

Vom Existenzkampf des Baumes im Hochgebirge

Von *Walter Tranquillini*, Innsbruck

Der Wanderer, der vom Talboden aus den Gipfeln zustrebt, steigt die Bergflanken hinauf durch gewöhnlich heute noch streckenweise zusammenhängende große Waldbestände. Sie breiteten sich ursprünglich als geschlossener Mantel über die Hänge. Erst der Mensch, der dichter und dichter auch den Alpenraum besiedelte, hat zur Gewinnung von Acker und Grünland Breschen in diesen Wald geschlagen und so die scheckige Landschaft entstehen lassen, worin helles Kulturland sich mit dem Dunkelgrün des Waldes verzahnt und ausgedehnte Grünflächen mit scharfem Rand auch von oben herunter den Wald beschneiden und zurückdrängen¹⁾. Wieweit hinauf er reichen würde, wäre er in Ruhe geblieben, können wir heute meist nur mehr an unzugänglichen, steinigen und felsigen Stellen erkennen, die für Mahd und Weide nicht genutzt werden, wo sich daher Reste des ursprünglichen Waldes erhalten haben.

Diese obere alpine Waldgrenze — definiert als Verbindungslinie aller Endpunkte zusammenhängenden Waldes — wird jedoch von einzelnen Bäumen, besonders aber vom Jungwuchs der die Waldgrenze bildenden Holzarten überschritten. Es wagen sich Baumgruppen oder Einzelgänger oftmals noch 100 bis 200 m höher hinauf als ihre Artgenossen im geschlossenen Hochwald. Sie müssen allerdings bei diesem Vorstoß in eine Region ungünstigster Lebensbedingungen einen harten Kampf führen, dem endlich die Vorwitzigsten unter ihnen — die sich am höchsten hinaufwagten — erliegen. Wir haben die Baumgrenze erreicht, also jene Linie, über die unter den gegebenen Verhältnissen kein Baum vorzudringen in der Lage ist. Den Gürtel zwischen Wald- und Baumgrenze bezeichnet man treffenderweise als Kampfzone, weil fast alle Bewohner dieser Zone Kennzeichen eines unerbittlichen Kampfes um die Existenz tragen.

Im Kampfgürtel lockert sich der anfangs noch mehr oder weniger geschlossene Baumbestand mit zunehmender Höhe auf und beschränkt sich immer mehr auf einzelne begünstigte Standorte. Gleichzeitig mit dieser Auflösung geht eine Verminderung des Höhenwuchses Hand in Hand (Abb. 1). Während knapp oberhalb der Waldgrenze noch mächtige, hochwüchsige, bis zum Boden dicht beastete Bäume stehen, nimmt ihre Höhe gegen die Baumgrenze immer mehr ab. Buschige, gedrungene Zwergformen nehmen überhand, schmiegen sich dem Boden an, ducken sich hinter Bodenwellen und einzelne Steine. Ihre Gestalt wird mehr von der Höhe der schützenden Schneedecke als vom ursprünglichen Organisationsplan der Pflanze bestimmt (Abb. 2).

¹⁾ Ekmüller, O.: Die Waldgrenze in der Steiermark. Allg. Forstzeitung Wien. 64, 159 (1953).

Wie die arktische ist auch die alpine Wald- und Baumgrenze klimatisch bedingt. Mit zunehmender Höhe bzw. Breitengrad nimmt bekanntlich die Temperatur und damit auch die Zahl der Tage ab, die hinreichend warm sind, daß sie von der Pflanze für ihre Lebenstätigkeit genutzt werden könnten: Die Vegetationsperiode wird immer kürzer. Für die maßgebliche Rolle, die in diesem Sinne die Wärme spielt, spricht unter anderem, daß die Waldgrenze an bestrahlten Südhängen im allgemeinen einige hundert Meter höher liegt als an beschatteten Nordhängen. In dem oben angedeuteten Sinne spricht weiter, daß die Waldgrenze ebenso wie die obere Grenze der verschiedensten Wild- und Kulturpflanzen (Getreide!) und damit auch die Siedlungsgrenzen vom Alpenaußenrand gegen die Mitte hin ansteigen und in den großen zentralen Massiven, wo kontinentales Klima herrscht, am höchsten zieht. Dieses Klima der Massenerhebungen ist aber im Gegensatz zum ozeanischen Klima, das den Alpenrand beeinflusst, durch trockene und vor allem wärmere Sommer ausgezeichnet. Das Temperaturklima ist letzten Endes auch Ursache dafür, daß die Waldgrenze auf dem Talgrund der hintersten Verzweigungen in den zentralalpinen Tälern, wo von den Gletschern Kaltluftströme einfließen, wieder sinkt, während sie auf Schultern und Rücken zwischen einer Talgabel höher liegt.

Der zweite Klimafaktor von maßgeblichstem Einfluß auf die Verteilung der Vegetation im hohen Norden wie im Hochgebirge ist der Wind. Windhäufigkeit und -stärke nehmen mit steigender Meereshöhe zu²⁾. Dabei ist das Gelände stärker zergliedert und steiler als in den Niederungen und bietet dem Wind daher mehr Angriffsmöglichkeit. Sturm aber bedeutet für die Pflanze mechanische Beanspruchung und erhöhte Gefahr von unersetzbarem Wasserverlust. Sie ist im Sommer im allgemeinen nicht schlimm, viel entscheidender ist die Wirkung des Windes im Winter, wenn er den Schnee von den ihm entgegenstehenden Rücken und Graten fegt, dabei mit dem Gebläse der Eiskristalle Pflanzenpolster und Spaliere buchstäblich anfeilt³⁾, andererseits Löcher und Gräben hinter diesen Hindernissen hochauf zuschüttet. Die durch das Kleinrelief bedingte und vom Wind hervorgerufene verschiedene Schneebedeckung übt einen entscheidenden Einfluß auf die Verteilung der Vegetation aus. Während ausgesprochene Schneeschützlänge wie die Alpenrose auf lange und sicher schneebedeckte Hänge und Rinnen zurückgedrängt werden, besiedeln andere, wind- und frosthärtere Vegetationsgesellschaften, vor allem Bestände der Alpenazalee und Windbartflechte (*Alectoria ochroleuca*) ausschließlich die exponierten, sturmgefegten Rippen und Grate.

