

## **Zwischen subalpinem Wald und alpiner Tundra. Eine Studie zu Struktur und Dynamik der Fichten-Waldgrenze auf der Saualpe (Kärnten)**

Andreas Stützer

*Zusammenfassung:* Eine Untersuchung von zwei Transekten im Waldgrenzökoton der Saualpe zwischen der aktuellen Höhengrenze des geschlossenen Waldes in rund 1830 m Höhe und den höchsten Einzelvorkommen der waldbildenden Arten Fichte (*Picea abies*) und Lärche (*Larix decidua*) in 1940 m Höhe zeigt, dass seit rund 60 Jahren eine Verdichtung der Baumbestände oberhalb der Waldgrenze stattfindet. Dies ist zum einen durch die Klimagunst der letzten Jahrzehnte, zum anderen durch den Rückgang der Hochlagen-Bewirtschaftung bedingt. Die Verdichtung zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Intensität der aktuellen Nutzung: Sie ist auf dem ersten, seit 40 Jahren nicht mehr beweideten Transekt dreimal so hoch ist wie auf der zweiten, heute noch während der Sommermonate beweideten Fläche.

Eine höhenwärtige Verschiebung der Waldgrenze ist trotz dieser Entwicklung nur bedingt zu erwarten. Die Untersuchung ergab, dass die potentielle Waldgrenze bei etwa 1880 m liegt, da die Bäume bis in diese Höhe einen hochstämmigen Wuchs und eine gute Zapfenbildung aufweisen. Zwischen 1880 und 1910 m behaupten sich die Bäume dagegen vor allem durch vegetative Vermehrung. In dieser Höhe sind die klimatischen Verhältnisse bereits so ungünstig, dass die Bäume erheblich durch Frosttrocknis und Eisgebläse geschädigt werden. Ab 1910 m gibt es fast nur noch kleinwüchsige Einzelbäume, die meist im Alter von 20–40 Jahren letalen Schädigungen erliegen, wenn ihre Wuchshöhe die winterliche Schneedecke übersteigt. Die vertikale Ausdehnung des Waldgrenzökotons auf der Saualpe wird daher bei weiterhin ungestörter Entwicklung von jetzt 110 Höhenmeter auf 60 Höhenmeter schrumpfen. Also bleibt der Übergang von der Waldstufe zur alpinen Tundra auch weiterhin ein Ökoton, der sich zugleich durch eine ihm eigene Struktur und Dynamik als eigenständige Raumeinheit vom subalpinen Wald abgrenzen lässt. Er ist gekennzeichnet durch eine offene Bestandstruktur, Lagestabilität, überwiegend allochthonen Sameneintrag, vegetative Vermehrung und/oder dem Absterben der Bäume vor der Geschlechtsreife.

*Summary:* An investigation of two transects on Saualpe, located in the forest-tundra ecotone between the current border of the closed subalpine forest at approximately 1830 m above sea level and the uppermost, dwarf-like individuals of the forest-forming trees spruce (*Picea abies*) and larch (*Larix decidua*) at 1940 m a.s.l. shows a gradual increase of trees above the current forest line during the last 60 years. This is on the one hand due to the favourable climatic conditions of the last decades, on the other hand to the decrease of the maintenance of the alpine pasture grounds. The rising number of trees depends on the actual use of the alps. The increase on the first transect which has not been used for pasture during the last 40 years, is three times as high as on the second one which is still used for grazing during the summer months.

Despite the increasing number of trees, an upward shift of the forest line can only be expected to a smaller extent. The potential forest line is approximately located at 1880 m a.s.l., since up to this altitude the trees have predominantly tall growth forms and a reasonable cone production. Between 1880 and 1910 m a.s.l. the trees preserve mainly by vegetative regeneration. At this altitude, climatic conditions are already unfavourable for tree growth, and the trees show substantial damages by frost drought and wind-blown ice. Above 1910 m, only small trees occur, which are subject to lethal damages usually at the age of 20–40 years, when their height exceeds the wintry snow cover. Under the assumption of no further human influence, the vertical expansion of the forest-tundra ecotone on Saualpe will therefore shrink from now 110 meters to 60 meters distance in elevation. Thus the transition between subalpine forest and alpine tundra will remain an ecotone. Besides, its structure and dynamics characterize it as an individual vegetation unit. These are an open stand structure, a steady spatial position, predominantly allochthonous seed input,

## A. STÜTZER

vegetative regeneration and/or premature death of the trees, which is in contrast to the subalpine forest.

Keywords: forest line, tree line, forest-tundra ecotone, vegetation dynamics, Saualpe, Carinthia, Kärnten

Vermutlich schon seit Beginn der geobotanischen Forschung in den Alpen wird die Frage diskutiert, ob die natürliche obere Grenze des Waldes eine scharfe Linie bildet, oder ob es sich beim Wechsel vom subalpinen Wald zur baumfreien alpinen Höhenstufe um einen Ökoton, also einen Übergangsbereich handelt (z.B. MAREK 1910; SCHARFETTER 1938; TRANQUILLINI 1979; HOLTMEIER 1985, 2000; MIEHE & MIEHE 2000). SCHROEDER (1998) hat für diese beiden Erscheinungsformen die Begriffe ‚Reduktionstyp‘ bzw. ‚Mosaiktyp‘ geprägt. Während beim ‚Reduktionstyp‘ ein abrupter Wechsel von einem weitgehend geschlossenen Bestand kleinwüchsiger Bäume zur alpinen Tundra vorliegt, bezeichnet der ‚Mosaiktyp‘ einen Übergang, bei dem sich der Baumbestand allmählich inselartig auflöst und über größere Distanz in die baumfreien Vegetationsgesellschaften der alpinen Höhenstufe übergeht.

Konsens besteht heute darüber, dass an der polaren Waldgrenze ein solches Mosaik vorliegt. Da der Übergang vom subpolaren Wald zur polaren Tundra nicht wie in den Gebirgen durch isohypsenparallele, sondern durch breitenkreisparallele Temperaturabnahme bedingt ist, muss er zwangsläufig fließend erscheinen. Für die alpine Waldgrenze überwiegt hingegen die Ansicht, dass sie ursprünglich eine geschlossene Linie bildete, deren Auflichtung erst durch anthropo-zoogenen Einfluss verursacht wurde (ELLENBERG 1996; TRANQUILLINI 1979). Bereits SCHARFETTER (1938) hatte sinngemäß formuliert, dass dort, wo die klimatischen Voraussetzungen das Wachstum eines Baumes zulassen, auch ein ganzer Wald stehen könne, sofern besondere edaphische oder orographische Voraussetzungen dies nicht verhindern. Nach SCHROEDER (1998), der diese Auffassung teilt, ist die ursprüngliche Waldgrenze in den Alpen damit den Reduktionstypen zuzuordnen. Da die heutigen Waldgrenzen demgegenüber vielfach die Form von Ökotonen haben, werden diese als Entwicklungsstadien angesehen, die sich ohne weiteren Einfluss des Menschen wieder zu geschlossenen Baumbeständen regenerieren müssten.

Beobachtungen an der Waldgrenze der Saualpe erweckten beim Verfasser vorliegender Arbeit allerdings den Eindruck, dass gerade das Fehlen eines allmählichen Übergangs vom Wald zur alpinen Tundra als Folge menschlicher Eingriffe, nämlich einer selektiven Almpflege zu werten ist (Abb. 1). Ein Vergleich historischer Bilddokumente des 17. bis 19. Jahrhunderts mit aktuellen Fotos hat in diesem Zusammenhang gezeigt, dass sich die höhenwärtige Grenze des geschlossenen Waldes innerhalb der letzten 150 Jahre trotz Aufgabe von Beweidung und Almpflege nicht verändert hat. Oberhalb des Waldes ist in diesem Zeitraum jedoch wieder ein Ökoton entstanden, der nach Ansicht des Autors unter den aktuellen klimatischen Bedingungen zugleich Endprodukt des sich regenerierenden Naturraums ist (STÜTZER 1999, 2000). Damit wäre auch die alpine Waldgrenze den Mosaik-Typen zuzurechnen.

