

Die obere Waldgrenze in den Alpen unter den Einflüssen natürlicher Faktoren und des Menschen

Friedrich-Karl Holtmeier

I. Höhenlage und Physiognomie

Der Wald gehört neben den alpinen Matten und Zwergstrauchheiden zu den ausgedehntesten Ökosystemen der Alpen. Mehr als jede andere Höhengrenze der Vegetation hat die obere Waldgrenze das Interesse nicht nur von Botanikern, sondern auch von Geographen, Forstwissenschaftlern, Pedologen, Klimatologen und Zoologen auf sich gezogen, denn sie tritt nicht nur in der Physiognomie der Hochgebirgslandschaft besonders auffällig in Erscheinung, sondern stellt selbst eine sehr einschneidende Grenze dar im Wandel der ökologischen Bedingungen mit zunehmender Meereshöhe.

Von den Randketten des Gebirges steigt sie zu den im Innern gelegenen Massenerhebungen hin an (s. MAREK 1910; BROCKMANN-JEROSCH 1919). Dieser Anstieg ist nicht allein Folge der aus dem Strahlungsumsatz in großer Höhe resultierenden Überwärmung dieser Gebiete im Vergleich zu Gebirgen geringerer mittlerer Höhe (Heizflächeneffekt), sondern auch der von den Rändern zu den Gebirgszentren hin zunehmenden Kontinentalisierung des Klimas. Häufiges Strahlungswetter, geringe Niederschläge und daher weniger Energieverbrauch durch Verdunstung und Ablation (geringe Schneedeckenhöhe und -dauer, starke Bodenerwärmung und Abgabe großer Mengen fühlbarer Wärme an die Atmosphäre) tragen entscheidend zu dem niveaubedingten und waldgrenzhebenden Heizflächeneffekt bei. Überdies wird die obere Waldgrenze in den Gebirgszentren nicht in dem Maße durch orographische Einflüsse (Schuttkegel und -halden, steile Felswände usw.) herabgedrückt, wie es in den stärker zerschnittenen äußeren Gebirgslagen der Fall ist.

In den Alpen wäre der Anstieg der Waldgrenze zu den Massenerhebungszentren hin noch ausgeprägter, wenn sie nicht im Laufe der Geschichte unter den Eingriffen des Menschen zum Teil beträchtlich abgesunken wäre. Zu den ersten Eingriffen dürfte es schon während der Bronzezeit gekommen sein (s. HOLTMEIER 1974, dort weitere Literaturhinweise). Ihr größtes Ausmaß erreichten sie aber während des Mittelalters, als der Wald auch in den Hochlagen ausgedehnten Rodungen im Gefolge der Alpweidegewinnung, der Salzsiederei (Sudholz) und des Bergbaus (Holzkohleherstellung) zum Opfer fiel. Die Waldweide veränderte nachhaltig die Struktur der Restbestände.

Es ist anzunehmen, daß in dieser Zeit die anthropogenen Einflüsse den Hochlagenbeständen mehr zugesetzt haben als die damaligen Klimaverschlechterungen (um 1200 und 1600 n. Chr.; vgl. auch LAMPADIUS 1937; ZOLLER 1967a, 1967b; MAYER 1970; KÖSTLER & MAYER 1970; KRAL 1973; HOLTMEIER 1974).

Auf gleichmäßig geböschten Hängen wurde der Wald oftmals völlig beseitigt (Photo 1), in Tälern mit ausgeprägtem Trogprofil von oben her durch die Alpwirtschaft und von unten durch den Ackerbau auf die steilen und schwer zugänglichen Trogwände zurückgedrängt, so daß dort nur ein schmaler Waldgürtel übrig blieb. Dieser wurde dann nach und nach auch noch durch die mit der fortschreitenden Waldvernichtung sich häufenden Lawinen, Rufen und dergleichen in Bauminseln und schmale Baumreihen aufgelöst (Photo 2).



Photo 1: Zuoz (1716 m) im Oberengadin (Schweiz). Bis auf kleine Restbestände am unteren Hang und in den Taleinschnitten ist der Wald der Alpweide und dem Ackerbau zum Opfer gefallen. Photo Holtmeier, 5. 9. 1968.



Photo 2: Durch Lawinen und Rufen aufgelöster Waldgürtel auf einem ostexponierten Steilhang im Ferleital (Hohe Tauern). Das flachere Trogschultergelände wird alpwirtschaftlich genutzt. In den Lawinenzügen haben sich stellenweise Grünerlenbüsche (*Alnus viridis*) ausgebreitet (z. B. rechts unten). Photo Holtmeier, August 1970.

Legföhren (*Pinus mugo*) und Grünerlen (*Alnus viridis*) – relativ unempfindlich gegen die mechanischen Beanspruchungen durch die Lawinenschneemassen – erweiterten ihr Areal in diese gefährdeten Bereiche hinein und ersetzten dort den hochstämmigen Nadelwald (Photo 3). In den Kalkalpen breiteten sich die Legföhrenbestände infolge der Rodungen und nach Waldbränden dermaßen auf Kosten des Hochwaldes aus, daß sie dort heute über den Waldbeständen einen weitgehend zusammenhängenden Krummholzgürtel bilden, der in Lawinenzügen und Steinschlagbahnen zum Teil bis in Talnähe vorstößt (vgl. dazu auch GRABHERR 1934; MAYER 1965, 1966; AICHINGER 1967; KÖSTLER & MAYER 1970; WRABER 1970; KRAL 1973; WILMANN & EBERT 1974; HOLTMEIER 1981b).

Auch die Holzartenzusammensetzung und die Bestandesstruktur (Altersklassenverteilung) der Wälder wurde durch den Menschen nachhaltig verändert. Ohne diese Einflüsse gäbe es z. B. die für den Zentralalpenraum so typischen großen Lärchenreinbestände, die in ihrer grasreichen Variante auch als „Lärchenwiesen“ bezeichnet werden, nicht. Von Natur aus würde die Lärche als Licht- und Pionierbaumart nur auf Rohböden und zu Beginn der Waldentwicklung vorherrschen (vgl. AUER 1947; HOLTMEIER 1967b). Die Hochlagenbestände überalterten, da das Alpvieh ihre natürliche Verjüngung weitgehend verhinderte (Verbiß, Vertritt; vgl. Photo 4).

Die Zwergstrauch-Grasheiden über der Waldgrenze wurden ebenfalls stark überprägt. Lichtliebende Arten, wie z. B. der Zwergwacholder (*Juniperus nana*) oder die Alpenrose (*Rhododendron ferrugineum* u. *Rh. hirsutum*) breiteten sich aus. Langandauernde und starke Beweidung hat zur Entstehung der artenarmen alpinen Borstgrasrasen (*Aveno-Nardetum* s.l.; *Curvulo-Nardetum*; vgl. OBERDORFER 1959) geführt. In nicht minder starkem Maße wurden die natürlichen Rasengesellschaften durch die mit der Beweidung verbundene Eutrophierung beeinflußt (Lägerfluren u. ä.). Mit den natürlichen, krautreichen subalpinen Wiesen mancher anderer Hochgebirge, z. B.