Während wir über die gesetzmäßigen Veränderungen des Klimas mit zunehmender Meereshöhe relativ gut unterrichtet sind⁴⁾, wissen wir über seine Wirkungen auf das Pflanzenleben im einzelnen ungleich schlechter Bescheid. Es ist daher eine dankbare Aufgabe, den Ursachen der mannigfaltigen Schäden, die fast alle Bäume der Kampfzone aufweisen, nachzuspüren. Die argen Kampfspuren vor allem der höchsten Vorposten führen ja letzten Endes dazu, daß der Baumwuchs eine obere Grenze

²⁾ Steinhauser, F.: *Sonnblickmeteorologie*. Jahrb. Deutsch. Alpenverein 71, 158 (1940).

³⁾ Bilder hiezu bei Braun-Blanquet, J.: *Pflanzensoziologie*. 2. Aufl. Springer Wien (1951) S. 196.

⁴⁾ Geiger, R., hat in dem Standardwerk „Das Klima der bodennahen Luftschicht“ 3. Aufl. Vieweg Braunschweig (1950) dem Kleinklima von Berghängen mehrere Kapitel gewidmet.

Zusammenfassung auch bei Schröter, C.: *Das Pflanzenleben der Alpen*. 2. Aufl. Raustein Zürich (1926).

hat, die bezeichnend auch Krüppelgrenze benannt wird. Beobachtungen über Art und Ausmaß dieser Schäden und die exakte Erfassung ihrer Ursachen erweitern daher auch unser Wissen über die Ursachen der alpinen Baumgrenze.

Wenn wir die Kampfzone durchwandern, begegnen wir häufig *Astbrüchen* in der Wipfelregion der Kronen alter Baumriesen, die vom Sturm oder von der Last nasser Schneeauflagen verschuldet sind. Die Nadeln solcher gebrochener Äste verdorren nach einiger Zeit und fallen ab. Wenn sich die Beschädigung wiederholt, regeneriert sich der Wipfel meist nicht mehr. Die Gipfelknospe, die sonst darüber wacht, daß die Seitenzweige in ihrem Wachstum unterdrückt werden und damit für die normale Wuchsform eines Baumes verantwortlich ist, kann ihre steuernde Funktion nicht mehr ausüben. Die Seitenzweige machen sich selbständig, richten sich auf und bilden zahlreiche Nebenkronen, die wie Arme eines Leuchters in die Luft ragen. Man spricht daher treffend von Kandelaberbäumen.

Auch ganze Bäume werden umgeworfen oder geknickt; oberhalb der Waldgrenze weniger vom Wind — wie meist in Tieflagen — sondern häufiger durch die elementare Gewalt bewegter Schneemassen. Abgesehen von den verheerenden *Baumzerstörungen* durch abgehende Lawinen fallen zahlreiche Bäume abseits der Lawenstriche dem *Kriechschnee* zum Opfer. Die Schneedecke geneigter Hänge ist ähnlich wie das Gletschereis in ständiger Bewegung, sie „kriecht“ bergab. Diese Bewegung ist so langsam, daß sie mit freiem Auge nicht wahrgenommen werden kann. Im Durchschnitt wandert ein Punkt der Schneeoberfläche etwa 1 cm pro Tag abwärts, also 30 cm im Monat. Man kann die Bewegung jedoch sichtbar machen, indem man in die Schneedecke senkrecht ein Loch bohrt und dieses mit gefärbten Sägespänen füllt. Nach einer bestimmten Zeit, etwa nach einem Monat wird die Füllung freigeschaufelt. (Kriechschneeprofil Abb. 3). Man erkennt nun deutlich, daß sich die ursprünglich lotrechte Sägemehlsäule verbogen hat. Während ihr unteres Ende in Ruhe blieb, hat sich ihr oberes Ende um ca. 30 cm verschoben. So langsam diese Bewegung abläuft, so wirken die Schneemassen dabei doch mit ungeheurer Gewalt und rammen, biegen oder brechen alle Hindernisse, die nicht gut im Boden verankert sind und der Schwerkraft hinreichenden Widerstand bieten. Besonders stark leiden Weidezäune unter diesem Schneekriechen. Kleine Bäume werden kaum betroffen, weil sie sich noch in der ruhigen bodennahen Schneeschicht befinden, größere Zirben hingegen leicht geworfen, da das Wurzelwerk der Zirbe nicht tief in den Boden reicht und in mittlerem Alter dem Baum keine genügende Befestigung gewährt (Abb. 4). Bei der Lärche, die wohl besser im Boden verankert ist, führt das Schneekriechen zu starken säbelförmigen Verbiegungen junger Stämme (Abb. 5).

Weit häufiger als Stamm und Ast leiden die Jungtriebe und Nadeln der Bäume unter verschiedenen Angriffen. Durch die wiederholte Hemmung und Vernichtung dieser jungen Sprosse kommt es zur niedrigen, buschigen, pult- oder wächtenförmigen Gestalt der Kampfzonenbäume, indem die Endtriebe der Äste, die sich am höchsten über den

Boden erheben, immer wieder vernichtet werden und nur die zahlreichen bodenständigen Ersatztriebe bestehen bleiben⁵⁾).

