Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 149 (1998)

Heft: 4

Artikel: Natürliche Baumkollektive als Vorbilder der Rottenplanzung

Autor: Fillbrandt, Thomas

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-766095

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

149. Jahrgang April 1998 Nummer 4

Natürliche Baumkollektive als Vorbilder der Rottenpflanzung

Von *Thomas Fillbrandt*

Keywords: Natural tree clumps; tree collectives; mountain forest structure; literature survey.

FDK 228: 232: (23): 182

1. Einführung

Natürlich entstandene Baumkollektive, in Publikationen auch als Rotten oder Bauminseln (engl.: *tree islands, tree clumps)* bezeichnet, und die sich daraus ergebende besondere Bestandesstruktur (Rottenstruktur) dienen als Vorbilder für die heutigen Rottenpflanzungen im Gebirgswald *(Schönenberger,* 1981). Der vorliegende Aufsatz ist das Ergebnis einer Literaturauswertung und Teil einer Untersuchung zur Entstehung und Entwicklung von Rottenstrukturen in Fichtenaufforstungen im Gebirgswald *(Fillbrandt,* 1997), die von 1993 bis 1996 an der Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum der ETH Zürich durchgeführt wurde. Er befasst sich mit der Entstehung, der Zusammensetzung und der Struktur von natürlichen Baumkollektiven und Rotten im Gebirgswald.

Die im Titel genannte Rottenpflanzung wird im vorliegenden Aufsatz nicht behandelt. Die Literaturauswertung geschah aber in der Absicht, natürliche mit gepflanzten Baumkollektiven im Hinblick auf ihre jeweiligen standörtlichen Voraussetzungen, ihre Entstehung, ihr Wachstumsverhalten und ihre charakteristischen Eigenheiten zu vergleichen. Dieser Vergleich soll einige Fragen beantworten, die durch die teilweise überraschenden Ergebnisse der wachstumskundlichen Untersuchung in Rottenaufforstungen aufgeworfen wurden. Die Rottenaufforstung selbst ist Inhalt zahlreicher Publikationen, über welche die oben erwähnte Untersuchung einen Überblick vermittelt.

2. Arbeitsdefinitionen der verwendeten Begriffe

Als *Baumkollektiv* wird in den folgenden Kapiteln eine Gemeinschaft von dicht beieinander stehenden Bäumen jeglicher Entwicklungsstufe in Trupp- bis Gruppengrösse bezeichnet, die abgrenzbar und von benachbarten Baumgemeinschaften räumlich getrennt ist (nach *Kuoch* und *Amiet,* 1970). Der Begriff Baumkollektiv (bei manchen Autoren auch der Begriff Kleinkollektiv) wird für bestimmte Baumverteilungen im Gebirgswald verwendet. Er bedeutet eine bestimmte Textur (horizontale Verteilung der Bäume), sagt jedoch – ohne zusätzliche Erläuterungen – nichts über die vertikale Bestandesstruktur, die Verjüngungsart oder die Entwicklungsstufe aus (vgl. auch *Zeller,* 1995).

Unter einer *Rotte* wird in der vorliegenden Arbeit ein Kollektiv von Bäumen verstanden, die unterschiedliche Höhen und einseitige, aber sich gegenseitig ergänzende Kronen besitzen. Im Idealfall stehen die höchsten Bäume im Zentrum. Das einzelne Baumkollektiv wird von einem tief herabreichenden Nadelmantel umhüllt, der, von der Seite betrachtet, ein unregelmässiges Dreieckprofil bzw. einen Kegel erzeugt (nach *Kuoch,* 1971a, 1971b). Eine Rotte ist somit eine spezielle Form eines Baumkollektivs, welches sich von anderen Baumkollektiven primär durch die Differenzierung der Höhen der beteiligten Bäume unterscheidet. Der Begriff bedeutet somit neben einer bestimmten Textur auch eine bestimmte Struktur (vertikale Verteilung der Bäume), wobei sich letztere im Laufe mehrerer Jahrzehnte und nur unter bislang noch weitgehend unbestimmten Voraussetzungen entwickelt. Der Begriff macht keine Aussagen über die Entstehung oder die Entwicklungsstufe. Bei direkten Zitaten finden die Arbeitsdefinitionen keine Anwendung.

3. Hinweise zur Interpretation der Aussagen

Ziel des Aufsatzes ist es, Übereinstimmungen und Widersprüche aufzuzeigen und ein etwas klareres Bild von natürlichen Baumkollektiven im Gebirgswald entstehen zu lassen. Da natürliche Baumkollektive sehr stark von den jeweiligen lokalen Verhältnissen geprägt werden, «birgt der Versuch einer zusammenfassenden Darstellung von vornherein die Gefahr von zu weitreichenden Verallgemeinerungen» *(Holtmeier* 1986, S. 122f.).

