Minimalpflege/Erfolgskontrolle*.
- ZINGGELER, J., SCHWYZER, A., DUC, P. (1999): Waldverjüngung. In: Brassel, P. & Brändli (Red.): 152–183.
- ZÜRCHER, U. (1965): Die Idee der Nachhaltigkeit unter spezieller Berücksichtigung der Gesichtspunkte der Forsteinrichtung. *Mitt. Eidgenöss. Anst. forstl. Vers.wes.* 41: 87–218.

Das Modell des JWDG und die Daten zum Wachstum der Fichtenverjüngung können über <http://www.wsl.ch/forest/waldman/gebirgsplenterwald.ehtml> in Form von Excel-Tabellen heruntergeladen werden.

#### Dank

Wir danken Ulrich Ulmer, WSL, für Spezialauswertungen im Zusammenhang mit diesem Aufsatz, Josef Spörk und einem anonymen Reviewer für Verbesserungsvorschläge zu einer früheren Version dieses Aufsatzes und Silvia Dingwall für die Verbesserung der englischen Übersetzungen. Renzo Motta hat uns freundlicherweise Daten zum Höhenwachstum der Fichte zur Verfügung gestellt.

#### Autoren

Dr. PETER BRANG und Dr. PHILIPPE DUC, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf. E-Mail: [brang@wsl.ch](mailto:brang@wsl.ch) und [duc@wsl.ch](mailto:duc@wsl.ch).