Zur weiteren Klärung dieser Frage wurde die aktuelle Entwicklung auf zwei Testflächen im Waldgrenzökoton der Saualpe untersucht. Da die Höhengrenze des Waldes auf der Saualpe überwiegend von der Fichte (*Picea abies*) gebildet wird, beziehen sich die nachfolgenden Beobachtungen nur auf diesen Waldtyp; sie können nicht unmittelbar auf Kiefern- oder Lärchenwälder, die vor allem in den Zentral- und Westalpen weiter verbreitet sind, übertragen werden, da von diesen beiden Arten dominierte Wälder grundsätzlich andere Bestandstrukturen aufweisen als Fichtenwälder.

## Struktur und Dynamik der alpinen Fichten-Waldgrenze



Abbildung 1: Der Waldgrenzökoton auf der Irregger-Schwaig. Vor allem seit der endgültigen Aufgabe der Beweidung vor rund 40 Jahren haben sich zahlreiche neue Bäume etabliert.

Figure 1: The forest-tundra ecotone on Irregger-Schwaig. Since pasture was given up about 40 years ago, several new trees have established.

### Definitionen

Wichtig ist im Vorfeld der Ausführungen eine Klärung der Begriffe ‚Waldgrenze‘, ‚Baumgrenze‘ und der gelegentlich verwendeten Bezeichnungen ‚Krüppelgrenze‘ bzw. ‚Artgrenze‘. Eine inhaltliche Differenzierung zwischen den Begriffen ‚Waldgrenze‘ und ‚Baumgrenze‘ ergab sich bereits sehr früh aus der Beobachtung, dass in den Alpen oftmals noch weit oberhalb der jeweils aktuellen Grenze des geschlossenen Waldes (= die Waldgrenze im engeren Sinne) hochwüchsige Bäume anzutreffen sind. Daraus wurde – vielfach zurecht – geschlossen, dass diese Bäume Relikte eines ehemals höher reichenden Waldes sind. Die gedachte Linie zwischen den höchstgelegenen Einzelbäumen wurde als Baumgrenze bezeichnet, die im Sinne der oben genannten Annahme zugleich als ehemalige bzw. potentielle Waldgrenze anzusehen ist.

So einleuchtend dies erscheint, wird damit doch im weiteren die Frage aufgeworfen, wie die Begriffe ‚Wald‘ und ‚Baum‘ definiert werden. Diese auf den ersten Blick banale Frage ist in der Tat mit verschiedenen Problemen behaftet. Zwar lässt sich der Begriff ‚Baum‘ grundsätzlich dadurch definieren, dass die Individuen eine Veranlagung zu makrophanerophytem Wachstum im Sinne der von RAUNKIAER entwickelten Differenzierung in Lebensformen (ELLENBERG & MÜLLER-DOMBOIS 1967) sowie zu monopodiale Wuchs haben müssen (HOLTMEIER 2000). Das bedeutet jedoch nicht, dass die tatsächliche Wuchsform der Individuen auch stets dieser Veranlagung entspricht. Vielmehr kommen gerade im Waldgrenzbereich mehrere Faktoren zum Tragen, die das Wachstum und die Wuchsform der Bäume wesentlich beeinflussen. Dazu gehören neben dem geringen Wärmeangebot mechanische oder

## A. STÜTZER

physiologische Schädigungen durch Eisgebläse und/oder Frosttrocknis, die ein normales Wachstum dauerhaft verhindern können. Hinzu kommt, dass sich bestimmte Arten, zu denen auch die Fichte (*Picea abies*) gehört, unter ungünstigen Standortbedingungen kaum generativ vermehren, sondern vor allem durch vegetative Ausbreitung am Wuchsort erhalten. Ihre genetische Veranlagung zu monopodiale Wachstum wird dann durch sympodiale Verzweigungen, die für die Lebensform ‚Strauch‘ typisch sind, ergänzt bzw. ersetzt. Die oben genannte Definition des Begriffes ‚Baum‘ kann sich somit nur auf den Normalfall unter günstigen klimatischen Bedingungen beziehen, die im Waldgrenzbereich aber kaum gegeben sind.

Für die Definition des Begriffes ‚Wald‘ entsteht daraus wiederum des Problem, dass ein Wald an der alpinen Waldgrenze unter Umständen nicht aus Bäumen, sondern aus kleinwüchsigen Sträuchern besteht. Man kann dieses Dilemma allerdings umgehen, wenn man für den Begriff ‚Baum‘ – und damit für den Begriff ‚Wald‘ als Summe von Bäumen – zusätzlich eine gewisse Mindestgröße der Individuen zugrunde legt. Im Sinne der Definition der Lebensform ‚Makrophanerophyt‘ liegt diese Mindestgröße bei 2 m, und diese Größe wird in der Tat häufig zur Abgrenzung des Begriffes ‚Baum‘ und damit in weiterer Folge des Begriffes ‚Baumgrenze‘ verwendet (ELLENBERG & MÜLLER-DOMBOIS 1967; ELLENBERG 1996; SCHROEDER 1998). Zusätzlichen Rückhalt erfährt diese erweiterte Definition dadurch, dass bei Bäumen einer solchen Mindestgröße eine entsprechende Anpassung an die klimatischen Bedingungen des Wuchsortes angenommen wird, die zugleich eine generative Vermehrung ermöglichen sollte. Es wird im Zuge dieser Untersuchung zu erörtern sein, ob die Baumgrenze im Sinne dieser metrischen Definition tatsächlich mit der Höhengrenze der autochthonen generativen Vermehrung der jeweiligen Art und demzufolge mit der potentiellen Waldgrenze identisch ist.

Da jedoch auch oberhalb der Baumgrenze im Sinne der vorgenannten metrischen Definition noch Bäume wachsen, die in der Regel mit zunehmender Höhenlage des Wuchsortes immer stärkere Abweichungen vom Normalwuchs zeigen, wurden für die obere Verbreitungsgrenze dieser Individuen die Begriffe ‚Krüppelgrenze‘ bzw. ‚Artgrenze‘ eingeführt. Damit wird die gedachte Linie jener Bäume bezeichnet, die unabhängig von ihrer Wuchsform und der Fähigkeit zur generativen Reproduktion die höchstgelegenen Vorkommen ihrer Art bilden (TRETER 1984). Ob und inwieweit auch sie als Indikatoren einer ehemals höher gelegenen Waldgrenze zu interpretieren sind, soll in den nachfolgenden Kapiteln ebenfalls diskutiert werden.

Zu erörtern ist auch die Frage, wie der Begriff ‚Wald‘ zu definieren ist. MÜLLER-DOMBOIS & ELLENBERG (1974) haben vorgeschlagen, dann von ‚Wald‘ zu sprechen, wenn die Kronendeckung der Bäume >50% beträgt; ist die Deckung geringer, handelt es sich ihrer Definition nach um ‚offenes Waldland‘. Dieser Grenzwert erscheint insofern plausibel, als der Deckungsgrad auch bei der Einordnung anderer Vegetationstypen ein wesentliches Kriterium darstellt. Er bietet zudem gerade bei der Abgrenzung des Vegetationstyps ‚Wald‘ den Vorteil, dass die subjektiven Eindrücke unterschiedlicher Betrachter – wie eigene Erfahrungen bei zahlreichen Exkursionen gelehrt haben – in etwa diesem Grenzwert entsprechen und auch ohne eine genaue (weil schwierige) Bestimmung der exakten Kronendeckung die individuellen Ansichten, was als Wald anzusprechen ist, häufig annähernd gleich sind.

Im Gegensatz zu dieser mehrteiligen Untergliederung des Übergangs vom Wald zur waldfreien alpinen Höhenstufe hat HOLTMEIER (2000) vorgeschlagen, als Waldgrenze generell

## Struktur und Dynamik der alpinen Fichten-Waldgrenze

jenen Bereich zu bezeichnen, der zwischen dem geschlossenen Wald und den äußersten Vorposten der waldbildenden Arten – also den Artgrenzen – liegt, unabhängig von Wachstum und Wuchsform der Individuen sowie von der räumlichen Ausdehnung dieses Bereiches. Folgt man seiner Definition, kann man unter Verzicht der Begriffe ‚Baumgrenze‘ und ‚Artgrenze‘ von der ‚Waldgrenze im weiteren Sinne‘ sprechen.