Photo 3: Legföhrenbestände (*Pinus mugo*) auf der Südflanke der Mieminger Gruppe (Tirol). Im Lawinenzug dringen sie fast bis zur Talsohle vor. Photo Holtmeier, August 1970.

Asiens oder Nordamerikas sind die alpinen Matten nur noch bedingt vergleichbar (s. HÄMET-AHTI 1978).

So ist die gesamte Vegetationsdecke in den Alpen in ihren Verbreitungsmustern und ihrer Zusammensetzung nur zu einem Teil Ausdruck der aktuellen ökologischen Situation, zum anderen aber spiegelt sich in ihr die im einzelnen nur bedingt erschließbare Standortgeschichte, in deren Verlauf immer wieder anthropogene Eingriffe unterschiedlicher Art, Intensität und Dauer die Entwicklung beeinflusst haben.

Die heutige Waldgrenze ist nur selten linienhaft scharf ausgebildet – z. B. dort, wo orographische Hindernisse (steile Felswände, Schuttkegel und dergl.) den Wald ausschließen oder wo Nutzungsgrenzen zwischen Wald und Weide verlaufen. Meist aber tritt sie als mehr oder weniger breiter Übergangssaum in Erscheinung, in dem sich die geschlossenen Bestände allmählich in Baumgruppen und einzelne Bäume auflösen. Gegen die Baumgrenze zu werden diese immer niedriger und nehmen schließlich an extremen Standorten unter der Einwirkung der harten Umweltbedingungen Wuchsformen an, die zum Teil weit von ihrem artspezifischen normalen „Bauplan“ abweichen (Photo 5; s. auch HOLTMEIER 1980, 1981a).

Die Bestimmung der Höhenlage der Baumgrenze hängt wesentlich davon ab, was man dann noch als Baum ansieht. In diesem Zusammenhang kann man durchaus dar-



Photo 4: Überalterte waldgrenznahe Arvenbestände (*Pinus cembra*) auf dem ostexponierten Hang des Rosegtales (Oberengadin) in 2 100 m Höhe. Photo Holtmeier, August 1963.



Photo 5: Arvenvorposten (*Pinus cembra*) auf einer extrem windexponierten und im Winter häufig schneefreien Geländewelle in 2200 m Höhe auf dem Cuolm da Latsch (bei Bergün, Graubünden). Photo Holtmeier, 19. 8. 1968.

über diskutieren, ob überhaupt und unter welchen Aspekten es angebracht ist, als Definitionskriterium eine bestimmte Mindesthöhe (2 m, 5 m oder mehr) zugrunde zu legen. Letztlich sind auch die obersten krüppelwüchsigen und die sie umgebende Vegetation kaum überragenden Vorposten der tiefer unten den Wald bildenden Baumarten Bäume mit der Fähigkeit zu phanerophytischem Wuchs – der hier allerdings durch die harten Klimateinwirkungen unterdrückt wird (Zwangswuchsformen). Es zeigt sich aber immer wieder, daß bei Verbesserung der Standortbedingungen – z. B. zunehmender Windschutz infolge luvwärts heranwachsender Bestände oder auch künstlicher Hindernisse (Kolktafeln, Schneezäune u. ä.) – bis dahin nur kniehohe Exemplare zu Bäumen heranwachsen können, die allen Mindesthöhenkriterien genügen. Dasselbe ist während günstiger Klimaphasen möglich. So erscheint es durchaus sinnvoll, bei einer auch die Dynamik der Waldgrenze berücksichtigenden Betrachtung diese Vorposten einzu beziehen (s. auch HOLTMEIER 1985a).

Unter dieser Voraussetzung umfaßt der aktuelle Waldgrenzsaum einen Großteil des Bereiches, in dem sich die Waldgrenzverlagerungen seit der postglazialen Wärmezeit abgespielt haben. Die heutigen Höhengrenzen der Alpenrosenbestände (*Rhododendro-Vaccinietum*; EBLIN 1901; SCHRÖTER 1908; PALLMANN & HAFFTER 1933; GAMS 1937, 1970; SCHARFETTER 1938; FÜRER 1957) und vielleicht sogar der Gamsheidespaliere (*Loiseleurio Cetrarietum*; RÜBEL 1912) sollen ungefähr der Lage der wärmezeitlichen Waldgrenze entsprechen*). PALLMANN und HAFFTER (1933) sehen einen entsprechenden Indikator in der oberen Verbreitungsgrenze der Podsolböden. Die wärmezeit-

*) Je nach den Standortbedingungen (Substrat, Bodenmächtigkeit, Exposition zu Wind und Strahlung, Schneedeckenhöhe und -dauer) treten die Alpenrosenbestände und Gamsheidespaliere in unterschiedlicher Gesellschaftsausprägung auf, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann (vgl. dazu SCHWEINGRUBER 1972).

liche Waldgrenze hätte demnach rund 300-400 m höher gelegen als die aktuelle. Stellt man die die Auswirkungen der Klimaverschlechterungen überlagernden und übersteigenden anthropogenen Eingriffe in Rechnung, so ist die allein auf das Klima zurückzuführende Absenkung der Waldgrenze mit ca. 100-200 m zu veranschlagen. Weite Flächen über der heutigen Grenze der geschlossenen Bestände bis hinauf zur Baumgrenze kommen daher als potentiell Waldgebiet in Betracht.

Naturgemäß stellt sich hier die Frage nach der Physiognomie der potentiellen klimatischen Waldgrenze. Viele Autoren haben in den letzten Jahrzehnten die Ansicht vertreten, daß der Wald – sofern nicht das Relief und ungünstige edaphische Bedingungen sein Aufkommen verhindern – bis zu seiner potentiellen Grenze geschlossen vordringen würde (z. B. SCHARFETTER 1938; ELLENBERG 1963, 1966, 1978; SCHIECHTL 1967; NÄGELI 1969; MAYER 1970; KÖSTLER & MAYER 1970; KRAL 1973). Zur Erhärtung dieser Ansicht wurde dann auch auf zum Teil linienhaft scharfe Waldgrenzen in einigen vom Menschen unbeeinflußten bzw. wenig berührten Hochgebirgen hingewiesen (u. a. ELLENBERG 1963, 1966, 1978; SCHIECHTL 1967; SCHIECHTL et al. 1965). Überzeugen kann diese Art der „Beweisführung“ nicht, denn einmal lassen sich leicht zahlreiche Beispiele von natürlich entstandenen mehr oder weniger breiten Übergangssäumen (Waldgrenzökotone) anführen (s. HOLTMEIER 1985a); und zum anderen ist die Waldgrenzphysiognomie und die ökologische Situation nicht allein Ausdruck der aktuellen Verhältnisse, sondern – vor allem – der nur zum Teil erschließbaren und in ihren Wirkungen nachvollziehbaren Standortgeschichte. In deren Verlauf dürften linienhaft klimatische Waldgrenzen vielfach einer „Momentaufnahme“ entsprechen.