Am häufigsten tritt die Schädigung zum Zeitpunkt der Entwicklung von Sproß und Nadeln ein, also kurz nach ihrem Austreiben. In diesem Stadium, wo die jungen Organe am wasserreichsten sind und wirksamer äußerer Schutzvorrichtungen und innerer Widerstandskraft entbehren, bedrohen sie Spätfroste. Unter einer solchen Frosteinwirkung können unausgereifte Triebe entweder ganz absterben oder — wenn sie geringwar — nur die Nadeln, während der Sproß eine Wachstumshemmung erleidet. Reine Spätfrostschäden an Jungtrieben sind in Höhenlagen bei den Fichten häufig, seltener bei den Lärchen und bei der Zirbe kaum anzutreffen. Die Unterschiede in der Empfindlichkeit gehen mindestens teilweise auf verschiedene Frosthärte zurück.

Unter Frosthärte verstehen wir die Widerstandsfähigkeit gegen unmittelbare Schädigung durch tiefe Temperaturen. Man kann sie prüfen⁶⁾, indem man z. B. eine Serie abgeschnittener Zweigproben auf Gefrierkammern verteilt, in denen von 2 zu 2⁰ abgestufte Kältegrade einige Stunden auf die Prüflinge einwirken. (Eine Kammer wird bis auf — 20⁰, eine andere auf — 22⁰ C abgekühlt usw.) Nach Beendigung der Frosteinwirkung und allmählichem Auftauen kommen die Proben zusammen mit unbehandelten Kontrollzweigen in Wasser eingefrischt in mäßiges Licht kühler Räume. Binnen einiger Stunden (Sommer) bis Wochen (Winter) wird deutlich sichtbar, was die Proben aushalten. Erfrorene Nadeln der Zirbe z. B. verfärben sich olivgrün, vertrocknen und drehen sich spiralig ein. Als Maß der Frosthärte gilt jene Temperatur, bei welcher die Proben zu 20% geschädigt wurden, während sie oberhalb derselben gesund blieben, unterhalb mindestens ebensoschlecht oder schlechter wegkamen.

Bei solchen Untersuchungen hat sich herausgestellt⁷⁾, daß die Frosthärte nicht nur von Holzart zu Holzart verschieden ist, sondern sich auch — und zwar sehr stark — bei jedem Individuum im Ablauf des Jahres ändert. Die Frosthärte zeigt, wie so viele andere Lebensvorgänge, einen ausgeprägten Rhythmus. Dieser ist zum Teil in der Pflanze gegeben, z. T. vom jahreszeitlichen Wechsel des Temperaturklimas in sinnvoller Weise so einreguliert, daß die größte Widerstandsfähigkeit in die kälteste Zeit fällt. Im Hochwinter sind die Nadeln der Zirben und Fichten und ihre Knospen, ebenso wie die Knospen der sommergrünen Lärche äußerst frosthart: Zirben vertragen bei der Frosthärteprüfung — 40⁰ C und tiefere Temperaturen, Fichten — 35 bis gegen — 40⁰ C, Lärchen noch im März mindestens — 30 C. Bedenkt man, daß die Lufttemperatur an

⁵⁾ Zu ähnlichen Formen kommt es auch in tieferen Lagen, wenn das Vieh die saftigen Jungtriebe abbeißt und die so verstümmelte Pflanze gezwungen wird, ihre Ersatzknospen zu aktivieren (Verbißformen).

Über die Entstehung von Krüppelwuchs vgl. Däniker, A.: Biologische Studien über Baum- und Waldgrenze, insbesondere über die klimatischen Ursachen und deren Zusammenhänge. Vierteljahresschrift Naturforsch. Ges. Zürich 68, 1 (1923).

⁶⁾ Pfeiffer, M.: Frostuntersuchungen an Fichtentrieben. Tharandter forstl. Jahrb. 84 (1933).
Pisek, A. und Schießl, R.: Die Temperaturbeeinflussbarkeit der Frosthärte von Nadelhölzern und Zwergsträuchern an der alpinen Waldgrenze: Ber. naturw.-med. Verein Innsbruck 47, 33 (1947).

Pisek, A.: Zur Kenntnis der Frosthärte alpiner Pflanzen. 39, 73 (1952).

⁷⁾ Siehe Fußnote 6.



Abb. 1. Blick von der Waldgrenze (2080 m) auf die Kampfzone am Westhang des innersten Ötztals (Tirol) in der Nähe von Obergurgl. Die vorherrschende Holzart ist hier die Zirbe, die im aufgelockerten Bestand bis 2150 m steigt, ihre obere Ausbreitungsgrenze erst bei 2280 m erreicht



Abb. 2. Oberer Teil der Kampfzone. Es fehlt bereits völlig der Typus „Baum“. Die im Winter schneearmen, windausgesetzten Geländerippen werden jedoch von schwer geschädigten Pultlatschen und niedrigen Buschzirben bevölkert