Es geht an dieser Stelle nicht darum, eine Bewertung der unterschiedlichen Definitionen vorzunehmen. Für die Frage, ob es sich bei der natürlichen alpinen Fichten-Waldgrenze um eine Linie, also um einen Reduktions-Typ, oder um einen Übergangsbereich, also um einen Mosaik-Typ handelt (HOLTMEIER 1985; SCHROEDER 1998), ist ein Vergleich der unterschiedlichen Definitionen des Begriffes ‚Waldgrenze‘ jedoch in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Zum einen sind die ursprünglichen, natürlichen Waldgrenzen in den Alpen in den vergangenen Jahrhunderten fast überall durch Holzeinschlag und/oder Beweidung beeinflusst worden. Daher sind geschlossene Bestände am Übergang zur alpinen Höhenstufe heute eher selten anzutreffen; statt dessen handelt es sich vielfach um (Sekundär-)Ökotope. Es gilt also zu klären, ob sich dabei trotz des menschliche Einflusses naturnahe Zustände erhalten haben oder diese Einwirkung zu einem naturfernen Erscheinungsbild geführt hat.

Hinzu kommt, dass die unterschiedliche Handhabung der oben genannten Definitionen von ‚Wald‘ etc. wesentlichen Einfluss darauf hat, ob ein solcher Übergangsbereich überhaupt ausgewiesen werden kann, und wenn ja, welche räumliche Ausdehnung diesem eingeräumt wird: Es ist offenkundig, dass die von HOLTMEIER gegebene Definition einen größeren Raumabschnitt umfasst als die der übrigen Autoren. Sinnvoll erschiene es deshalb wohl vor allem dann, von einem Ökoton oder Mosaik zu sprechen, wenn sich dieses Areal durch eine ihm eigene Struktur und Dynamik von den beiden angrenzenden Vegetationseinheiten Wald und Tundra abgrenzen ließe. Auch dieser Aspekt soll nachfolgend untersucht werden.

## Untersuchungsgebiet

Die Saualpe ist ein meridional verlaufender, zentralalpiner Gebirgszug, der wegen seiner Höhe von maximal 2081 m als inneralpines Mittelgebirge einzustufen ist. Dennoch liegen seine höchsten Erhebungen bereits in der tiefalpinen Höhenstufe, so dass die klimatische Grenze für den Baumwuchs erreicht wird. Da die Saualpe während der letzten Vereisung außerhalb des zentralen Vergletscherungsgebietes lag, sind auf ihr überwiegend Glatthänge verbreitet, die aus dem Verwitterungsschutt der anstehenden Gneise gebildet wurden und in denen sich mittelgründige, podsolige Braunerden entwickelt haben. Edaphische oder orographische Bedingungen, die das Vordringen der Bäume bis an ihre klimatische Wuchsgrenze verhindern, gibt es auf der Saualpe daher nicht.

Oberhalb der aktuellen Grenze des geschlossenen Waldes in rund 1830 m schließt eine Zwergstrauchstufe an, die sich über rund 100 Höhenmeter bis etwa 1940 m NN erstreckt und in die vereinzelt Bäume bzw. Baumgruppen eingestreut sind. Weiter oberhalb sind nur noch einzelne und stets sehr kleinwüchsige Bäume in besonderen Schutzlagen anzutreffen, z.B. im Windschatten von Felsen, die als klimatisch begünstigte Exklaven keine Hinweise auf die gesamt-klimatischen Bedingungen ihrer Höhenstufe liefern und daher unberücksichtigt bleiben müssen.

Dominante Baumart der subalpinen Waldstufe und des Waldgrenzökotons ist die Fichte (*Picea abies*), der gelegentlich die Lärche (*Larix decidua*) beigemischt ist. Die Zirbe (*Pinus cembra*)

kommt auf der Saualpe so gut wie nicht vor, ihr natürliches Verbreitungsgebiet innerhalb der östlichen Zentralalpen endet in den nördlich anschließenden Seetaler Alpen. Auch eine Krummholzstufe gibt es auf der Saualpe nicht. Die Grünerle (*Alnus viridis*) ist lediglich an einem steilen, ostwärts gerichteten Hang und entlang einiger Bäche anzutreffen. Daneben gibt es auf der Ostseite des Gebirgszugs einen kleinen Bestand der Latschenkiefer (*Pinus mugo*), der jedoch nicht ursprünglich ist, sondern als Wildschutz angepflanzt wurde (SCHILLIG 1966).

Klimamessungen im Hochalmbereich der Saualpe haben ergeben, dass die Jahresmitteltemperatur an der aktuellen Waldgrenze etwa 2°C beträgt und die Mitteltemperaturen der Monate Juli und August knapp über 10°C liegen, also bei einem Wert, der häufig als Richtgröße für die Lage der potentiellen Waldgrenze angesehen wird (STÜTZER 1992). Die potentielle Waldgrenze dürfte demzufolge nicht weit oberhalb der aktuellen verlaufen. Auch eine deutlich höher reichende Bewaldung für die Zeit vor der Erschließung der Hochlagen im Hochmittelalter ist damit als unwahrscheinlich anzusehen (STÜTZER 2000). Hinzu kommt, dass die Vegetation der waldfreien Hochlagen gegen eine ehemals höher reichende Bewaldung spricht: Während im Waldgrenzökoton *Vaccinium myrtillus*- und *Calluna vulgaris*-reiche Gesellschaften vorherrschen, die schon in der Waldstufe anzutreffen sind, wird die Gipfelregion von dem Spalierstrauch *Loiseleuria procumbens* dominiert, der als tiefalpine Art anzeigt, dass die höchsten Lagen des Gebirgszugs natürlicherweise baumfrei sind. Dennoch wurden von manchen Autoren auch für die Saualpe massive Waldgrenzdepressionen angenommen (z.B. BENZ 1922; ALBL 1958). Diese Annahmen wurden vor allem aus der offenen Bestandstruktur des Waldgrenzbereiches abgeleitet, für den massive rodungsbedingte Eingriffe des Menschen in den Baumbestand zugrunde gelegt wurden.

## Methodik

Da es in den Alpen vom Menschen unveränderte Waldgrenzen kaum noch gibt, muss die Frage nach der Physiognomie der natürlichen Waldgrenzen anhand der aktuellen Entwicklungen abgeschätzt werden. Zu diesem Zweck wurden die Bestandstruktur und -dynamik zweier Testflächen innerhalb des aktuellen Waldgrenzökotons auf der Saualpe untersucht. Während die eine Fläche in den letzten 40 Jahren keinem anthropo-zoogenen Einfluss unterlag, diente die andere in diesem Zeitraum jeweils in den Monaten Juni bis September zur Jungviehsommerung. Ziel der Untersuchung war es, aus der vier Jahrzehnte ungestörten Entwicklung der ersten Testfläche Ableitungen über das Waldpotential oberhalb der aktuellen Waldgrenze abzuleiten und durch den Vergleich mit der zweiten Fläche den Einfluss der Weidetiere auf die Entwicklung der Bäume im Waldgrenzbereich zu ermitteln.

Die zwei ähnlich exponierten Testflächen im Nordwesten des Gebirgszuges erstrecken sich von der aktuellen Waldgrenze in etwa 1830 m Höhe bis zu den höchstgelegenen, zwergwüchsigen Fichten und Lärchen in 1940 m Höhe. Die Testfläche in der unbeweideten Alm (der Irregger-Schwaig) ist rund 1,3 ha, die in der südlich anschließenden, heute noch beweideten Alm (der Breitoferner Alm) 3,6 ha groß. Die Größe beider Testflächen wurde so gewählt, dass sie ungefähr 300 Bäume bzw. Baumgruppen (Rotten) umfassen (STÜTZER 1999). Auf den Flächen wurden alle Bäume und Baumgruppen lagegenau eingemessen und ihre Größe, Überschildung, Wuchsform, Stammzahl sowie Schädigungen und Zapfenbildungen registriert. Art und Grad der Schädigungen wurden nach optisch erfassbaren Kriterien wie Nadelverlust, Verletzungen der Rinde, Verbisspuren und sonstigen Auffälligkeiten wie Mehrwipfligkeit oder Kümmerwuchs ermittelt. Zur Altersbestimmung wurden auf

## Struktur und Dynamik der alpinen Fichten-Waldgrenze

beiden Flächen von je 30% der Bäume Bohrkerne in 15 cm Höhe entnommen und einige kleinere Bäume an der Stammbasis und in 15 cm Höhe abgesägt. Mittels der Stammscheiben konnte das ‚wirkliche‘ Alter der Bäume, denen die Kerne entnommen wurden, näherungsweise bestimmt werden. Die Altersdifferenz zwischen Stammbasis und 15 cm Höhe betrug im Durchschnitt 7 Jahre. Dieser Wert wurde zu dem Alter der Bohrkerne addiert. Unberücksichtigt musste dabei bleiben, dass sich der Altersunterschied mit der Höhe der Standorte verändert und die Streuung bereits innerhalb eines Höhenabschnittes erheblich sein kann.