II. Einfluß der Standortbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der natürlichen und künstlichen Wiederbewaldung der Hochlagen

An der Waldgrenze – gleich, ob sie nun natürlich (klimatisch) oder anthropogen ist – erfolgt mit der Auflösung der geschlossenen Bestände ein einschneidender Wandel der ökologischen Bedingungen. Im offenen Gelände beeinflussen die Oberflächenformen auch kleinster Dimensionen (Mikrorelief) die gerichteten Klimatelemente Strahlung und Wind, und an die Stelle des ausgeglichenen Bestandsklimas tritt das von zum Teil extremen Kontrasten geprägte Geländeklima der alpinen Stufe. Damit sind weitreichende Folgen für die Bodenbildung, die Bodenfeuchteverteilung, die geomorphologischen Prozesse (z. B. Solifluktion) sowie das Pflanzen- und Tierleben verbunden, die auf engstem Raum wechselnde Standortbedingungen mit sich bringen. Die Situation ist damit der einer natürlichen Kampfzone des Baumwuchses, wie sie in manchen vom Menschen nicht oder nur gering beeinflussten Hochgebirgen anzutreffen ist, durchaus vergleichbar (vgl. Photo 6; s. HOLTMEIER 1985a).

Das zeigt sich in den großen Schwierigkeiten, die Hochlagen wieder aufzuforsten (Vorbeugung von Lawinen, Rufen, Erosion, Bodenabtragung, Wildbachkatastrophen usw.) und auch in der Entwicklung der vielerorts oberhalb der meist überalterten Waldbestände in diesem Jahrhundert spontan aufgekommenen Verjüngung (Photo 5, 8). Sie wurde eingeleitet durch den Rückgang der Alpweide, der mit der in vielen Alpenregionen durchgreifenden Veränderung der Wirtschaftsstruktur (Fremdenverkehr) verbunden war. Die kurzfristige Klimabesserung während der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts mag das Vordringen des Jungwuchses über die Altbestände hinaus begünstigt haben, auslösender Faktor aber war sie hier nicht.



Photo 6: Berninapaß (Graubünden mit Alp da Buond (2 109 m). Blickrichtung SW. Der ursprünglich hier vorhandene Wald ist der Alpwirtschaft und dem Bergbau zum Opfer gefallen. Im windoffenen Gelände bewirkt das bewegte Relief eine sehr ungleichmäßige Schneeverteilung und schärfste Standortgegensätze auf engem Raum. Im Hintergrund schütterer Lärchenbestand. Photo Holtmeier, Mitte März 1978.

Mit Erfolg konnte dieser Jungwuchs nur die einigermaßen günstigen Geländeabschnitte besiedeln. In Muldenlagen und an anderen Standorten mit einer sehr langen Schneedeckendauer – besonders an solchen mit stark humosen Böden und Böden mit Rohhumusaufgaben (vgl. NEUWINGER 1980) –, wie auch an extrem schneearmen und windausgesetzten Stellen sind die Ausfälle hoch und die Chancen einer natürlichen Wiederbewaldung in absehbarer Zeit gering.

An wind- und strahlungsexponierten, schneearmen Standorten fallen die frischen Triebe und Nadeln häufig der Frostrocknis zum Opfer (Photo 7, vgl. auch Photo 5). Während der kurzen und oftmals auch noch ungünstigen Vegetationszeit reifen sie zum Teil nicht völlig aus, so daß sie dann vor allem im Spätwinter bei starker Einstrahlung und Wind sehr viel Wasser durch kutikuläre Transpiration verlieren und diesen Verlust wegen der niedrigen Bodentemperaturen – der Boden muß nicht unbedingt gefroren sein (TRANQUILLINI & PLATTER 1983) – und teilweise blockierter Leitgefäße nicht auszugleichen vermögen (u. a. MICHAELIS 1934a, 1934b; HOLTMEIER 1971; PLATTER 1976; TRANQUILLINI 1974, 1976, 1979b; BAIG et al. 1976; BAIG & TRANQUILLINI 1980; TRANQUILLINI & PLATTER 1983). Besonders nachhaltig wirken sich auf dieses Weise langanhaltende winterliche Schönwetterperioden aus. Mechanische Verletzungen der Nadeln durch Eisgebläse und Aneinanderschlagen der Zweige bei starkem Wind mögen solchen Wasserverlust Vorschub leisten (s. MARCHAND & CHABOT 1978; MARCHAND 1980). Ich habe bei meinen Untersuchungen durch Frostrocknis geschädigter Nadeln allerdings keine Anzeichen einer vorübergehenden mechanischen Verletzung entdecken können (HOLTMEIER 1971, 1980, 1981a).



Photo 7: Durch Frosttrocknis geschädigter Wipfeltrieb einer Arve (*Pinus cembra*) an der Waldgrenze auf dem nordexponierten Hang des Patscherkofels (bei Innsbruck) in 2 070 m Höhe. Ist auch die Braunrot-Färbung der angestorbenen Nadeln auf diesem Photo nicht zu sehen, so ist jedoch die durch das Vertrocknen bedingte Schrumpfung des Triebes zu erkennen. Photo Außenstelle für subalpine Waldforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien.

Die Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen und Beobachtungen auch in anderen Hochgebirgen und an der polaren Waldgrenze sprechen dafür, daß die Frosttrocknis an schneearmen Standorten Baumwuchs ausschließen kann (Lit. dazu in HOLTMEIER 1971 und TRANQUILLINI 1979b). Es sei hier jedoch angemerkt, daß im Gelände Frosttrocknis- und Frostschäden nicht immer zweifelsfrei auseinandergelassen werden können (vgl. auch LARCHER 1963, HOLTMEIER 1981a). Das Ausmaß und die Verbreitung solcher Schäden hängen von den regionalen und lokalen Gegebenheiten (Klima, Reliefgestaltung) ab. In den Alpen treten Frosttrocknisschäden längst nicht so augenfällig in Erscheinung wie zum Beispiel in manchen Hochgebirgen Nordamerikas oder auch an der polaren Waldgrenze.

Mit zunehmender Schneedeckenhöhe und -dauer bessern sich die Verhältnisse für den Jungwuchs zunächst. Eine zu lange Schneebedeckung engt dann aber die Vegetationszeit so stark ein, daß eventuell aufgekommene Keimlinge von den ersten Frösten in einer noch wenig widerstandsfähigen Wachstumsphase überrascht werden und erfrieren.