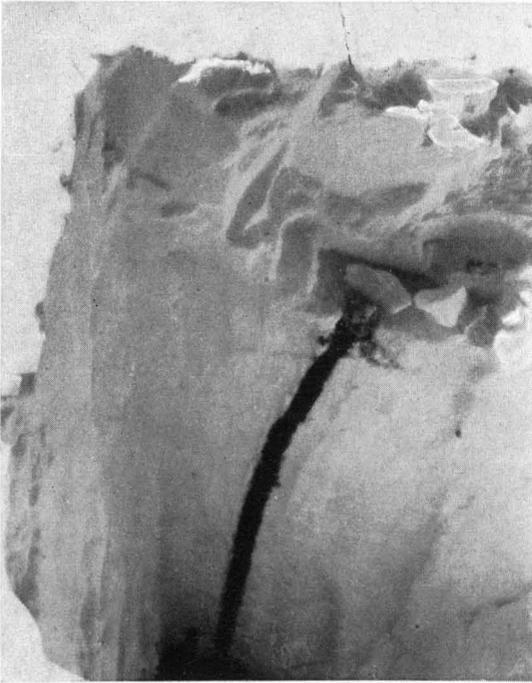


Abb. 3. Ein sogenanntes „Kriechschnee-profil“ freigelegt. Im Laufe eines Monats hat sich der ursprünglich gerade Sägemehlstrang unter dem Einfluß des Schneekriechens gekrümmt. Die Abweichung von der Lotrechten ist unmittelbar über dem Erdboden gering, an der Schneeoberfläche am größten und beträgt hier 30 cm



Abb. 4. Es handelt sich hier nicht um einen Lawinenwurf, sondern um vom Schneekriechen gestürzte Zirben. Diese Beschädigung trifft vor allem 2—3 m hohe Bäume, die auf steilen Hängen stocken, wo die Schneedecke langsam bergab kriecht



Abb. 5. Der jeden Winter auf die jungen Stämme von Lärchen wirkende Druck kriechender Schneemassen hat zu bleibenden Verbiegungen der Achsen geführt. Der „Säbelwuchs“ der Lärche zeigt, welche Gewalt der Schneedruck erreicht



Abb. 6. Pultlatsche im oberen Teil der Kampfzone. Die dem Wind ausgesetzte Nordflanke der Krone ist schwer geschädigt, die im Windschatten liegende Südflanke völlig gesund. Durch das ungleiche Wachstum der beiden Kronenseiten entsteht die charakteristische Wächtenform

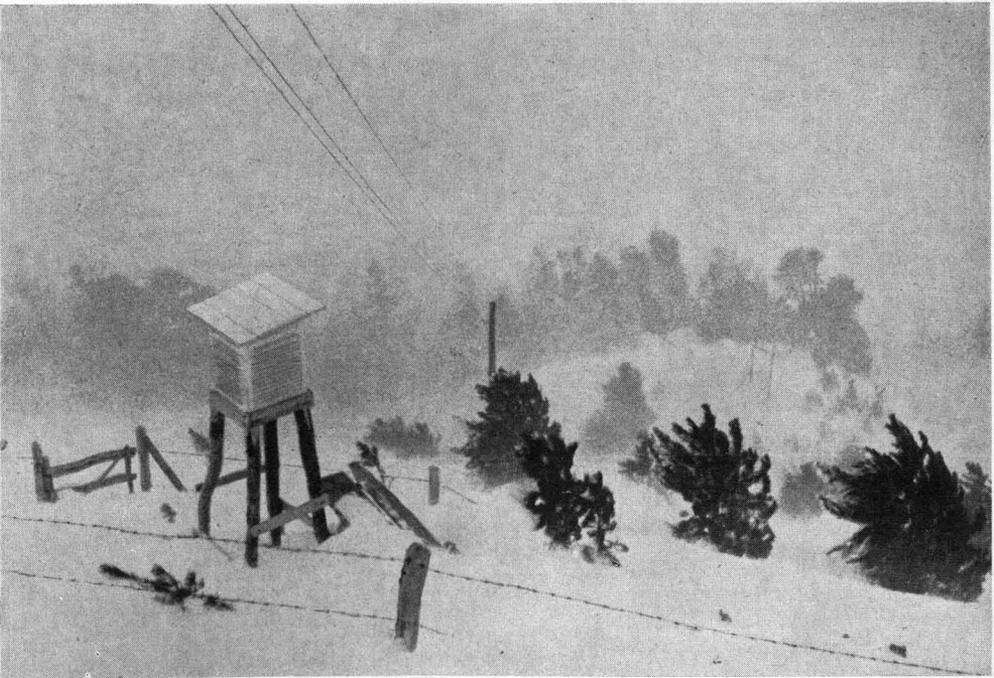


Abb. 7. Blick von der Kampfzone auf die Waldgrenze während eines Schneesturms im Dezember. Da ein geschlossener Waldbestand fehlt, kann der Wind ungehemmt bis in die schneenahe Luftschicht einwirken. Die ungeheure Wucht der Sturmböen stellt höchste Anforderungen an die Elastizität der jungen Stämme und Äste und führt durch gegenseitiges Peitschen der Zweige zu Nadelverlusten



Abb. 8. Durch die Kieferschütte geschädigte Zirben. Die vom Pilz befallenen Kronenbezirke sind entnadelt bzw. vertrocknet und im Frühjahr leuchtend rot gefärbt. Während die größeren Zirben nur partielle Schäden aufweisen, sind zwei kleine Zirben im Bild rechts dem Pilz zum Opfer gefallen. Die obere Begrenzung der Schadenszone (gestrichelte Hilfslinie) fällt mit der im vorübergehenden Winter vorherrschenden Schneeöhe zusammen

Alle Aufnahmen: Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung Innsbruck

der zentralalpiner meteorologischen Beobachtungsstation in Vent (1900 m Seehöhe) in einem zehnjährigen Beobachtungszeitraum niemals — 30° C unterschritt, auf dem Pat-scherkofel in derselben Höhe sogar nur bis — 24° C sank, kann man sagen, daß die Nadeln und Knospen dieser drei Holzarten den reinen Temperaturbeanspruchungen selbst extrem kalter Winter an der alpinen Waldgrenze im allgemeinen gewachsen sein dürften. Auch in den Übergangszeiten im Herbst und vor allem im Frühjahr, wenn, durch warme Frühlingstage begünstigt, die innere Umstellung vom Winter- auf den Sommerzustand bereits eingeleitet ist, dürfte die Frosthärte in der Regel genügen, um der Gefahr von Wetterrückschlägen gewachsen zu sein. Abgesehen von den bereits besprochenen besonders frostempfindlichen noch nicht ausgereiften Nadeln, die im all-gemeinen schon bei wenigen Graden unter Null erfrieren, sind nach allen bisherigen Frosthärteuntersuchungen direkte Kälteschäden zu keiner Jahreszeit zu erwarten.

