

DISS. ETH NO. 15228

**SUCCESSION IN A PROTECTION FOREST AFTER  
*PICEA ABIES* DIE-BACK**

**A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH**

for the degree of  
Doctor of Natural Sciences

presented by

**ANDREA DORIS KUPFERSCHMID ALBISETTI**

Dipl. phil. nat., University of Bern

born 5. 11. 1973

citizen of Sumiswald BE and Meride TI

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. H. Bugmann, examiner

Dr. W. Schönenberger, co-examiner

Dr. P. Brang, co-examiner

2003

## Abstract

The storm 'Vivian' in February 1990 struck large parts of Western Europe and downed  $4.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  of timber in Switzerland. The resulting breeding material triggered bark beetle (*Ips typographus* L.) infestations, which caused the die-back of many Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands, including protection forests on steep slopes. Little was known about the development of the resulting snag stands in the Swiss Alps. Particularly, it was unknown how snag decay, ground vegetation and the tree regeneration would develop. The main questions of this PhD thesis were therefore:

- How long do snags, stumps and logs provide effective protection against natural hazards such as rockfall and snow avalanches?
- How fast will *Picea abies* saplings and the regeneration of other tree species develop in a snag stand and build a new protection forest?

A combination of field studies and dynamic modelling was used to answer these questions. The Gandberg forest in the Swiss Alps, where *Picea* trees had been killed by bark beetles on an area of ca. 30 ha, was selected as a case study. These steep snag stands are a potential area of rockfall and snow avalanche release, but they are not classified as a forest with direct protection function because no village or other human infrastructure is located downslope. The field surveys were used to describe short-term succession, and with a new mathematical model the long-term development of the snag stands on the Gandberg was projected. Particular emphasis was placed on modelling the density and height of tree regeneration.

Since 1994, the ground-vegetation and tree-regeneration development had been studied annually on 24 permanent plots (1 m x 1 m). In 2000, microsite types were quantified along 4 strip transects (5 m x 100-160 m) on the montane (1200-1450 m a.s.l.) and subalpine (1450-1600 m. a.s.l.) levels of the Gandberg forest, and snag decay was studied using full-callipering within these strip transects. In addition, the height of lying logs above ground level was studied in 2001 using the line intersect method along 128 lines that had a length of 10 m.

None of the dead trees had been uprooted, but 75% were broken in 2000. On average, logs were at a distance of 85 cm above the soil surface in 2001. The orientation of the logs could be explained with the prevailing wind direction even on this steep slope. These results and a comparison with windthrow areas suggest that unharvested *Picea abies* snag stands on such steep slopes provide effective protection against rockfall and avalanche release for about 30 years.

The ground vegetation of the *Galio-Abieti-Piceetum* association on the montane level changed into a *Rubus idaeus* brushwood during the first years after *Picea* die-back. In contrast, ferns, *Calamagrostis villosa* and *Polytrichum formosum* still dominated the former *Homogyno-Piceetum vaccinietosum myrtilli* association at the subalpine level.

No advance tree regeneration was present after tree death. Three *Picea abies* seedlings m<sup>-2</sup> germinated in 1994, originating from natural regeneration. However, their mortality amounted to about 25% each year, regardless of their age (1-7 years), probably because of the increasing impact of competing ground vegetation. In 2001, *Acer pseudoplatanus* saplings were almost as numerous as *Picea* (0.58 m<sup>-2</sup>), but *Betula pendula* (0.29 m<sup>-2</sup>), *Sorbus aucuparia* (0.16 m<sup>-2</sup>) and *Salix caprea* (0.04 m<sup>-2</sup>) were rare. Tree saplings were still very small in 2001 (ca. 15 cm tall), except some infrequent birch trees (ca. 2 m).

A new simulation model 'RegSnag' was developed. It simulates the establishment of 4 tree species (*Picea abies*, *Betula pendula*, *Acer pseudoplatanus* and *Sorbus aucuparia*) with 8 height classes (<10 cm, 10.1-20, 20.1-40, 40.1-70, 70.1-130, 130.1-250, 250.1-500, >500 cm) on 26 microsite types (e.g. moss on boulders, coarse woody debris, *Rubus* brushwood). As these microsite types change over time, snag decay and ground-vegetation development were modelled using a modified matrix model approach. Model parameters were estimated based on data from the field surveys and from the literature. For model validation, microsite types were quantified in 2001 using the line-intercept method along the 128 10-m long lines on both elevational levels, and tree regeneration was counted in 2-m wide strip transects around these lines.