In schneereichen Geländeabschnitten dennoch aufgekommener Jungwuchs wird sehr häufig Opfer parasitischer Pilze – z. B. der Schneeschütte (*Phacidium infestans*) oder des Schwarzen Schneeschimmels (*Herpotrichia juniperi*, *Herpotrichia coulteri*) –, für die unter der Schneedecke im Spätwinter bei hohem Wassergehalt des Schnees und Schneetemperaturen von Null Grad relativ günstige Wachstumsbedingungen herrschen (z. B. DONAUBAUR 1963, 1980; BAZZIGHER 1976). In Wintern mit vielen Naßschneefällen und langen Abschmelzperioden ist der Jungwuchs besonders gefährdet. Günstige Ausbreitungsmöglichkeiten bieten sich für die Pilze in Mulden, Rinnen und auf Leehängen von Geländewellen und -rippen, wo sehr viel Schnee abgelagert wird. In Gebieten mit vorherrschenden nördlichen Winden sind oft sogar die strahlungsexponierten Hänge so lange von Schnee bedeckt, daß sich dort Pilzinfektionen häufen – zumal der Schnee an solchen Stellen feuchter ist als in Schattlagen. Letztlich ist der Jungwuchs aber auch an zunächst zeitig schneefreien Standorten nicht auf die Dauer vor Pilzinfektionen sicher, da die heranwachsenden Bäume in zunehmendem Maße das bodennahe Windfeld beeinflussen (Turbulenzen, Wirbel) und die Schneeakkumulation erhöhen. Tödlich sind hier die Pilzinfektionen aber meist nur für jüngere, gänzlich vom Schnee bedeckte Bäume (Photo 8). Gleichwohl ist der Pilzbefall einer der Faktoren, die die natürliche Wiederbewaldung und die Aufforstung der Hochlagen am meisten beeinträchtigen.

In sehr schneereichen Geländeabschnitten wird der Baumwuchs zudem durch das Setzen der Schneedecke sowie durch Schneekriechen und -gleiten geschädigt.

Nicht zuletzt wirken auch die vielfach ungünstigen edaphischen Verhältnisse in den ehemals stark beweideten Hochlagen deren natürlicher Wiederbewaldung entgegen. Teils sind die Böden stark verdichtet und schlecht durchlüftet, an Nährstoffen verarmt und/oder es fehlen für die Nährstoffaufnahme notwendige Wurzelpilze (MOSER 1956, 1981; HORAK 1963; GÖBL 1967). Besonders in Geländeabschnitten, in denen Wind und Strahlung die Böden häufig austrocknen, ist die Pilzflora stark reduziert (HORAK 1963; MOSER 1981).

Vielfach hat auch die Erosion nur noch Reste des ehemaligen Bodenprofils übriggelassen (Photo 9), oder die Bodenbildung ist immer wieder durch Rutschungen und Überschüttungen mit Abtragsmaterial unterbrochen worden. Rutschungsgefährdet sind vor allem Flächen, bei denen die Wasserkapazität der tieferen Bodenhorizonte geringer ist als die des Oberbodens. Bei langandauernder Wasserzufuhr – z. B. während der Schneeschmelze – kann es unter diesen Voraussetzungen zu einem Wasserstau im Oberboden mit nachfolgenden Rutschungen kommen (s. NEUWINGER 1980).

Viele Hochlagenaufforstungen zeigen ein entsprechendes Bild. Fehlschläge treten besonders dort deutlich in Erscheinung, wo versucht wurde, die künstliche Wiederbewaldung sozusagen in einem „Kraftakt“ flächenhaft voranzutreiben, ohne auf die kleinräumig wechselnden klimatischen und edaphischen Bedingungen im notwendigen Maße Rücksicht zu nehmen. Das ist aber wohl weniger mangelnder Umsicht und Sorgfalt als vielmehr unzureichender Einsicht in die komplexen Wirkungsgefüge zuzuschreiben und der Schwierigkeit, in diesen extremen Lagen die Situationen vor Ort verläßlich einzuschätzen. Wenn man z. B. mit einiger Sicherheit annehmen kann, daß Jungwuchs auf nordexponierten Standorten nur schwer oder auch gar nicht Fußzufassen vermag, so heißt das keineswegs, daß die Aussichten für ihn auf strahlungsexponierten Flanken von Geländewellen unbedingt günstiger sein müssen. Wirken beispielsweise auf Schattenhängen die niedrigen Luft- und Bodentemperaturen sowie die lange Schneedeckendauer wachstumshemmend, so können auf strahlungsexponierten Standorten die Bodentemperaturen u. U. so hohe Werte erreichen und die Austrock-



Photo 8: Aus Vorratslagern des Tannenhähers hervorgegangener Arvenjungwuchs (*Pinus cembra*) an einem stark windausgesetzten und ursprünglich schneearmen Standort auf dem NW-exponierten Hang des Oberengadiner Haupttales (Graubünden) in 2 200 m Höhe. Die später durch die Bäume verstärkte Schneeeakkumulation hat zu schweren Pilzschäden (*Phacidium infestans*) an diesen geführt. Photo Holtmeier, 23. 9. 1968.



Photo 9: Bodenerosion infolge Überweidung auf dem südostexponierten Hang des Val da Peidra Grossa (bei Samedan, Oberengadin) in 2 200 m Höhe. Photo Holtmeier, August 1963.

nung so stark sein, daß dort keine Samen mehr keimen können oder evtl. aufgekommene Keimlinge absterben (vgl. auch TURNER 1958, 1961b, 1976).

In der Verbreitung der unterschiedlich klimaresistenten und schneeschutzbedürftigen Pflanzengesellschaften der Feldschicht finden die wechselnden Standortbedingungen ihren sichtbaren Ausdruck (vgl. z. B. FRIES 1913; DU RIETZ 1924; BROCKMANN-JEROSCH 1928; FRIEDEL 1961).

Dies hat man sich zunutze gemacht und auf empirischem Wege für einige Waldgrenzbereiche der Zentralalpen Ökogramme entwickelt, die auch „angelerntem“ Forstpersonal als praktische Hilfe bei der Beurteilung von Standortbedingungen und der Wahl der jeweils zu treffenden Maßnahmen (Art der Pflanzung, Holzartenwahl, standortsverbessernde Maßnahmen usw.) dienen können (s. FRIEDEL 1961; TURNER 1961a; AULITZKY 1963; TURNER et al. 1975). Ihrer Übertragbarkeit sind angesichts der regional sehr unterschiedlichen Verhältnisse (Klimacharakter, Kristallin bzw. Kalk usw.) jedoch enge Grenzen gesetzt (vgl. AULITZKY 1963 und SCHÖNENBERGER 1976).

Ein Großteil der Fehlschläge ist auch auf die anfangs häufigere Verwendung ungeeigneter Holzarten-Provenienzen zurückzuführen. Dabei mag nicht zuletzt eine gewisse Experimentierfreudigkeit mit gespielt haben und der Wunsch, das Holzartenspektrum zu erweitern, vor allem aber ließ der Mangel an autochthonem Saat- und Pflanzgut in ausreichender Menge auf fremde Holzarten zurückgreifen. Allenthalben zeigt sich, daß die besten Ergebnisse mit Saat und Pflanzung vom Ort stammender Herkünfte erzielt wurden. Zur Zeit ist man jedoch dabei, Baumarten von der oberen Waldgrenze (ca. 3 500 m) der Rocky Mountains auf ihre Eignung für die Aufforstung von Extremstandorten an der oberen Waldgrenze in den Alpen zu prüfen (TURNER 1983).