## Ergebnisse

## Bestandsstruktur

Derzeit ist der Waldgrenzökoton auf der Saualpe eine Offenlandschaft, deren Physiognomie eher einer Zwergstrauchheide, stellenweise auch einem Grasland, hingegen kaum einem Waldland entspricht. Dies gilt für beide Testflächen, deren vertikale Ausdehnung und floristisches Inventar sehr ähnlich sind. Dominierende Baumart ist auf beiden Flächen die Fichte, sie stellt rund 95% der Baumindividuen (Tab. 1). Die Überschirmung der Bäume beträgt auf der unbeweideten Fläche 6%, auf der beweideten Fläche 3%, wobei in beiden Flächen der Überschirmungsgrad mit der Höhe über NN von >10% auf <1% absinkt (Tab. 2). Stark voneinander abweichend ist auf den Flächen hingegen die Anzahl der Bäume pro Flächeneinheit. Auf der unbeweideten Alm stehen 216, auf der noch beweideten Alm nur 74 Bäume pro ha (Abb. 2). Die deutlich geringere Zahl an Bäumen auf der beweideten Fläche ist somit ein eindeutiges Indiz für den erheblichen Einfluss der Beweidung auf die Entwicklung der Baumbestände im Waldgrenzbereich.

Tabelle 1: Baumart, Wuchsform, Schädigungsart und Flechtenbesatz der Bäume in den Testflächen.

Table 1: Tree species, growth form, type of damage and lichen coverage of the trees in both test plots.

	Irregger- Schwaig (n = 266)	Breitofner Alm (n = 275)
Baumart		
a) Fichte	258	255
b) Lärche	8	11
Wuchsform		
a) Kegel stumpf	35	13
b) Kegel spitz	146	133
c) Tisch	29	80
d) Kümmerform	32	5
e) abgestorben	24	24
Schädigungsart		
a) physiologisch	130	109
b) mechanisch	154	152
c) biogen	13	45
d) gesamt	202	170
Flechtenbesatz		
a) gering	229	205
b) mittel	35	38
c) stark	2	24

## A. STÜTZER

Tabelle 2: Anzahl der solitären Fichten, der Rotten, der zapfenden Bäume sowie die Überschirmung in %, in Abhängigkeit von der Höhe über NN. n.b. = nicht bestimmt.

Table 2: Number of solitaires, clumps, cone carrying trees, and coverage of the trees, depending on the elevation above sea level. n.b. = not determined.

Irregger-Schwaig (unbeweidet)				
Höhe über NN (m)	Solitäre	Rotten	Bäume mit Zapfen	Überschirmung (%)
>1940	1	0	0	0,1
1921-1940	21	3	0	0,8
1901-1920	48	14	1	6,7
1881-1900	22	9	1	4,1
1861-1880	26	34	9	12,4
1841-1860	28	33	4	11,6
<1840	27	28	4	n.b.
Summe / Mittel	173	121	19	6,0

Breitofner Alm (beweidet)				
Höhe über NN (m)	Solitäre	Rotten	Bäume mit Zapfen	Überschirmung (%)
>1940	-	-	-	-
1921-1940	7	9	0	0,2
1901-1920	11	14	1	0,5
1881-1900	26	20	4	1,3
1861-1880	59	28	12	3,6
1841-1860	24	27	19	10,8
<1840	16	14	11	n.b.
Summe / Mittel	143	112	47	3,3

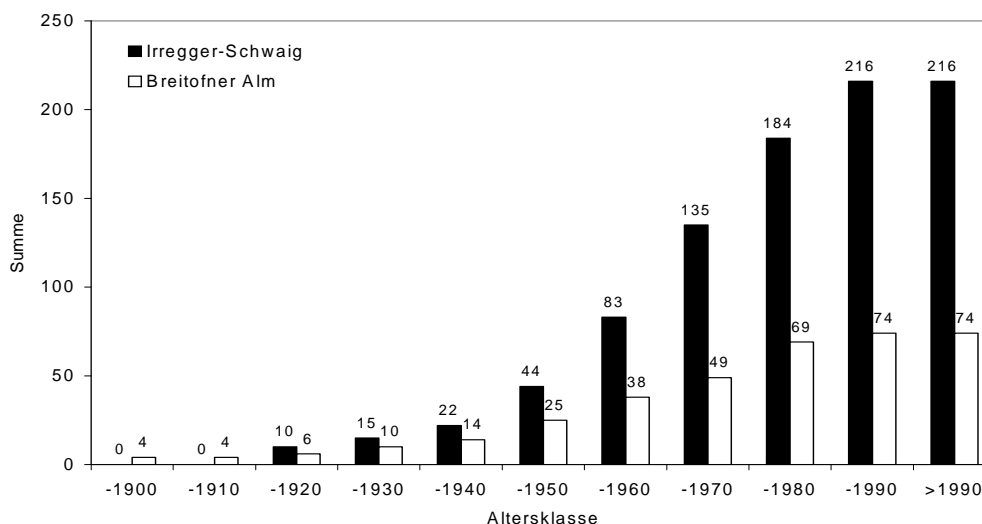


Abbildung 2: Aufaddierte Anzahl der Bäume je Altersgruppe und ha in beiden Testflächen.

Figure 2: Summarized number of trees per age group and ha in both test plots.

## Habituelle Merkmale der Bäume

Bereits an der Waldgrenze i.e.S. zeigen die Bäume verschiedene Anpassungen an die klimatische Ungunst der hochsubalpinen Höhenstufe. So weisen auf beiden Flächen über 50% aller Fichten den für diese Höhenstufe typischen spitzkegeligen Wuchs auf, während die in tieferen Lagen verbreitete stumpfkegelige Wuchsform auf der unbeweideten Alm nur bei 13%, auf der beweideten Alm sogar nur bei 5% der Fichten erkennbar ist und sich auf junge Bäume



## Struktur und Dynamik der alpinen Fichten-Waldgrenze

beschränkt, die im Schutz der winterlichen Schneedecke aufwachsen. Bäume, die diesen Schutz nicht oder nur partiell genießen, sind häufig zu Tischformen degradiert, wie sich allgemein bei extrem ungünstigen Standortverhältnissen nur Kümmerformen entwickeln konnten (Tab. 1).

Mit zunehmender Höhe des Wuchsortes sinkt die Wuchshöhe der Bäume rapide ab. Während einzelne Bäume an der aktuellen Waldgrenze noch 15 m Höhe erreichen, sind im Waldgrenzökoton über 70% aller Bäume trotz ihres teilweise fortgeschrittenen Alters kleiner als 2 m (Abb. 3). Bei rund 40% aller Fichten ist darüber hinaus eine Rottenbildung durch Adventivbewurzelung zu beobachten – ein Zeichen dafür, dass aufgrund der klimatischen Ungunst im Waldgrenzökoton die generative Reproduktion zu einem erheblichen Teil durch vegetative Bestandserhaltung ergänzt wird.