Diesem aus Laboratoriumsuntersuchungen abgeleiteten Befund stehen am Standort festgestellte, eindeutige winterliche Schädigungen ausgereifter, also frostharter Nadeln unserer Kampfzonenhölzer gegenüber. Die mangelnde Übereinstimmung zwischen phy-siologischem Meßergebnis und Schadensbeobachtung läßt vermuten, daß nicht die Kälte-wirkung allein, sondern das Zusammenspiel von Frost mit anderen Faktoren die Schä-digung verursacht. Eine genaue Beobachtung des Schadensbildes führt uns zur Erkenntnis, daß der Wind neben der Kälte eine entscheidende Rolle spielt.

Deutliche Einwirkungen des Windes zeigen exponiert stehende Kronen, z. B. der Fichte. Ihre Zweige entfalten sich vor allem auf der dem Wind abgekehrten Seite. Man spricht von Fahnenwuchs. Auch Zirben und Latschenbüsche sind meist einseitig geschädigt; während die Zweige der Windschattenseite sich üppig entwickeln, erscheint die Luvseite wie angenagt, die Triebe sind entnadelt, die wenigen übriggebliebenen Nadeln braun verfärbt, also abgestorben (Abb. 6).

Wir haben noch kein gesichertes Wissen, wie Kälte und Wind zusammenwirken, es bestehen aber doch gewisse Vorstellungen: Der Wind kann schon allein durch seine mechanische Wirkung Nadelverlust verursachen. Die Zweige werden im Sturm immer wieder gegeneinander geschlagen und die Nadeln regelrecht abgepeitscht (Abb. 7). Durch das ständige Schütteln der Zweige könnte überdies die Frosthärte herabgesetzt werden⁸⁾. Der Wind führt Schneekristalle mit sich, wirkt also wie ein scharfes Sandgebläse und kann auf diese Weise Verletzungen an den Nadeln hervorrufen. Er steigert schließ-lich zusammen mit der in Höhenlagen sehr intensiven Sonnenstrahlung die Verdun-stungskraft der Atmosphäre und entreißt den Nadeln, besonders aber den verletzten, das lebenswichtige Wasser. Soweit die Pflanzen im Winter nicht durch Schneebedeckung geschützt sind, haben sie die Spaltöffnungen — jene mikroskopisch kleinen Gasventile, durch die nicht nur Wasserdampf auströmt, sondern auch die lebenswichtige Kohlen-säure eintritt — geschlossen⁹⁾. Erst dadurch kommt der Transpirationswiderstand der stark verdickten Außenwände der Epidermiszellen und der Kutikula voll zur Geltung.

⁸⁾ Kahl, H.: Über den Einfluß von Schüttelbewegungen auf Struktur und Funktion des pflanzlichen Plasmas. *Planta* 39, 346 (1951).

⁹⁾ Michaelis, P.: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. IV. Zur Kenntnis des winterlichen Wasserhaushaltes. *Jahrb. wiss. Bot.* 80, 169 (1934).

Die Wasserdampfdiffusion, die selbst bei geschlossenen Spalten unvermeidbar bleibt, wird durch diese Schutzeinrichtungen sowie durch die geringe Oberflächenentwicklung nadelförmiger Blätter auf ein Mindestmaß herabgedrückt.

Pflanzen sehr hoher Lagen steht aber, wie schon eingangs erwähnt, durch das temperaturbedingte spätere Erwachen und die frühere Beendigung aller Lebenstätigkeiten nur eine stark verkürzte Wachstumsperiode zur Verfügung. Sie haben daher, je höher wir steigen, vermutlich immer weniger Zeit zur Verfügung, die Nadeln reifen zu lassen und den Aufbau einer wirksamen Schutzhülle ihrer Nadeloberfläche zu vollenden¹⁰⁾. Ist diese ohnehin nur schwache Kutikula noch dazu durch Schneeschliff verletzt, führt die verdunstungsfördernde Wirkung von Strahlung und Wind zu einem ständigen Wasserverlust. Der Boden, das Wasserreservoir der Pflanzen, vor allem aber das Wasser in den Leitbahnen der von der Krone beschatteten Stammportionen kann in der Winterszeit vorübergehend oder auch länger andauernd gefroren sein¹¹⁾. Der Wasserverlust kann daher durch Unterbrechung der Wasseraufnahme aus dem Boden nicht mehr ausgeglichen werden. Als Folge davon sinkt der Wassergehalt in den Nadeln stetig. Im Gegensatz zu vielen baum- und felssiedelnden Moosen und Flechten verträgt aber das Plasma der meisten Pflanzen Austrocknung bzw. Entwässerung nur bis zu einer gewissen Grenze, bei deren Überschreitung es zu irreversibler Schädigung kommt. Im Schadensbild läßt sich ein Trocken- von einem reinen Frostschaden vorläufig schwer auseinanderhalten.