Gleichwohl steckt selbst die Erforschung der genetischen Eigenschaften verschiedener alpiner Holzarten und Gehölz-Provenienzen noch in den Anfängen. Neuere Untersuchungen von Austrieb und Zuwachs von Fichtenklonen (*Picea abies*) in verschiedener Meereshöhe (TRANQUILLINI 1979a; TRANQUILLINI et al. 1980) zum Beispiel haben gezeigt, daß frühtreibende Exemplare, die in tiefen Lagen häufig durch Spätfröste in Mitleidenschaft gezogen werden, in größerer Höhe aufgrund ihrer genetisch festgelegten Wärmeansprüche viel später austreiben und dann kaum noch durch Spätfröste gefährdet werden. Da sie zudem ihr Höhenwachstum eher abschließen als spätreibende Pflanzen, bleibt für die Ausreifung der frischen Triebe mehr Zeit. Eine unter diesen Aspekten getroffene sorgfältige Auswahl der Herkünfte eröffnet hier vielversprechende Möglichkeiten.

In einer Naturlandschaft läuft die Sukzession je nach den kleinräumig wechselnden Standortbedingungen, der Häufigkeit der Samenjahre und der Effektivität der natürlichen Verjüngung (vgl. dazu KUOCH 1965; HOLTMEIER 1967, 1974) mit unterschiedlicher Geschwindigkeit ab, so daß in einem größeren Areal verschiedene Entwicklungsphasen (Pionier-, Klimax-, Zerfallsstadium) nebeneinander in räumlicher Verzahnung auftreten. Daher droht dem Waldbestand auch nicht ein gleichzeitiger Zerfall auf breiter Front, sondern eventuelle altersbedingte Bestandszusammenbrüche bleiben räumlich beschränkt und werden sehr bald wieder von der Regeneration abgelöst.

Der Zwang, die Hochlagen aber möglichst rasch und bis in oder wenigstens bis dicht an die Lawinenanrißgebiete heran aufzuforsten, birgt nun die Gefahr, daß die Waldentwicklung auf großen Flächen annähernd synchron verläuft. Auf lange Sicht ist damit auch die Gefahr eines flächenhaften Zerfalls dieser künstlich begründeten

Bestände verbunden. Wie die Terminalphase der Waldentwicklung, so bietet auch die erste Verjüngungsphase den Lawinen nur wenig oder auch keinen Widerstand, so daß eine die Hänge weit herabreichende Zerstörung des Waldgürtels die Folge sein kann. Forstliche Pflegemaßnahmen – sie betreffen in erster Linie die Sicherung einer natürlichen und/oder künstlichen Verjüngung in den Aufforstungen – sollen daher nicht nur die durch eine günstige Altersstruktur, hohe Stammzahl und große Stabilität gekennzeichnete Optimalphase möglichst lange zu erhalten versuchen, sondern auch auf eine räumlich differenzierte Verteilung der sich in diesem Entwicklungszustand befindenden Waldkomplexe im zu sichernden Gelände zum Ziel haben (s. MAYER 1979).

Man kann die Wiederbewaldung der Hochlagen auch nicht der Natur überlassen – weil sie nicht gerade dort beginnt, wo sie dringend nötig ist, und weil sie im allgemeinen zu langsam abläuft und sich zunächst auf die günstigen Standorte beschränkt. Ein kritischer Punkt ist dabei auch die Versorgung der Hochlagen mit keimfähigen Samen in ausreichender Menge (vgl. HOLTMEIER 1974). Am effektivsten ist noch die Verbreitung der Arvensamen durch den Tannenhäher (HOLTMEIER 1966; MATTES 1978). Junge Arvengruppen finden sich oft weit oberhalb der aktuellen Waldgrenze (vgl. auch Photo 8). Lärchen-, Kiefern- und Fichtensamen werden zwar vom Wind zum Teil über die Waldgrenze hinaus verfrachtet – der Großteil der Samen fällt allerdings schon in kurzer Entfernung (ein oder zwei Baumhöhen) vom Samenbaum zu Boden (s. KUOCH 1965; HOLTMEIER 1974) –, doch verhindert die geschlossene Vegetationsdecke (Borstgrasrasen, Reitgras, Zwergstrauchheide usw.), daß diese Samen in ein Keimbett gelangen.

Besonders nachteilig wirken sich auch Verbiß-, Schäl- und Trittschäden durch das allgemein in zu großer Zahl vorhandene Rotwild auf den Baumwuchs in den Hochlagen aus, wo er ohnehin unter schwierigsten Umweltbedingungen existieren muß. Lokal ist auch das Steinwild zu einem ernststen Problem geworden (vgl. dazu HOLTMEIER 1969, 1986). Wirksame Abhilfe können nur durchgreifende Reduzierungen und ständige Kontrollen des Populationswachstums schaffen.

Angesichts der skizzierten Entwicklung des spontan über der Altwaldgrenze aufgetretenen Jungwuchses bzw. der Hochlagenaufforstungen unter dem Einfluß der abiotischen und biotischen Standortfaktoren ist eine bis zur potentiellen Waldgrenze fortschreitende Wiederbewaldung der Hochlagen wenn überhaupt, so doch in noch nicht absehbaren Zeiträumen zu erwarten.

III. Zusammenfassung und Schlußbemerkungen

Die Besiedlung und wirtschaftliche Erschließung der Alpen haben im Laufe der Geschichte zu einer weitgehenden Entwaldung der Hochlagen geführt. Zum Teil ist die Waldgrenze um mehrere hundert Meter herabgedrückt worden. Entwaldungsbereiche zeichnen sich heute durch von scharfen Kontrasten geprägte geländeklimatische Verhältnisse aus, von denen wiederum das Wachstum, die edaphischen Bedingungen und geomorphologischen Prozesse beeinflußt werden.

Mit der Entwaldung häuften sich Lawinen, Rutschungen und verheerende Hochwasser. Um solchen Ereignissen vorzubeugen ist man bemüht, die Hochlagen wieder aufzuforsten. Stellenweise hat nach Rückgang der Alpwirtschaft auch eine natürliche Wiederbewaldung eingesetzt. Dabei rückt der Baumwuchs entlang der geländeklimatisch und edaphisch günstigen Standorte hangaufwärts vor, während andere Gelän-

deabschnitte weitgehend baumlos bleiben. Auch die Konkurrenz der Gras- und Zwergstrauchvegetation vermag Baumwuchs auszuschließen.

Große Ausfälle bei frühen Aufforstungen sind größtenteils darauf zurückzuführen, daß flächenhaft angepflanzt und die zum Teil extremen Standortsunterschiede nicht ausreichend berücksichtigt wurden. Zudem wurden vielfach ungeeignete Provenienzen verwendet.