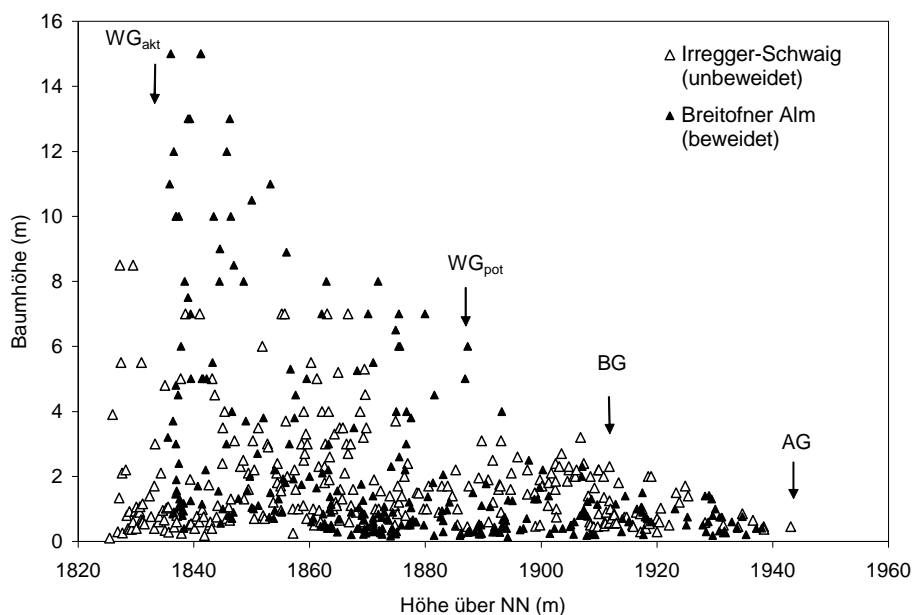


Abbildung 3: Aktuelle Waldgrenze ( $WG_{akt}$ ), potenzielle Waldgrenze ( $WG_{pot}$ ), Baumgrenze (BG) und Artgrenzen (AG) der Lärchen und Fichten.

Figure 3: Recent forest line ( $WG_{akt}$ ), potential forest line ( $WG_{pot}$ ), treeline (BG) and species line (AG) of larch and spruce.

Ein weiteres auffälliges Merkmal der Bäume im Waldgrenzökoton ist ihr stellenweise starker Bewuchs mit epiphytischen Flechten. Dabei handelt es sich zumeist um die im Gebirgswald allgemein weit verbreiteten Arten *Hypogymnia physodes*, *Pseudevernia furfuracea* und *Platismatia glauca*. Andere Arten, u.a. der Gattung *Usnea*, kommen zwar ebenfalls vor, spielen aber eine untergeordnete Rolle. Den stärksten Bewuchs weisen die großen Bäume im unteren Teil der Transekte auf, während auf kleineren, jüngeren und höher gelegenen Bäumen deutlich weniger Flechten wachsen. Ursache dafür ist das in der Regel höhere Alter der großen Bäume, auf denen sich die langsam wachsenden Epiphyten kontinuierlich entwickeln konnten. Die Intensität des Flechtenbewuchses kann darüber hinaus als ein Hinweis auf die Häufigkeit von Nebelbildung gedeutet werden (SCHILLIG 1966).

Allerdings sind auch an den hochgelegenen, kleinen Bäumen, die im Winter nur geringen Schneeschutz genießen, häufig Flechten anzutreffen. Insgesamt ist der Flechtenbesatz im oberen Teil des Ökoton jedoch geringer als im unteren. Während an der Waldgrenze rund 70% aller Bäume mehr oder weniger stark bewachsen sind, sinkt der Anteil in 1900 m auf etwa 50% und in den höchsten Lagen auf knapp 30% ab. Die Verringerung des Bewuchses wird also nicht allein von der Größe und dem Alter der Bäume, sondern offenbar auch von den für die Flechten mit zunehmender Höhe immer ungünstigeren klimatischen Bedingungen gesteuert.

### Bestandesalter und -entwicklung

In beiden Testflächen ist das Altersspektrum der Bäume zwar insgesamt weit, dennoch ist die weitaus überwiegende Zahl der Bäume jünger als 60 Jahre (Abb. 2). Der daraus abzuleitende ‚Verjüngungsschub‘, der etwa um 1940 eingesetzt hat, kann nicht allein auf die Aufgabe der Bewirtschaftung zurückgeführt werden. Dafür spricht, dass dieses Phänomen nicht nur im Untersuchungsgebiet, sondern im gesamten Alpenraum festzustellen ist (SCHADAUER 1996). Auch an der Waldgrenze in Finnisch-Lappland konnten HOLTMEIER et al. (1996) ähnliche Beobachtungen machen. Die Zunahme an Bäumen in der subalpinen Höhenstufe ist also zumindest teilweise eine Folge des allgemeinen Temperaturanstiegs, der auch für die Klimastationen rund um die Saualpe nachweisbar ist (BÖHM 1992; SCHÖNWIESE 1998; STÜTZER 2000). Die seit rund 40 Jahren geradezu sprunghafte Zunahme an Bäumen auf der unbeweideten Alm, auf der 2/3 aller Bäume in diesem Zeitraum aufgekommen sind, ist hingegen primär auf die Aufgabe der Beweidung zurückzuführen.

Auf der beweideten Alm fällt der Verjüngungsschub dagegen deutlich geringer aus, obwohl auf ihr die erlaubte Bestoßungsmenge schon seit längerer Zeit nicht mehr ausgeschöpft wird und sich die Almpflege auf das in mehrjährigen Abständen durchgeführte Schwenden von Wacholderbüschen beschränkt. Interessanterweise steht der älteste datierte Baum aber auf der Weidefläche; er ist 138 Jahre alt. Darüber hinaus wurden auf dieser Fläche noch drei weitere, über 100 Jahre alte Bäume beprobt; der älteste beprobte Baum auf der unbeweideten Alm ist dagegen nur 85 Jahre alt. Auch das mittlere Alter aller datierten Bäume ist auf der unbeweideten Fläche mit 35 Jahren etwas geringer als das Durchschnittsalter auf der Weide, das bei 42 Jahren liegt. Die Erklärung dafür ist, dass auf der unbeweideten Fläche bis zum Ende des 19. Jahrhunderts alle Bäume und Baumgruppen der damals noch intensiv betriebenen Almpflege zum Opfer gefallen sind. Die Bezeichnung ‚Schwaig‘ deutet bereits auf die frühere Nutzung als Milchviehalm und die damit verbundenen Pflegemaßnahmen hin (STÜTZER 2000). Eine physisch bedingte, geringe Lebenserwartung ist bei den Bäumen im Waldgrenzökoton dagegen nicht erkennbar, da nur wenige alte Bäume Anzeichen eines inneren Verfalls durch Kernfäule o.ä. aufweisen. Die untersuchten abgestorbenen Bäume waren im allgemeinen nicht alt, sondern gehörten fast ausschließlich der Altersgruppe der unter 40-jährigen Individuen an. Es sind somit die standörtlichen Bedingungen, gelegentlich auch besondere Schadensereignisse gewesen, die das Absterben der Bäume verursacht haben.

Die globale Erwärmung und die Verringerung des anthropo-zoogenen Einflusses hatten im Ökoton zwar Bestandsverdichtungen, jedoch kein Ansteigen der Baumgrenze oder gar der Waldgrenze zur Folge. Zum einen sind die meisten Bäume im Ökoton sehr kleinwüchsig und entsprechen daher nicht der oben genannten metrischen Definition von ‚Baum‘, zum anderen liegt der Korrelationskoeffizient zwischen der Höhe der Wuchsorte über NN und dem Alter

## Struktur und Dynamik der alpinen Fichten-Waldgrenze

der Bäume auf der unbeweideten Alm bei 0,07 ( $n = 88$ ), auf der beweideten Alm bei 0,03 ( $n = 82$ ). Das bedeutet, junge und alte Bäume sind nahezu gleichmäßig über die gesamte Höhenerstreckung beider Transekte verteilt. Eine stufenweise ‚Rückeroberung‘ der Flächen durch die Bäume nach der Einstellung bzw. Verringerung der Nutzung kann somit nicht konstatiert werden; vielmehr haben sich die Bäume in ihrem gesamten potentiellen Lebensraum (wieder) etabliert.