Erfrieren und „Frosttrocknis“, hervorgerufen durch Kälte, Wind und Strahlung bilden eine Hauptgruppe von Schäden am Jung- und Krüppelwuchs unserer Holzarten in der Kampfzone im Winter.

In dieser Zeit fällt noch eine andere Veränderung an den Nadeln unserer Bäume auf: Im Oktober setzt eine Verfärbung ein, die Ende Februar ihren Höhepunkt erreicht. Die Nadeln können zu diesem Zeitpunkt regelrecht vergilben, besonders auf der besonnten Südseite der Krone¹²⁾. Diese äußerlich überaus deutlich sichtbare Verfärbung wird durch tiefgreifende innere Umstellungen hervorgerufen. Der grüne Blattfarbstoff, das Chlorophyll, wird zum Teil abgebaut, die gelben, im Sommer vom Chlorophyll überdeckten Farbstoffe treten nun erst zu Tage¹³⁾. Gleichzeitig verändert sich die Struktur der lebenden Farbstoffträger, der Chloroplasten in den Zellen der Nadeln.

Der winterliche Farbstoffwechsel immergrünen Laubes beschränkt sich nicht auf die Kampfzone, er ist auch in tiefsten Lagen feststellbar. Doch gehen dort die winterlichen Veränderungen viel weniger weit. Nach meinen Beobachtungen sind aber Chlorophyllabbau und Strukturveränderungen — mögen sie noch so weitgehend sein — im Früh-

¹⁰⁾ Vgl. auch Walter, H.: Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Standortslehre. Ulmer Stuttgart (1951) S. 68.

¹¹⁾ Michaelis, P.: Ökologische Studien an der alpinen Baumgrenze. III. Über die winterlichen Temperaturen der pflanzlichen Organe, insbesondere der Fichte. Beihefte Bot. Centralbl. 53, B, 333 (1934).

¹²⁾ Zum ersten Mal eingehend beschrieben bei Schmidt, E.: Baumgrenzenstudien am Feldberg im Schwarzwald. Tharandter forstl. Jahrb. 87, 1 (1936).

¹³⁾ Aus demselben Grund verfärbt sich bekanntlich ja auch sommergrünes Laub vor dem Blattfall, nur daß der Abbau hier noch weiter geht.

jahr (das ist in der Kampfzone allerdings erst Ende Mai) stets rückläufig und führen wieder zum normalen sommerlich grünen Ausgangsstadium. Sie scheinen also jedenfalls kein irgend nennenswert schädigendes Ausmaß zu erreichen. Trotzdem wirken sie mit am Zurückbleiben des Wachstums in den Höhen- gegenüber den Tieflagen. Der elementare Prozeß der Bildung organischer Lebenssubstanz, die CO₂-Assimilation der Pflanzen ist nämlich unter anderem auch an das Vorhandensein des grünen Blattfarbstoffs in einer bestimmten in den Chloroplasten gegebenen Struktur gebunden. Ist diese Struktur völlig gestört, bzw. das Chlorophyll abgebaut, kann auch der Assimilationsvorgang nicht ablaufen. Der Vorteil der immergrünen Bäume in Tieflagen besteht aber nun vor allem darin, daß sie vor Einbruch stärkerer und anhaltender Kälte und nach dem Abflauen strenger Winterkälte jeden Tag zur Stoffproduktion nutzen können¹⁴⁾, in milderem Wintern vielleicht sogar durchgehend assimilieren¹⁵⁾. Dieser Vorteil geht den benadelten Bäumen in den höchsten Lagen wieder verloren durch die sicherlich von den extremen klimatischen Verhältnissen, der tiefen Temperaturen im Verein mit der starken Bestrahlung, erzwungenen absoluten Ruhepause ihrer Stoffbildungsvorgänge und ist mit verantwortlich am langsameren Wachstum und an der Verkürzung der Wachstumsperiode.

Alle bisher beschriebenen Schädigungen und Veränderungen grüner Nadeln haben eines gemeinsam: Sie betreffen vorwiegend Pflanzen oder Pflanzenteile, die den ganzen Winter der Schneebedeckung entbehren. Das Schicksal der eingeschnittenen Pflanzen oder Teile von ihnen ist ein ungleich milderes. Im Schutz der Schneedecke erfahren diese weder empfindliche Fröste — die Temperatur unter einer geschlossenen Schneedecke schwankt nur wenige Grade um den Gefrierpunkt — noch kann der Wind und die Strahlung auf sie einwirken. Der Chlorophyllabbau geht weniger weit. Ebenso besteht keine Gefahr einer Austrocknung, weil die Hohlräume im Schnee durch ständige geringe Verdunstung des Eises wasserdampfgesättigt sind.

Unter Schnee überwintern daher alle jene immergrünen Pflanzen, die den klimatischen Anforderungen strenger Winter nicht gewachsen sind. Besonders eindrucksvoll zeigt dies die Alpenrose. Ihre Verbreitung beschränkt sich auf lange und sicher schneebedeckte Gebiete, während sie auf windexponierten Standorten, die eine geringe, oftmals höhenmäßig stark wechselnde oder gar keine Schneebedeckung aufweisen, völlig fehlt. Ihre Frosthärte ist so gering, daß die Blätter jederzeit im Winter erfrieren können, wenn sie nur kurze Zeit vom Schnee freigelegt werden.

Die günstigen klimatischen Bedingungen unter Schnee führen jedoch auch bei eingeschnittenen Exemplaren unserer winterfesten Bäume zu einer ausgesprochenen Verweichlichung. So konnte u. a. bewiesen werden, daß die Frosthärte eingeschnittener Zweige der Zirbe weit hinter der über die Schneeoberfläche ragender Schwesterzweige zurückblieb. Werden solche Triebe dann doch im Hochwinter freigelegt, könnten sie den plötzlich auf sie einwirkenden extrem tiefen Temperaturen nicht gewachsen sein.