Ist die potentielle Waldgrenze letztlich auch eine Wärmemangelgrenze, so fällt sie jedoch nicht mit einem bestimmten Schwellenwert des vertikalen Temperaturgradienten zusammen (z. B. Mitteltemperatur des wärmsten Monats, Mindestwärmesumme während der Vegetationszeit u. ä.). Sie ist somit kein „Niveaueffekt“, sondern wird durch die „relieforientierten“ ökologischen Bedingungen (geländeklimatische Differenzierung usw.) bestimmt (FRIEDEL 1967).

Die Effizienz der Aufforstungsbemühungen hängt wesentlich von einer verlässlichen Beurteilung dieser Verhältnisse ab. Eine gewisse Hilfe bieten sogenannte Ökogramme, wie sie z. B. für Waldgrenzbereiche in den Zentralalpen mehrfach entworfen wurden. Ihrer Übertragbarkeit sind jedoch enge Grenzen gesetzt.



Photo 10: Regeneration des Fichtenwaldes (*Picea abies*) in einem Lawinenzug auf dem Westhang des Stubaitales (Tirol). Photo Holtmeier, 20. 4. 1981.

Der Schutzfunktion des Waldes kommt in den vom Steilrelief geprägten Alpen eine sehr viel größere Bedeutung zu als in Lebensräumen außerhalb des Gebirges. Das gilt insbesondere für die Hochlagenwälder. Nur ein ökologisch stabiler und möglichst hoch hinaufreichender Waldgürtel kann auf Dauer die Bewohnbarkeit der Alpentäler sichern.

Durch die zunehmende Verschmutzung der Atmosphäre hat sich die Situation in jüngster Zeit stark zugespitzt. Sie bringt gerade für den Baumwuchs in den Hochlagen, der ohnehin stärkstem Klimastreß ausgesetzt ist, eine zusätzliche Belastung mit sich, die nicht nur den Erfolg der bisherigen Aufforstungen und der natürlichen Verjüngungen oberhalb der geschlossenen Bestände, sondern vor allem auch deren Existenz in steigendem Maße gefährdet.

Andererseits kann man nicht an der altbekannten Tatsache vorbeisehen, daß selbst bis an ihre potentielle Grenze hinaufreichende Waldbestände durch oberhalb abgehende Lawinen in gewissen zeitlichen Abständen – die statistische Wiederkehrhäufigkeit solcher Ereignisse liegt in 95 % aller Fälle unter 75 Jahren (FLOEHN 1975) – vernichtet werden. Unter günstigen Umständen erholt sich der Wald wieder bis zum nächsten Lawinnenniedergang (Photo 10). Das ist der natürliche Ablauf des Naturgeschehens in einem Hochgebirge. Damit wiederum steht die dichte Besiedlung und totale Inwertsetzung der Landschaft längst nicht mehr in Einklang, so daß in extrem gefährdeten Bereichen obere Lawineneinzugsgebiete und -sturzbahnen durch künstliche Verbauungen (Lawinenmauern, Schneezäune, -rechen usw.) gesichert werden müssen, will man Katastrophen ausschließen (s. auch IN DER GAND 1978).

Summary

For some thousands of years the forests and the upper timberline have been affected by Man (alpine pasturing, mining, logging ect.). The upper timberline was lowered for about 300 m as compared to its uppermost position during the postglacial thermal optimum. Avalanches, land slides and torrential washes became more frequent and a permanent threat for the people living in the high-mountain valleys. Reforestation has proved to be the best way to prevent such catastrophies. After the high altitude forests had been destroyed, site conditions deteriorated considerably, and the man-made timberline has become an as pronounced ecological boundary as the natural climatic timberline had been before. The tree growth is hampered more by unfavourable site conditions than one should expect with regard to the relatively low position of the actual timberline. Desiccation, frost and infections by parasitic fungi (*Phacidium infestans*, *Herpotrichia juniperi*, *H. coulteri*) are the factors most detrimental to tree growth.

Afforestation must be carried out closely related to the locally changing site pattern. At places trees have come up spontaneously when grazing by livestock and sheep ceased. However, the natural invasion of abandoned alpine pasture areas should be favoured, but it cannot be left at that, since only a continuous compact uneven-aged forest belt reaching as high as possible provide sufficient protection from avalanches ect.. In addition to climatic stress the young trees at high altitudes are heavily affected by too high ungulate populations. At present air pollution has become another factor detrimental not only to young trees but also to the old mature forest. Failure of afforestations and natural reforestation above the actual timberline and the decay of the existent uppermost forest belt will endanger the welfare of the mountain people seriously and persistently.

Literatur

- AICHINGER, E. (1967): Pflanzen als forstliche Standortsanzeiger. Wien.
- AUER, Ch. (1947): Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins. – Mitt. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **25**: 7-140.
- AULITZKY, H. (1963): Grundlage und Anwendungen des vorläufigen Wind-Schneeökogramms. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn **60**: 763-834.
- ,– H. TURNER & H. MAYER (1982): Bioklimatische Grundlagen einer standortgemäßen Bewirtschaftung des subalpinen Lärchen-Arvenwaldes. – Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **58** (4): 325-580.
- BAIG, M., N. W. TRANQUILLINI, W. & W. HAVRANEK (1976): Cutikuläre Transpiration von *Picea abies*- und *Pinus cembra*-Zweigen aus verschiedener Seehöhe und ihre Bedeutung für die winterliche Austrocknung der Bäume an der alpinen Waldgrenze. – Cbl. f. d. ges. Forstw. **91**: 195-211.
- BAIG, M. N. & W. TRANQUILLINI (1980): The effects of wind and temperature on cuticular transpiration of *Picea abies* and *Pinus cembra* and their significance in dessication damage at the alpine timberline. – Oecologia **47**: 252-256.
- BAZZIGHER, G. (1976): Der Schwarze Schneeschimmel der Koniferen (*Herpotrichia juniperi* (DUBY) PETRAK und *Herpotrichia coulteri* (PECK) (BOSE)). – Europ. J. of Forest Pathol. **6** (2): 109-122.
- BROCKMANN-JEROSCH, H. (1919): Baumgrenze und Klimacharakter. – Beitr. z. geobot. Landesaufn. **6**.
- ,– (1928): Die Vegetation der Schweiz. – Beitr. z. geobot. Landesaufn. **12**: 289-384.
- DONAUBAUER, E. (1963): Über die Schneeschütte-Krankheit (*Phacidium infestans* KARST.) der Zirbe (*Pinus cembra* L.) und einige Begleitpilze. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn **60**: 575-600.
- ,– (1980): Über die Pilzkrankheiten in Hochlagenaufforstungen. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien **129**: 51-62.
- DU RIETZ, E. (1924): Studien über die Vegetation der Alpen mit derjenigen Skandinaviens verglichen. – Veröff. Geobot. Inst. Rübél **1**: 31-138.
- EBLIN, E. (1901): Die Vegetationsgrenzen der Alpenrose als unmittelbare Anhalte zur Festsetzung früherer bzw. möglicher Waldgrenzen in den Alpen. – Schweiz. Ztschr. f. Forstw. **52**: 133-157.
- ELLENBERG, H. (1963): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – 1. Aufl., Stuttgart.
- ,– (1966): Leben und Kampf an den Baumgrenzen der Erde. – Naturw. Rdsch. **19** (4): 133-139.
- ,– (1978): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. – 2. Aufl., Stuttgart.
- FOEHN, P. (1975): Statistische Aspekte bei Lawinenereignissen. – Interpraevent, 293-304.
- FREY, W. (1979): Über das Abbiegen von Stämmen junger Lärchen durch Schneedruck. – Proc. IUFRO Seminar Mountain Forests and Avalanches, Davos 1978, 183-203.
- FRIEDEL, H. (1961): Schneedeckenandauer und Vegetationsverbreitung im Gelände. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn **59**: 317-369.
- ,– (1965): Kleinklima-Kartographie. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn **66**: 13-52.
- ,– (1967): Verlauf der alpinen Waldgrenze im Rahmen anliegender Gebirgsgelände. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien **75**: 81-172.
- FRIES, T. C. E. (1913): Botanische Untersuchungen im nördlichsten Schweden. Ein Beitrag zur Kenntnis der alpinen und subalpinen Vegetation in Torne Lappmark. – Vetensk. prakt. unders. Lappland, Uppsala u. Stockholm.
- FURRER, E. (1957): Das schweizerische Arvenareal in pflanzengeographischer und forstgeschichtlicher Sicht. – Ber. geobot. Forschungsinst. Rübél, 16-23.
- GAMS, H. (1937): Aus der Geschichte der Alpenwälder. – Ztschr. DÖAV, 157-170.
- ,– (1970): Die Erforschung der Flora und Vegetationsgeschichte der Ötztaler Alpen. – Mitt. ostalpin-din. Ges. f. Vegetationskde. **11**: 55-62.
- GÖBL, F. (1967): Mykorrhizauntersuchungen in subalpinen Wäldern. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien **75**: 335-356.
- GRABHERR, W. (1934): Der Einfluß des Feuers auf die Wälder Tirols in Vergangenheit und Gegenwart. – Cbl. f. d. Forstw. **60**: 260-273 und 289-302.