Einen Sonderfall bilden lediglich die obersten 30 Höhenmeter beider Transekte, in denen fast ausschließlich junge Bäume anzutreffen sind. Ähnliche Beobachtungen machten wiederum HOLTMEIER et al. (1996) an der alpinen Baumgrenze in Finnisch-Lapland, an der über 35-jährige Bäume ebenfalls nur in Einzelfällen anzutreffen sind. Wenn auch aufgrund der geringen Individuenzahl in diesem Höhenabschnitt kaum genaue Aussagen möglich sind, lässt sich diese Beobachtung doch dadurch erklären, dass die Bäume an der Artgrenze extrem unter den mechanischen und physiologischen Belastungen durch Eisgebläse und Frosttrocknis leiden, wodurch die meisten von ihnen nicht über ein Alter von 20-40 Jahren hinauskommen. Die Schädigungen treten auf, sobald die Bäume über die winterliche Schneedecke hinausragen, die in diesem Abschnitt des Ökoton auf Grund der überwiegend konvexen Geländeformen im Mittel kaum 20 cm beträgt und in schneearmen Wintern noch deutlich geringer sein kann. Darüber hinaus mag bei Lärchen gelegentlich starker Verbiss zum Absterben der Jungbäume führen.

Bemerkenswert ist auf beiden Flächen die geringe Anzahl von Bäumen der jüngsten Altersgruppen. Dies hat zwei Ursachen. Zum einen hatte die Verringerung bzw. Aufgabe der Beweidung eine allmähliche Verdichtung der Bodenvegetation zur Folge, wodurch die Zahl geeigneter Keimbetten ständig reduziert wurde. Die Bestandsverdichtungen werden daher zumindest in den nächsten Jahren vermutlich eher durch das weitere Wachstum der bereits etablierten Bäume als durch das Aufkommen neuer Bäume bedingt sein. Zum zweiten wurden sicher nicht alle Bäume dieser Altersgruppen entdeckt. Da die mittlere Wuchshöhe der 20-jährigen Bäume unter 50 cm liegt, etliche Bäume in diesem Alter allerdings kaum 20 cm hoch sind, war eine vollständige Erfassung in den zumeist dicht geschlossenen Zwergstrauchbeständen nicht möglich. In der Altersgruppe der nach 1990 gekeimten Bäume wurde sogar überhaupt kein Individuum entdeckt. Auch wenn die Keimungsbedingungen aufgrund der Konkurrenz der Bodendecker derzeit eher ungünstig sind, ist es unwahrscheinlich, dass es in den letzten Jahren überhaupt kein weiteres Aufkommen von Keimlingen gegeben hat. Das Fehlen dieser Altersgruppe ist deshalb eher darin begründet, dass die in der Regel sehr kleinen Individuen bei der Aufnahme nicht entdeckt wurden.

### Generative Vermehrung und vegetative Ausbreitung

Oberhalb der aktuellen Waldgrenze erfolgt die Verdichtung der Baumbestände zum einen durch generative Vermehrung, zum anderen durch vegetative Ausbreitung. Die klimatischen Bedingungen stellen dabei ein erhebliches Hindernis für die generative Bestandsentwicklung dar (TRANQUILLINI 1979). Dies zeigt sich unter anderem darin, dass das Mindestalter der Zapfen tragenden Bäume auf beiden Flächen bei etwa 40 Jahren liegt. Auf der unbeweideten Alm trugen im Sommer 1998 zudem nur 22%, auf der beweideten Alm immerhin 43% aller über 40 Jahre alten Fichten Zapfen, und es wurde nur eine Zapfen tragende Lärche entdeckt.

Die insgesamt geringe Menge Samen produzierender Bäume zeigt, dass der autochthone Samenpool bislang wenig zur generativen Vermehrung beiträgt. Die Ansiedlung der Bäume

war und ist somit überwiegend auf den Eintrag von Samen aus der Waldstufe zurückzuführen. Dennoch lässt ein zumindest stellenweise gehäuftes Auftreten kleiner Bäume im Umfeld älterer Individuen auch auf eine langsame Bestandsverdichtung durch autochthone Vermehrung schließen. Darüber hinaus dürfte zumindest im unteren Abschnitt des Ökoton in Zukunft mit einem verstärkten Samenangebot durch die bereits etablierten Bäume zu rechnen sein, wenn man das oben genannte Alter von etwa 40 Jahren bis zur Bildung der ersten Zapfen zugrunde legt; aus dem erweiterten Samenpool sollten dann auch vermehrt Keimlinge und Bäume hervorgehen.

Neben der generativen Reproduktion spielt bei den Fichten im Ökoton die vegetative Vermehrung durch Auslegerbildung eine bedeutende Rolle (HOLTMEIER 1987). Die Rotten bestehen meist aus 3-7, in Einzelfällen sogar aus über 20 Bäumen. Ihre Bildung gehört im Waldgrenzökoton fast zwangsläufig zum Alterungsprozess der Bäume. Während Ablegerbildung bei Fichten vor dem 20. Lebensjahr nur in Ausnahmefällen vorkommt (KUOCH & AMIET 1970), überwiegt auf der Saualpe bei den 41-60-jährigen Bäumen der Anteil der Rotten (bzw. deren ältester Klonmitglieder) bereits den der Solitäre, und bei den über 80-jährigen Bäumen treten auf beiden Flächen überhaupt keine Solitäre mehr auf (Tab. 2). Nur im obersten Bereich des Ökoton geht der Anteil der Rotten wieder zurück. Grund dafür ist, dass dort der größte Anteil der Bäume bereits im Jugendalter letalen Schädigungen erliegt.

Bemerkenswert ist zudem, dass im Ökoton überwiegend die Fichtenrotten Zapfen tragen, die Zahl der solitären Fichten mit Zapfen dagegen gering ist. Dies ist zum einen auf das jugendliche Alter bzw. die Kleinwüchsigkeit vieler Solitäre zurückzuführen, zum anderen auf das ausgeglichene Bestandsklima der Rotten, das nicht nur das Wachstum der Klonmitglieder fördert, sondern auch günstigere Bedingungen für die Samenbildung schafft und damit wiederum die generative Vermehrung der Bestände fördert.

### Schädigung der Bäume

Für die Frage, inwieweit eine natürliche (Wieder-)Bewaldung der Hochlagen zu erwarten ist, spielen nicht zuletzt Art und Grad der mechanischen, physiologischen und biogenen Schädigungen der Bäume eine wesentliche Rolle. Die Untersuchung hat gezeigt, dass der überwiegende Teil der Bäume in beiden Testflächen in irgendeiner Form geschädigt ist. Ohne erkennbare Schädigungen stehen auf der unbeweideten Alm nur 24%, auf der beweideten Alm 36% aller lebenden Bäume. Dabei handelt es sich überwiegend um junge Bäume, die im Winter Schutz unter der Schneedecke finden (Tab. 1).

Die Schädigungen beruhen meist auf den mechanischen Einwirkungen des Eisgebläses oder sind eine Folge von Frosttrocknis. Da die Ursachen starker Nadelverluste nach mehreren Jahren kaum noch erkennbar sind und beide Schädigungsarten an einem Baum nebeneinander auftreten können, lässt sich die dominante Schädigungsart oft schwer feststellen. Allenfalls sind größere, durch Eisgebläse geschädigte Bäume an ihrer 'Wipfeltischform' zu erkennen. Vereinzelt ist auch zu beobachten, dass sich die Nebenäste nach dem Absterben des Hauptstammes aufrichten und die Bäume eine 'Kandelaberform' erhalten. Die Seltenheit dieser Wuchsform lässt allerdings darauf schließen, dass es in den meisten Fällen zu wiederholten Schädigungen der Haupttriebe kommt.

Erhebliche Frosttrocknisschäden ließen sich in der gesamten Kampfzone nach dem Winter 1991/92 beobachten, die in den Testflächen zu starken Nadelverlusten führten. Weitaus

## Struktur und Dynamik der alpinen Fichten-Waldgrenze

häufiger als solche markanten Ereignisse sind allerdings kleinere Frostschäden, die sowohl durch Frosttrocknis als auch durch Früh- oder Spätfröste verursacht sein können und vor allem junge, noch nicht vollständig ausgereifte Triebe treffen. Solche Schäden an jungen Trieben sind bei gut der Hälfte aller Bäume festzustellen. Für die Entwicklung der Bäume sind sie zwar nachteilig, da sie eine verlangsamte Entwicklung zur Folge haben (GROß 1989), massive Auswirkungen haben sie jedoch nur dann, wenn sie regelmäßig auftreten; dies trifft vor allem auf die höheren Abschnitte des Ökotons zu.