Simulation runs showed that on both the montane and the subalpine level the microsite frequencies and the amount and height of tree saplings during the first eight years after tree die-back were simulated accurately, starting from the conditions in the stands before the bark beetle attack. Model predictions of the frequency and height of tree regeneration were closest to those observed in the field when the rates of germination, height growth and mortality were estimated separately for each microsite type. Moreover, the density and height of trees strongly depended on seed availability and browsing intensities.

According to the model simulations, *Picea* and not *Betula*, *Sorbus* or *Acer* trees will replace the current vegetation in these snag stands. Furthermore, only about 330 *Picea* saplings ha<sup>-1</sup> out of those that germinated in 1994 and 1996 will probably reach the height of 5 m about 35 years after *Picea* die-back on the montane level of the Gandberg. This is due to the high browsing pressure. On the subalpine level, in contrast, about 930 *Picea* saplings ha<sup>-1</sup> will reach the height of 5 m after 30 years, which is likely to be sufficient for providing effective protection against snow avalanches and probably also against rockfall. The simulations on the development of the trees together with the investigations on snag decay and the height of logs suggest that the protective effect will first be maintained by the snags, stumps and logs, then by both the dead wood and the new *Picea* regeneration, and finally by the new *Picea* trees. Thus I conclude that leaving a snag stand uncleared on a steep slope will maintain effective protection for several decades, provided that the browsing pressure is not too high. Therefore this strategy is a valid management option.

## Zusammenfassung

Der Sturm 'Vivian' vom Februar 1990 traf weite Teile von Westeuropa und warf rund 4.9 Mio. m<sup>3</sup> Holz im Schweizer Wald. Das viele liegen gebliebene Holz bot gutes Brutmaterial für den Buchdrucker (*Ips typographus*) und führte zu einer Buchdrucker-Massenvermehrung in Fichtenwäldern (*Picea abies* (L.) Karst.). Man wusste aber nur wenig über die Entwicklung des Baumzerfalls, der Bodenvegetation und der Baumverjüngung in Totholzbeständen. Es stellten sich deshalb die folgenden zwei Fragen:

- Wie lange können stehende tote Bäume, Strünke und Baumstämme vor Naturgefahren wie Waldlawinen und Steinschlägen schützen?
- Wie entwickelt sich die Baumverjüngung in solchen Totholzbeständen, und wie lange dauert es, bis ein schutzwirksamer Wald herangewachsen ist?

Für die Beantwortung dieser Fragen wurden Felduntersuchungen und dynamische Modellierung genutzt. Als Studienobjekt wurden die Totholzbestände im Gandbergwald, Kanton Glarus, gewählt (ca. 30 ha). Dieser steile Gebirgshang ist ein potenzielles Anrissgebiet von Steinschlägen und Waldlawinen. Er hat jedoch keine direkte Schutzfunktion, da keine Dörfer oder andere Infrastrukturanlagen unterhalb des Waldes liegen. Anhand von Felderhebungen wurde die Entwicklung der Totholzbestände in den ersten 8 Jahren nach dem Absterben der Fichten untersucht, und mit einem neu entwickelten Modell wurde die zukünftige Bestandesentwicklung simuliert.

Seit 1994 war die Deckung der Vegetation und die Dichte der natürlichen Baumverjüngung jährlich in 24 1 m x 1 m grossen Dauerflächen aufgenommen worden. Zusätzlich wurde im Jahre 2000 entlang von 4 horizontalen Streifentransekten (5 m breit und 100-160 m lang) in der montanen (1200-1450 m ü.M.) und subalpinen (1450-1600 m ü.M.) Höhenstufe die Häufigkeit von Kleinstandortstypen geschätzt. Mittels Vollkluppierung wurden die stehenden toten Bäume, die Strünke und das liegende Holz ebenfalls in diesen Streifentransekten vermessen. Die Distanz der liegenden Baumstämme zum Boden wurde im Jahre 2001 an Schnittpunkten mit 128 Linien von je 10 m Länge gemessen.

Im Sommer 2000 waren 75% der toten Bäume gebrochen, aber keine waren entwurzelt worden. Die Baumstämme befanden sich durchschnittlich 85 cm über dem Boden und waren ineinander verkeilt. Die Fallrichtung der toten Bäume konnte auch an diesem steilen Hang mit den vorherrschenden Windrichtungen erklärt werden. Aufgrund dieser Resultate und einem Vergleich mit Windwurfflächen ergab sich, dass die liegenden Stämme und Strünke während ca. 30 Jahren vor Naturgefahren schützen dürften.