- HÄMET-AHTI, L. (1978): Timberline – meadows in Wells Gray Park, British Columbia and their comparative geobotanical interpretation. – *Syesis* **11**: 187-211.
- HOLTMEIER, F. K. (1966): Die ökologische Funktion des Tannenhähers im Zirben-Lärchenwald und an der Waldgrenze des Oberengadins. – *J. f. Ornithol.* **4**: 337-345.
- ,- (1967a): Zur natürlichen Wiederbewaldung aufgelassener Alpen im Oberengadin. – *Wetter und Leben* **19**: (9/10): 195-202.
- ,- (1967b): Die Verbreitung der Holzarten im Oberengadin unter dem Einfluß des Menschen und des Lokalklimas. – *Erdk.* **XXI** (4): 249-258.
- ,- (1969): Das Steinwild in der Landschaft von Pontresina. – *Natur und Museum* **99** (1): 15-24.
- ,- (1971): Waldgrenzstudien im nördlichen Finnisch-Lapland und angrenzenden Nordnorwegen. – *Rep. Kevo Subarctic Res. Stat.* **8**: 53-62.
- ,- (1974): Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenze in vergleichender Sicht (nördliches Fennoskandien/Zentralalpen). – *Erdwiss. Forschung VIII*, Wiesbaden.
- ,- (1980): Influence of Wind on tree-physiognomy at the upper timberline in the Colorado Front Range. – *New Zealand Forest Service, Techn. Paper* **70**: 247-261.
- ,- (1981a): Einige Besonderheiten des Krummholzgürtels in der Colorado Front Range. – *Wetter und Leben* **33**: 150-160.
- ,- (1981b): What does the term „Krummholz“ really mean? Observations with special regard to the Alps and the Colorado Front Range. – *Mountain Res. and Development* **1** (3-4): 253-260.
- ,- (1985a): Die klimatische Waldgrenze – Linie oder Übergangssaum. – *Erdkde.* **39**: 271-285.
- ,- (1986): Biber und Steinwild – Beobachtungen und Studien zur Wiederansiedlung von Tieren in ihren ehemaligen Lebensräumen. – *Münstersche geogr. Arbeiten (Festschr. 100 Jahre Geogr. Inst.)*, im Druck.
- HORAK, E. (1963): Pilzökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe (*Piceetum subalpinum* und *Rhodoreto vaccinietum*) der Rhätischen Alpen (Dischmatal, Graubünden). – *Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw.* **39** (1): 1-112.
- IN DER GAND, H. (1978): Wald als Lawinenschutz. – *Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien* **125**: 113-127.
- KÖSTLER, N. & H. MAYER (1970): Waldgrenzen im Berchtesgadener Land. Jubiläumsjahrh. 1900-1970, **35**. Band des Ver. z. Schutz der Alpenpflanzen und -tiere, 1-33.
- KRAL, F. (1973): Zur Waldgrenzdynamik im Dachsteingebiet. – *Jd. Ver. z. Schutze der Alpenpflanzen und -tiere* **38**: 71-79.
- KUOCH, R. (1965): Der Samenanflug 1963/1964 an der oberen Fichtenwaldgrenze im Sertigtal. *Mitt. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw.* **41** (3): 63-85.
- LAMPADIUS, G. (1937): Die Höhengrenzen der Cima d'Asta und des Lagorai-Gebirges. – *Berliner Geogr. Arbeiten* **15**, Stuttgart.
- LARCHER, W. (1963): Zur spätwinterlichen Erschwerung der Wasserbilanz von Holzpflanzen an der Waldgrenze. – *Ber. naturwiss. -med. Ver. Innsbruck* **53**: 125-137.
- MARCHAND, P. J. (1980): Causes for coniferous timberline in the northern Appalachian Mountains. – *New Zealand Forest Service Techn. Paper* **70**: 231-246.
- ,- & B. F. CHABOT (1978): Winter water relations of tree-line plant species on Mt. Washington, New Hampshire. – *Arctic and Alpine Res.* **10** (1): 105-116.
- MAREK, R. (1910): Waldgrenzstudien in den österreichischen Alpen. – *Petermanns Mitt., Erg. Heft* **168**.
- MATTES, H. (1978): Der Tannenhäher im Engadin – Studien zu seiner Ökologie und Funktion im Arvenwald. – *Münstersche Geogr. Arbeiten* **2**.
- MAYER, H. (1965): Zur Waldgeschichte des Steineren Meeres. – *Jd. Ver. z. Schutze der Alpenpflanzen und -tiere* **30**: 100-120.
- ,- (1966): Waldgeschichte des Berchtesgadener Landes, Salzburger Kalkalpen. – *Forstw. Forschungen, Beih. z. Forstw. Cbl.* **22**: 1-42.
- ,- (1970): Waldgrenzen in den Berchtesgadener Kalkalpen. – *Mitt. ostalpin -din. Ges. f. Vegetationskde.* **11**: 109-120.
- ,- (1979): Ökosystem Lawinenschutzwald. *Proc. IUFRO Seminar Mountain Forest Avalanches, Davos 1978*, 281-299.
- MICHAELIS, P. (1934a): Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze IV. Zur Kenntnis des winterlichen Wasserhaushaltes. – *Jb. Wiss. Bot.* **80**: 169-298.