Den Früh- und Spätfrostschäden im Erscheinungsbild ähnlich sind solche, die durch den Fichtennadelrost (*Chrysomyxa rhododendri*) hervorgerufen werden. Auch sie führen zur Vergilbung und anschließender Vertrocknung der Nadeln. Obwohl auf der unbeweideten Alm einige befallene Bäume entdeckt wurden, handelt es sich bei den durch den Pilz verursachten Schäden eher um singuläre und kleinräumige Ereignisse. Zumindest konnten auf der Saualpe in den letzten zehn Jahren keine Totalverluste durch den parasitären Pilz festgestellt werden.

Gering ist auf beiden Flächen auch das Ausmaß der Verbiss-, Tritt- und Fegeschäden. Verbisschäden treten am häufigsten an den Lärchen im oberen Bereich der Kampfzone auf. Bei den Fichten spielen sie prozentual eine geringere Rolle, weil die Bäume vom Wild und von den Weidetieren weniger angenommen werden. Häufiger, wenn auch zahlenmäßig immer noch gering, sind bei den Bäumen Trittschäden zu beobachten, die vor allem die Entwicklung der Jungbäume behindern, während Fegeschäden überwiegend auf die Bäume an Viehlagerplätzen oder häufig benutzten Gangeln beschränkt bleiben. Auf der unbeweideten Alm sind von biogenen Schädigungen 5%, auf der beweideten Alm 17% aller Bäume betroffen (Tab. 1).

In Bezug auf den Schädigungsgrad überwiegen in beiden Testflächen Bäume mit geringen bis mäßigen Schädigungen. Dies hängt in den meisten Fällen mit dem jugendlichen Alter und der geringen Wuchshöhe der Bäume zusammen. Da die kleinen Bäume im Winter noch weitgehend vom Schnee geschützt werden, ist ihr Schädigungsgrad meist gering. Die zahlreichen erfrorenen Spitzen der größeren Bäume weisen jedoch darauf hin, dass ein ungestörtes Wachstum in der ‚Kampfzone‘ kaum möglich ist und in ungünstigen Jahren bereits die Bäume im unteren Bereich des Ökotons stark geschädigt werden können. Beobachtungen nach dem Winter 1991/92 haben gezeigt, dass im oberen Teil des Ökotons sogar Zwergsträucher massiv unter Frostschäden leiden können.

## Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Der Vergleich der beweideten und der seit rund 40 Jahren nicht mehr beweideten Alm zeigt, dass Struktur und Dynamik des Baumbestandes im Waldgrenzökoton der Saualpe in erheblichem Maße von anthropo-zoogenen Beeinflussungen geprägt sind. Dafür spricht, dass seit der Aufgabe der Beweidung auf der ersten Testfläche eine erhebliche Re-Etablierung von Bäumen festzustellen ist. Unter Berücksichtigung der Reproduktionsintensität und -art, der Wuchsformen, der mit zunehmender Meereshöhe abnehmenden Größe und dem gleichzeitig steigenden Schädigungsgrad der Bäume lassen sich die untersuchten Flächen in drei Höhenabschnitte unterteilen.

Der erste Abschnitt reicht von der aktuellen Waldgrenze bis zur oberen Verbreitungsgrenze der hochstämmigen Bäume in etwa 1880 m Höhe, die der potentiellen Waldgrenze gleichzusetzen ist. Die große Zahl Zapfen tragender Bäume, der geringe Schädigungsgrad und die gute Wüchsigkeit der Bäume in diesem Abschnitt des Ökotons zeigen, dass die derzeit noch

## A. STÜTZER

sehr lichten Bestände bei weiterhin ungestörter Entwicklung einen waldähnlicheren Charakter erreichen können, da die Bedingungen für eine generative Vermehrung in dieser Höhe noch ausreichend sind. Dennoch ist in absehbarer Zeit selbst in diesem Abschnitt nicht mit einer stärkeren Verdichtung des Baumbestandes zu rechnen, da vorerst die Konkurrenz der Boden-decker einer flächenhaften Etablierung der Bäume entgegensteht und ungünstige Jahre auch hier immer wieder zu Rückschlägen führen können (STÜTZER 1999). Da die Bäume im untersten Abschnitt der unbeweideten Alm in den letzten 85 Jahren trotz kontinuierlich abnehmender, später sogar fehlender Beweidung nur eine Überschirmung von 12% erreicht haben, ist allein für die Entwicklung eines offenen Waldlandes mit etwa 30% Baumdeckung ein weiterer Zeitraum von etlichen Jahrzehnten zu veranschlagen. Auch der untere Abschnitt des Ökotons wird daher noch lange seinen offenen Charakter bewahren und nicht als ‚Wald‘ eingestuft werden können.

Der zweite Abschnitt innerhalb des Ökotons reicht von der potentiellen Waldgrenze bis zur Baumgrenze, die etwa bei 1910 m Höhe liegt, sofern man für den Begriff ‚Baum‘ eine Mindestwuchshöhe von 2 m zugrunde legt. In diesem Abschnitt sind fast keine zapfentragenden Bäume mehr zu finden; die Chancen für eine autochthone generative Vermehrung sind demzufolge gering. Daher muss die Vermehrung vor allem allochthon durch Sameneintrag aus der Waldstufe erfolgen. Darüber hinaus reagieren die Fichten auf die ungünstigeren Standortbedingungen verstärkt mit vegetativer Ausbreitung. Da die Rotten, aber auch die geschädigten Solitäre teilweise mehr basale als apikale Verzweigungen aufweisen, sind in diesem Abschnitt viele Fichten bereits eher als Sträucher denn als Bäume einzustufen. Eine Ansammlung solcher ‚Bäume‘ kann jedoch – selbst bei einem halbwegs geschlossenen Bestand – nicht als ‚Wald‘ bezeichnet werden, wenn man die oben beschriebenen Definitionen zugrunde legt (MUELLER-DOMBOIS & ELLENBERG 1974; SCHROEDER 1998).

Man hat versucht, dieses Dilemma durch Begriffe wie ‚Krüppelwald‘ (OBERDORFER 1982) oder ‚Zwergwald‘ (MIEHE & MIEHE 1996) zu umgehen, doch ist damit weder das sprachliche Problem gelöst, weil diese Bezeichnungen schon in sich widersprüchlich sind, noch gibt es wohl echte Belege für die Mutmaßung, dass sich ein solcher ‚Wald‘ selbst bei langfristig völlig ungestörter Entwicklung auch tatsächlich einstellen würde. Für die beiden Testflächen ist eine Entwicklung in diese Richtung zumindest als wenig wahrscheinlich anzusehen, nicht zuletzt weil in diesem Höhenabschnitt bereits einzelne Ungunsthjahre massive Rückschläge in der Bestandsentwicklung zur Folge haben. Eine wesentliche Verdichtung der Bestände ist daher nicht zu erwarten. Damit unterscheidet sich der mittlere Höhenabschnitt sowohl strukturell als auch in seiner Dynamik grundsätzlich vom unteren Abschnitt des Ökotons.

Den obersten Abschnitt der Transekte bildet der Bereich zwischen Baum- und Artgrenze. Strenggenommen reichen die Artgrenzen von Lärche und Fichte zwar bis zu den höchsten Erhebungen des Gebirgszugs, da auch hier noch vereinzelt kleine Bäume anzutreffen sind, doch befinden sich diese stets an klimatisch besonders begünstigten Exklaven. Ab einer Höhe von etwa 1940 m, also rund 100 Höhenmeter unter den höchsten Gipfeln und ebenso viel über der aktuellen Waldgrenze, nimmt die Zahl dieser Standorte rapide ab. Aufgrund der erheblichen Wuchsdeformationen der Bäume in diesem Abschnitt ist davon auszugehen, dass mit der aktuellen zugleich die potentielle Höhenverbreitung der Fichten und Lärchen erreicht ist. Wichtigster wachstumslimitierender Faktor ist in diesem Abschnitt neben den niedrigen Temperaturen die Schneearmut, die dazu führt, dass viele Bäume bereits im Jugendstadium massiv geschädigt werden. Eine autochthone generative Vermehrung ist unter diesen Um-

ständen ebenso wenig möglich wie eine vegetative Ausbreitung. Der oberste Abschnitt des Ökoton bleibt damit mehr noch als der mittlere Abschnitt auf einen allochthonen Sameneintrag aus den tieferen Lagen des Ökoton bzw. aus der Waldstufe angewiesen.