In der montanen Höhenstufe entwickelte sich die Bodenvegetation des Labkraut-Tannen-Fichtenwaldes in den ersten Jahren nach dem Absterben der Fichten zu einem üppigen Himbeergestrüpp. In der subalpinen Höhenstufe dominierten hingegen weiterhin Farne, *Calamagrostis villosa* und *Polytrichum formosum* die Bodenvegetation der Assoziation Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere.

In den Beständen war keine Vorverjüngung vorhanden. Rund 3 Fichten m<sup>-2</sup> keimten im Jahre 1994. Die jährliche Mortalitätsrate dieser natürlichen Fichtensämlinge und des Anwuchses lag konstant bei ungefähr 25%, wahrscheinlich infolge der zunehmenden

Konkurrenz durch Bodenvegetation. Im Jahr 2001 war fast gleich viel Verjüngung von *Acer pseudoplatanus* ( $0.58 \text{ m}^{-2}$ ) vorhanden wie Fichten, dagegen waren *Betula pendula* ( $0.29 \text{ m}^{-2}$ ), *Sorbus aucuparia* ( $0.16 \text{ m}^{-2}$ ) und *Salix caprea* ( $0.04 \text{ m}^{-2}$ ) selten. Die Baumverjüngung war noch sehr klein (ca. 15 cm hoch), mit Ausnahme einiger Birken (ca. 2 m).

Ein neues Modell der Wiederbewaldung von Totholzbeständen („RegSnag“) wurde entwickelt. Das Modell simuliert die jährliche Dichte und die Höhe der 4 Baumarten Fichte, Birke, Vogelbeere und Bergahorn mit Hilfe von 8 Höhenklassen (<10 cm, 10.1-20, 20.1-40, 40.1-70, 70.1-130, 130.1-250, 250.1-500, >500 cm) verteilt auf 26 Kleinstandortstypen (z.B. Himbeergestrüpp, Moderholz, mit Moosen bewachsener Blockschutt). Da sich im Laufe der Sukzession die Häufigkeit der Kleinstandortstypen ändert, umfasst das Modell nicht nur die Baumverjüngung, sondern auch die Zerfallsdynamik und die Vegetationsentwicklung (modifiziertes Matrizen-Modell). Die Modellparameter wurden mit Hilfe der Resultate aus den Felderhebungen sowie anhand von Werten aus der Literatur geschätzt. Für die Modellvalidierung wurde die Häufigkeit der Kleinstandorte im Jahre 2001 entlang der 128 Linien aufgenommen („Linien-Abschnitt-Methode“), und die Baumverjüngung wurde in 2 m breiten Streifentransekten um diese Linien herum gezählt.

Ausgehend vom Bestand vor dem Buchdruckerbefall konnte mit Hilfe des Modells die Häufigkeit der Kleinstandortstypen, sowie die Dichte und Höhe der Baumverjüngung während den ersten 8 Jahren nach dem Absterben der Fichten, gut simuliert werden. Die im Feld beobachteten Verjüngungsdichten und gemessenen Höhen wurden bei den Simulationen dann am genauesten abgebildet, wenn Keimungs-, Wachstums- und Mortalitätsraten im Modell kleinstandortspezifisch geschätzt waren. Die Verfügbarkeit von Samen und der Wildverbiss beeinflussten Dichte und Höhe der Baumverjüngung stark.

Langzeitsimulationen ergaben, dass Fichten die heutige Vegetation ablösen werden und nicht Birken, Vogelbeeren oder Bergahorne. Von den Fichten, die im Jahre 1994 und 1996 gekeimt waren, erreichen laut Modellberechnungen in der montanen Höhenstufe nur ca. 330 Stück  $\text{ha}^{-1}$  nach rund 35 Jahren eine Höhe von 5 m. Dies ist bedingt durch den sehr hohen Wildverbiss. In der subalpinen Stufe erreichen dagegen ca. 930 Fichten  $\text{ha}^{-1}$  nach 30 Jahren eine Höhe von 5 m. Diese Dichte dürfte für einen effizienten Schutz vor Lawinenanrissen und eventuell auch vor Steinschlag genügen. Die Simulationsergebnisse deuten zusammen mit den Resultaten des Totholzerfalls darauf hin, dass die Schutzwirkung des Gandbergwaldes zuerst durch die Strünke und liegenden Stämme gewährleistet wird, danach durch das Totholz und die aufkommenden Fichten und später nur noch durch die neuen Fichten. Die Studie zeigt, dass ungeräumte Totholzbestände in steilen Gebirgslagen über mehrere Jahrzehnte vor Naturgefahren schützen können, sofern der Wildverbiss nicht zu hoch ist. Das Belassen von Totholzbeständen ist deshalb eine prüfungswerte Management-Option.