- , (1934b): Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze V. – Jb. Wiss. Bot. **80**: 487-497.
- MOSER, M. (1956): Die Bedeutung der Mykorrhiza für Aufforstungen in Hochlagen. – Forstw. Cbl. **75**: 8-18.
- , (1981): Mycoflora of the transitional zone from subalpine forests to alpine tundra. – in: G. A. LAURSEN & J. F. AMMIRATI (Eds.) „Arctic and Alpine Mycology. Proc. first internat. Symp. (FISAM), Barrow, Alaska, Paper presented.
- NÄGELI, W. (1969): Waldgrenze und Kampfzone in den Alpen. – HESPA-Mitt. **19** (1).
- NEUWINDER, I. (1980): Erwärmung, Wasserrückhalt und Erosionsbereitschaft subalpiner Böden. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien **129**: 113-144.
- OBERDORFER, E. (1959): Borstgras- und Krummseggenrasen in den Alpen. – Beitr. Naturk. Forsch. Südwest-Deutschld **18**: 117-143.
- PALLMANN, H. & P. HAFFTER (1933): Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin. – Ber. Schweiz. Bot. Ges. **42**: 357-466.
- PLATTER, W. (1976): Wasserhaushalt, cutikuläres Transpirationsvermögen und Dicke der Cutin-schichten einiger Nadelholzarten in verschiedenen Höhenlagen und nach experimenteller Verkürzung der Vegetationszeit. – Diss. Univ. Innsbruck.
- RÜBEL, E. (1912): Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. – Bot. Jb. **47**.
- SCHARFETTER, R. (1938): Pflanzengesellschaften der Ostalpen. – Wien.
- SCHIECHTL, H. M. (1967): Die Physiognomie der potentiellen natürlichen Waldgrenze und Folgerungen für die Praxis der Aufforstung in der subalpinen Stufe. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien **75**: 5-55.
- , R. STERN & E. W. WEISS (1965): In anatolischen Gebirgen. – Kärntner Museumsschriften **31**: 1-187.
- SCHÖNENBERGER, W. (1975): Standorteinflüsse auf Versuchsaufforstungen an der alpinen Waldgrenze (Stillberg, Davos). – Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **51** (4): 359-428.
- , (1976): Über den Erfolg einer Hochlagenaufforstung auf verschiedenen Standortstypen (Stillberg, Dischmatal, Davos). – Verh. Ges. f. Ökol., Wien, 55-60.
- , (1985): Performance of high altitude afforestations under various site conditions. – Ber. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **270**: 233-240.
- SCHRÖTER, C. (1908): Das Pflanzenleben der Alpen. – Zürich.
- SCHWARZENBACH, F. H. (1985): Contributions of subalpine ecological research to the exploration of the present largescale forest decay. – Ber. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **270**: 7-10.
- SCHWEINGRUBER, F. H. (1972): Die subalpinen Zwergstrauchgesellschaften im Einzugsgebiet der Aare (Schweizerische nordwestliche Randalpen). – Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw. **48** (2): 197-504.
- TRANQUILLINI, W. (1974): Der Einfluß von Seehöhe und Länge der Vegetationszeit auf das cutikuläre Transpirationsvermögen von Fichtensämlingen im Winter. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. **87**: 175-184.
- , (1976): Water relations and alpine timberline. – Ecol. Studies **19**: 473-491.
- , (1979a): Über die Frostgefährdung von Fichten in verschiedener Seehöhe. – Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München **35**: 51-57.
- , (1979b): Physiological ecology of the alpine timberline – tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps. – Ecological Studies **31**.
- , F. LECHNER, P. OBERARZBACHER, L. UNTERHOLZNER & K. HOLZER (1980): Über das Höhenwachstum von Fichtenklonen in verschiedener Seehöhe. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Wien **129**: 7-25.
- , & W. PLATTER (1983): Der winterliche Wasserhaushalt der Lärche (*Larix decidua* MILL.) an der alpinen Waldgrenze. – Verh. Ges. f. Ökologie **IX**: 433-443.
- TURNER, H. (1958): Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze. – Wetter und Leben **10** (1/2): 1-11.
- , (1961a): Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse. – Mitt. forstl. Bundesversuchsanst. Mariabrunn **59**: 265-315.
- , (1961b): Jahresgang und biologische Wirkungen der Sonnen- und Himmelstrahlung an der Waldgrenze der Ötztaler Alpen. – Wetter und Leben **13** (5/6): 93-113.
- , (1966): Die globale Hangbestrahlung als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe. – Mitt. schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **42** (3): 110-168.

- ,- (1976): Bergwald im Kampf gegen Natur und Mensch. – Ber. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **168**: 1-8.
- ,- (1980): Typos of microclimate at high elevations. – New Zealand Forest Service Techn. Paper **70**: 21-26.
- ,- (1983): Die Aufforstung von Lawinenzügen im Hochgebirge. – Bündner Zeitung 19.3.
- ,- P. ROCHAT & A. STREULE (1975): Thermische Charakteristik von Hauptstandorttypen im Bereich der oberen Waldgrenze (Stillberg, Dischmatal bei Davos). – Mitt. Eidg. Anst. f. d. forstl. Versuchsw. **51**: 95-120.
- WAKABAYASHI, R. (1979): Deformation and damage to forest plants by snow forces. – Proc. IUFRO Seminar Mountain Avalanches, Davos 1978, 203-208.
- WILMANN, O. & J. EBERT, (1974): Aktuelle und potentielle Grenzen des Latschengürtels im Quellgebiet des Lech (Vorarlberg). – Ber. internat. Symp. Internat. Ver. f. Vegetationskde. 8.-11. April 1968, 207-218.
- WRABER, M. (1970): Die obere Wald- und Baumgrenze in den slowenischen Hochgebirgen in ökologischer Betrachtung. – Mitt. ostalpin-din. Ges. f. Vegetationskde. **11**: 235-248.
- ZOLLER, H. (1967a): Postglaziale Klimaschwankungen und ihr Einfluß auf die Waldentwicklung Mitteleuropas einschließlich der Alpen. – Ber. Dtsch. Bot. Ges. **80** (10): 690-696.
- ,- (1967b): Holocene fluctuations of cold climate in the Swiss Alps. – Rev. Palaeobot. Palynol. **2**: 267-269.

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Friedrich-Karl Holtmeier, Institut für Geographie, Robert-Koch-Straße 26, D-4400 Münster.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen aus dem Westfälischen Provinzial-Museum für Naturkunde](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [48_2-3_1986](#)

Autor(en)/Author(s): Holtmeier Friedrich-Karl

Artikel/Article: [Die obere Waldgrenze in den Alpen unter den Einflüssen natürlicher Faktoren und des Menschen 395-412](#)