¹⁴⁾ Pisek, A. und Tranquillini, W.: Assimilation und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten- (*Picea excelsa* L. in K.) und Rotbuchenbäumen (*Fagus silvatica* L.) Flora 141, 237 (1954).

¹⁵⁾ Zeller, O.: Über Assimilation und Atmung bei tiefen Temperaturen. Planta 39, 500 (1951).

Bleiben sie jedoch über die ganze Zeit der winterlichen Schneebedeckung eingeschnitten, (das kann in windgeschützten Lagen, in denen sich ungeheuere Schneemassen ansammeln, bis zu $7\frac{1}{2}$ Monaten dauern) sind sie anderen Gefahren ausgesetzt, die sich, wie das Beispiel der letzten Jahre an einem zentralalpinen Standort Tirols beweist, noch viel katastrophaler auswirken können, als alle Schädigungen oberhalb der Schneedecke und zu einem wahren Massensterben der Zirbe führte.

Die lange Schneebedeckungsdauer und der gewaltige Druck der Schneemassen, die sich in bestimmten Geländepartien in einer Mächtigkeit von über 5 m auftürmen, setzt der Zirbe scheinbar schwer zu und schwächt ihre Widerstandskraft. Der Schnee, der sich unter diesem Druck stark verdichtet und im Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze außerdem stark durchnässt ist, bewirkt, daß sich die Pflanzen mit Wasser übersättigen. Der übernatürlich hohe Wassergehalt und die durch langen Lichtentzug geschwächten Nadeln bieten den Sporen eines Pilzes, der Kiefernscütte (cf. *Lophodermium pinastri*) prächtige Entwicklungsmöglichkeiten. Sie breiten sich auf Kosten des Wirtes in den Nadeln rasch aus und bringen sie zum Absterben. Wenn die Nadeln aus dem Schnee ausapern, sind sie bereits grauerfärbt und mit schwarzen Punkten, den Fruchtkörpern des Schlauchpilzes übersät. Kurz nachher vertrocknen die Nadeln und färben sich prächtig rostrot, schließlich bleichen sie aus.

Die Schütteschäden an der Zirbe erreichten in Tirol in den letzten Wintern gefährliche Ausmaße. Fast jeder Baum wurde von ihnen betroffen und der Pilz vernichtete alle Zweige bis zur oberen Grenze der Schneedecke (Abb. 8). Das Schadensbild ist so charakteristisch und weitverbreitet, daß es direkt zur Rekonstruktion der im vergangenen Winter vorherrschenden Schneehöhe dienen kann¹⁶).

Bedingung für die Pilzausbreitung ist, im Gegensatz zu allen bisher beschriebenen Schädigungen lange Schneebedeckung der infizierten Pflanzen. Unter denselben Umständen werden auch Fichten- und Latschenzweige von einem anderen Schlauchpilz (*Herpotrichia nigra*) befallen, dessen Myzel die Nadeln dicht umspinnt und aussaugt. Wenn die Zweige im Frühjahr aus dem Schnee ausapern, sind sie grau verfilzt und abgestorben¹⁷).

Allen Kampfzonenschäden gemeinsam ist die Jahreszeit, in der sie entstehen. Der Winter, vor allem aber seine Übergangszeiten, bedeuten für das Leben der Bäume oberhalb der alpinen Waldgrenze höchste Gefahr. In dieser Zeit tritt der Existenzkampf in ein lebensbedrohendes Stadium.

Im Sommer konnten nach unseren Erfahrungen die Umweltsverhältnisse niemals das Leben der Bäume direkt bedrohen. Die in Höhenlagen sehr lebhaft Luftbewegung verhindert eine gefährliche Überhitzung der Nadeln, wenn sie sich nur wenige Zentimeter über die aufgeheizte Bodenoberfläche erheben. Im übrigen scheinen sie im Sommer

¹⁶) Wir kennen ein anderes Beispiel, wie sich die mittlere Schneehöhe eines Standortes auch im Sommer annähernd bestimmen läßt. Es gibt eine Flechte (*Parmeliopsis ambigua*), die auf der Rinde von Baumstämmen lebt. Zu ihrer Entwicklung bedarf sie der winterlichen Schneebedeckung. Sie besiedelt daher nur die im Winter stets eingeschnittenen basalen Stammartien. Die obere Grenze ihrer Ausbreitung auf jedem Baumstamm fällt daher zusammen mit der mittleren Schneehöhe dieses Standorts.

¹⁷) Neger, F.: Die Krankheiten unserer Waldbäume. 2. Aufl. Enke Stuttgart (1924), Abb. 77.

ebenso hitzeresistent zu sein, wie im Winter frosthart. So vertragen Jungzirben ohne nachfolgende Schädigung Temperaturen über $+ 40^{\circ} \text{C}$ ¹⁸⁾. Die Gefahr eines sommerlichen Trockenschadens wird weitgehend herabgesetzt durch die im Hochgebirge vermehrten Niederschläge, die relative Häufung von Nebeltagen und die Möglichkeit, jederzeit aus dem Boden das verlorene Wasser zu ersetzen. Auch der Wind kann im Sommer nicht so entscheidend auf die Bäume einwirken, da das Windfeld durch die Reibung an der vom Schnee freigelegten Vegetation stark gehoben wird.