Für die künftige Bestandsentwicklung ergibt sich somit als Fazit, dass die vertikale Ausdehnung des Ökoton bei weiterhin ungestörter Entwicklung auf rund 60 Höhenmeter schrumpfen und dann von 1880 bis 1940 m reichen wird. Diese Vertikalausdehnung entspricht in etwa jener, die AAS & FAARLUND (1996) für Waldgrenzökotone von Fichtenwäldern in nord-europäischen Gebirgen ermittelt haben. Die Ergebnisse scheinen damit die Untersuchungen aus Nordeuropa zu bestätigen, zumal in beiden Gebieten dieselbe Baumart (*Picea abies*) den Bestand der Ökotone bildet. Durch die mit der Höhe abnehmende Zahl von Gunststandorten und die verringerten Möglichkeiten zur generativen Reproduktion bleibt demnach der Mosaik-Charakter des Übergangs vom subalpinen Wald zur alpinen Tundra weiterhin erhalten, wenn auch auf engerem Raum.

Nach Ansicht des Autors wäre unter Einbeziehung weiterer Testflächen in anderen Untersuchungsgebieten zu prüfen, ob die (natürlichen) Waldgrenzökotone als eigenständige Vegetationseinheiten auszuweisen sind. Dafür spricht, dass sich die in ihnen vorherrschenden Strukturen und Prozesse – offene Bestandstruktur, Dominanz vegetativer Arterhaltung und Ausbreitung, allochthoner Sameneintrag und/oder Tod vor der Geschlechtsreife – eindeutig von jenen der Waldstufe unterscheiden, und dass es sich unter den aktuellen klimatischen Verhältnissen zugleich um dauerhafte und lagestabile Vegetationseinheiten handelt.

## Nachtrag

Die Geländearbeiten zur vorgestellten Untersuchung wurden zu großen Teilen im Jahr 1998 von Frau Fatima DIBS im Rahmen ihrer Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt (DIBS 1998); für die Bereitstellung der Daten sei ihr auch an dieser Stelle herzlich gedankt. Im Sommer des Jahres 2001 stellte der Autor zudem fest, dass der untere Teil der bis dahin unbeweideten Irregger-Schwaig in den Sommermonaten wieder extensiv beweidet wird, so dass die weitere Entwicklung auf dieser Fläche nicht absehbar ist. An den prinzipiellen Erkenntnissen, die bei der Untersuchung gewonnen wurden, ändert dieser Sachverhalt jedoch nichts.

## Literatur

- AAS, B. & FAARLUND, T. (1996):** The present and the Holocene subalpine birch belt in Norway. – Paläoklimaforschung **20**: 19–41.
- ALBL, A. (1958):** Der Verlauf der heutigen oberen Waldgrenze und seine Dynamik. – In: Planungsatlas Lavanttal **1**: 216–217. – Klagenfurt: Kärntner Volksbuchhandlung.
- BENZ, R. (1922):** Die Vegetationsverhältnisse der Lavanttaler Alpen. – Abhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien **13**(2).
- BÖHM, R. (1992):** Lufttemperaturschwankungen in Österreich seit 1775. – Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik **5**.
- DIBS, F. (1998):** Die Waldgrenzsituation im Bereich aufgelassener und genutzter Almen in Kärnten am Beispiel der Sausalpe. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie, Universität Erlangen-Nürnberg.
- ELLENBERG, H. (1996):** Vegetation Mitteleuropas und der Alpen in historischer, dynamischer und ökologischer Sicht. [5. Auflage] – Stuttgart: Ulmer
- ELLENBERG, H. & MÜLLER-DOMBOIS, D. (1967):** A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivisions. – Berichte aus dem Geobotanischen Institut der ETH, Stiftung Rübel **37**.

## A. STÜTZER

- GROB, M. (1989):** Untersuchungen an Fichten der alpinen Waldgrenze. – Dissertationes Botanicae **139**.
- HOLTMEIER, F.-K. (2000):** Die Höhengrenze der Gebirgswälder. – Arbeiten aus dem Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität **8**.
- HOLTMEIER, F.-K. (1987):** Der Baumwuchs als klimaökologischer Faktor an der oberen Waldgrenze. – Münstersche Geographische Arbeiten **27**: 145–151.
- HOLTMEIER, F.-K. (1985):** Die klimatische Waldgrenze – Linie oder Übergangssaum (Ökoton)? – Erdkunde **39**: 271–285.
- HOLTMEIER, F.-K., MÜTERTHIES, A. & STEVENS, G. E. (1996):** Effektive Verjüngung und Zuwachs der Kiefer (*Pinus sylvestris*) und Fichte (*Picea abies*) an ihrer Höhengrenze in Finnisch-Lappland während der letzten 100 Jahre. – Arbeiten aus dem Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität **1**: 85–99.
- KUOCH, R. & AMIET, R. (1970):** Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen. – Schweizerische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Mitteilungen **46**(4): 159–328.
- MAREK, R. (1910):** Waldgrenzstudien in den österreichischen Alpen. – Petermanns Geographische Mitteilungen, Ergänzungsheft **168**.
- MIEHE, G. & MIEHE S. (2000):** Comparative high mountain research on the treeline ecotone under human impact. – Erdkunde **54**: 34–50.
- MIEHE, G. & MIEHE S. (1996):** Die obere Waldgrenze in tropischen Gebirgen. – Geographische Rundschau **48**(11): 670–676.
- MUELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H. (1974):** Aims and methods of vegetation ecology. – New York: Wiley & Sons.
- OBERDORFER, E. (1982):** Die hochmontanen Wälder und subalpinen Gebüsche. – Die Natur- und Landschaftsschutzgebiete Baden-Württembergs **12**: 317–363.
- SCHADAUER, K. (1996):** Growth trends in Austria. – In: SPIEKER H. et al. (Hrsg.): Growth trends in European forests: 275–289. – Berlin: Springer.
- SCHARFETTER, R. (1938):** Das Pflanzenleben der Ostalpen. – Wien: Deuticke.
- SCHILLIG, D. (1966):** Geomorphologische Untersuchungen in der Saualpe (Kärnten). – Tübinger Geographische Studien **21**.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (1998):** Globaler Klimawandel – Indizien der Vergangenheit, Modelle der Zukunft. – HGG-Journal **13**: 1–18. [HGG = Heidelberger Geographische Gesellschaft]
- SCHROEDER, F.-G. (1998):** Lehrbuch der Pflanzengeographie. – Wiesbaden: Quelle & Meyer.
- STÜTZER, A. (1992):** Die Waldgrenze und die waldfreien Hochlagen der Saualpe in Kärnten. – Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät III (Geographie), Universität Erlangen-Nürnberg.
- STÜTZER, A. (1999):** Im permanenten Überlebenskampf: Bäume über der Waldgrenze. – Carinthia II **189/109**: 353–360.
- STÜTZER, A. (2000):** Die Wald- und Baumgrenze der Saualpe: Ein Vergleich alter und neuer Bilder. – Forstwissenschaftliches Centralblatt **119**: 20–31.
- TRANQUILLINI, W. (1979):** Physiological ecology of the alpine timberline. – Ecological Studies **31**. – Berlin: Springer.
- TRETER, U. (1984):** Die Baumgrenzen Skandinaviens. – Wiesbaden: Steiner.

Adresse des Autors:

Dr. Andreas Stützer  
 Am Mühlgraben 70  
 D-95445 Bayreuth  
 Deutschland  
 E-mail: andreas.stuetzer@t-online.de



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Wulfenia](#)

Jahr/Year: 2002

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Stützer Andreas

Artikel/Article: [Zwischen subalpinem Wald und alpiner Tundra. Eine Studie zu Struktur und Dynamik der Fichten- Waldgrenze auf der Saualpe \(Kärnten\) 89-104](#)