Der Sommer wird von den Pflanzen zur Bildung jeglichen Zuwachses voll genützt. Die im Vorjahr angelegten Knospen treiben aus und vergrößern dadurch Höhe und Volumen der Baumkrone. Die Kambiumzellen beginnen sich wieder zu teilen und werden zu Rinden- und Holzelementen; der Stamm wächst in die Dicke. Die Wurzeln strecken sich und erschließen der Pflanze neue Bodenpartien, aus denen Wasser und Nährstoffe aufgenommen werden können.

Wie schon erwähnt, wird die Vegetationsperiode mit steigender Höhe immer kürzer, der Zuwachs daher immer geringer. Die Bäume bleiben kleiner, die Jahrringbreite und damit der Stammdurchmesser nimmt ab, die Nadeln bleiben kurz und sitzen dichter am gestauchten Sproß. Nachstehende Tabelle gibt dem Leser eine Vorstellung, wie langsam z. B. Zirben in 2 000 m Höhe vor allem im ersten Lebensjahrzehnt in die Höhe wachsen:

Alter (Jahre)	5	10	15	50
Höhe (cm)	5	19	28	550

Neben der Verkürzung der Vegetationsperiode spielt für die Reduktion der Größe aller Organe auch die Nährstoffarmut der Böden in Hochlagen eine wesentliche Rolle. Nicht zuletzt geht aber die Zuwachsverringerung auf die starke Temperaturabhängigkeit der CO_2 -Assimilation zurück, die die Stoffproduktion auch inmitten der Vegetationszeit, besonders aber an ihrem Anfang und Ende hemmt. Die Assimilation wird beeinflusst von einer Reihe von äußeren und inneren Faktoren, wie z. B. Licht, Temperatur, Chlorophyllgehalt. Während das Licht in Hochlagen bei freistehenden Bäumen wohl stets im Überschuß vorhanden ist, könnte neben dem geringeren Chlorophyllgehalt der in Hochlagen gebildeten Nadeln vor allem die Temperatur begrenzend auf ihre Intensität einwirken. Nach neuesten Untersuchungen¹⁹⁾ werden nämlich die besten Assimilationsausbeuten bei Zirbennadeln bei Temperaturen um $+10^{\circ} \text{C}$ erzielt (Optimum), während tiefere (und auch höhere) Temperaturen den Vorgang deutlich hemmen. Durch die gesetzmäßige Temperaturabnahme mit der Höhe ergibt sich auch eine gesetzmäßige Abnahme der Stoffproduktion ab jener Grenze, bei der die mittlere Tagestemperatur der Vegetationsperiode das Assimilationsoptimum unterschreitet.

Ich habe versucht, durch meine Ausführungen dem Leser ein Bild zu machen von den Schwierigkeiten, mit denen unsere Bäume im Gebirge, vor allem aber ihre Vorposten in der Kampfzone jederzeit, besonders aber im Winter zu rechnen haben. Wie wir gesehen haben, wird der Kampf um die Existenz außerordentlich hart geführt.

¹⁸⁾ Tranquillini, W.: Die Bedeutung des Lichtes und der Temperatur für die Kohlensäure-assimilation von Pinus-Cembra-Jungwuchs an einem hochalpinen Standort. *Planta* 46, 154 (1955).

¹⁹⁾ Siehe Fußnote 18.

Umso alarmierender treffen uns sorgfältig geführte Beweise, daß der Mensch durch rücksichtslose Auslichtung der Waldkrone und durch eine von den Almen ausgehende willkürlich vorgenommene Abholzung (extensive Weidewirtschaft) den so hart um die Existenz ringenden Bäumen buchstäblich in den Rücken fällt²⁰). Die Folgen dieser systematischen Waldzerstörung haben besonders in den letzten Jahrzehnten bedrohliche Ausmaße angenommen. Während die Zahl der Wildbäche und Lawinen rapid anwuchs und damit Menschen und Siedlungen sowie die Reste der Waldbestände in den Alpentälern bedrohen, verzeichnet nicht nur der forstliche, sondern auch der landwirtschaftliche Ertrag ebendort einen erschreckenden Rückgang. Es war höchste Zeit, daß mit dem Ruf, „Schach der Waldverwüstung“, dieser verderblichen Entwicklung Einhalt geboten werden sollte. Durch drastische Maßnahmen wie Bannwalderklärung, Unterbindung jeder wahllosen Schlägerung und Überschlägerung in Schutzwäldern, Beschränkung der Waldweide²¹) und vor allem durch eine großflächige Aufforstung im Bereich zwischen heutiger und ursprünglicher Waldgrenze, soll den kämpfenden Vorposten wieder Rückhalt geboten werden, daß in ihrem Schutz der Wald wieder jene Wohlfahrtswirkungen auf die Menschen ausüben kann, die ihn so nützlich machen.

Die Aufnahmen entstammen dem Bildarchiv der Forschungsstelle für Lawinenvorbeugung bei der forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Innsbruck. Die in diesem Aufsatz dargelegten Beobachtungen und Meßergebnisse wurden, soweit sie nicht der zitierten Literatur entnommen sind, ebenfalls durch den Arbeitskreis dieser Forschungsstelle gewonnen.

²⁰) Fromme, G.: Schach der Waldverwüstung. Österr. Produktivitätszentrum (1952).
Schiechl, H.: Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales in Nordtirol. Zentralbl. f. d. ges. Forstwesen 73, 13 (1954).

²¹) Fröhlich, J.: Zur Wald- und Weidefrage in den Alpen. Allg. Forstzeitung. Wien. 64, 34 (1953).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahrbuch des Vereins zum Schutze der Alpenpflanzen und -
Tiere](#)

Jahr/Year: 1956

Band/Volume: [21_1956](#)

Autor(en)/Author(s): Tranquillini Walter

Artikel/Article: [Vom Existenzkampf des Baumes im Hochgebirge 105-114](#)