Die folgenden Kapitel enthalten deshalb zahlreiche und teilweise sich wiederholende Hinweise zu den Untersuchungsobjekten der ausgewerteten Publikationen. Beim Aufbau wird meist unterschieden zwischen Aussagen, die sich auf natürliche Baumkollektive der Kampfzone beziehen, und Aussagen, die das Ergebnis von Untersuchungen im mehr oder weniger geschlossenen subalpinen Gebirgswald darstellen. Die Hinweise sollen das Verständnis der meist

unterschiedlichen und manchmal widersprüchlichen Beobachtungen erleichtern.

Die Entstehung, die Grösse, die Form und andere Merkmale natürlicher Baumkollektive werden in zahlreichen Publikationen über die Kampfzonen bzw. Waldgrenzökotone *(«forest-tundra ecotone»)* z.B. der Front Range oder anderer Gebiete der Rocky Mountains beschrieben. In diesen kontinentalen, extrem windbeeinflussten Gebieten kommt es – von Mulden und Leelagen abgesehen – nur im Windschatten der meist krüppelwüchsigen Baumvorposten zur Akkumulation grösserer Schneemengen; das übrige Gelände wird nahezu schneefrei geblasen *(Holtmeier,* 1989). Im Gegensatz zum Alpenraum ist der Standortsfaktor «Eisgebläse» sehr ausgeprägt. Es kommt hinzu, dass menschliche Einflüsse (Rodungen, Beweidung) weitgehend fehlen. Die genannten Umstände wirken in einer Weise zusammen, dass insbesondere die Grösse und die Form der dort beobachteten Rotten stark von denen der Alpen abweichen; bei der Übertragung der Erkenntnisse dieser Untersuchungen auf andere Gebiete ist deshalb grösste Vorsicht angebracht *(Holtmeier,* 1989). Auch ist zu beachten, dass es sich bei den Baumarten der amerikanischen Gebirge nicht um *Picea abies,* sondern um *Picea engelmannii* oder *Abies lasiocarpa* handelt.

Anders und den mitteleuropäischen Gebirgsverhältnissen ähnlicher ist das Klima in den nordwestlichen, ozeanisch beeinflussten Gebirgszügen (z.B. Cascade Range). Kennzeichen dieser Gebiete sind trockene, kurze Sommer und milde, jedoch sehr schneereiche Winter sowie eine gegenüber den kontinentalen Gebirgen Nordamerikas wesentlich geringere Windgeschwindigkeit. Die für das Baumwachstum limitierenden Faktoren sind teilweise mit den schweizerischen vergleichbar (hohe und langandauernde Schneeansammlungen, Schneegleiten). Die dort erfolgten Beobachtungen und Untersuchungen (z.B. *Franklin et al.,* 1971; *Lowery,* 1972; *Bockheim,* 1972) führen teilweise zu überraschend ähnlichen Ergebnissen wie in der Schweiz. Gleichwohl dürfen auch Erkenntnisse aus diesem Gebiet nicht unkritisch übernommen werden. Einen guten Überblick über die klimatischen Bedingungen der nordamerikanischen Gebirge, die dadurch bedingten unterschiedlichen Kollektivformen und die entsprechende Literatur gibt *Holtmeier* (1986, 1989).

Eine ähnliche Einschränkung gilt auch für Erkenntnisse und Erfahrungen aus den verschiedenen Teilen Europas oder der europäischen Alpen, die wegen unterschiedlicher Ausprägung der klimatischen Faktoren (z.B. kontinentaler oder atlantischer Klimacharakter) oder der topographischen Voraussetzungen nicht direkt für andere Gebiete übernommen werden dürfen. Nach *Kuoch* und *Amiet* (1970) ist z.B. in den subarktischen Gebieten (Norden Skandinaviens) der Wind ein Standortsfaktor, der ausgeprägter als in den mitteleuropäischen Gebirgen Durchmesser, Höhe, Zuwachs und Form der Baumkollektive mitbestimmt.

4. Merkmale und Eigenschaften natürlicher Baumkollektive

4.1 Vorkommen von natürlichen Rotten

Rotten sind spezielle Baumkollektive. Die Höhenstufe, in der sie als solche erkannt und beschrieben werden, hängt von der Interpretation des Begriffs Rotte ab. Nach *Proskuryakov* (1981), *Lokvenc* (1960) und *Tiefenbacher* (1988) treten natürliche Rotten – in der von *Kuoch* und *Amiet* (1970) beschriebenen Form (siehe Arbeitsdefinitionen in Kapitel 2) – nur im Bereich der Waldgrenze und in der oberhalb anschliessenden Kampfzone auf. Eine ähnliche Meinung vertreten auch *Kuoch* und *Amiet* (1970), die für solche Baumkollektive den Begriff «Kolonie» verwenden, was auf die vegetative Entstehung der Kollektive hinweist. Hangabwärts in Richtung des geschlossenen Waldes nimmt der Anteil dieser Rotten bzw. Kolonien an der Bestockung sehr schnell ab *(Kuoch* und *Amiet,* 1970). In zahlreichen anderen Publikationen dagegen werden natürliche Rotten oder ein rottenartiger Aufbau als Kennzeichen des naturnahen Gebirgswaldes, des Bergwaldes oder hoher Lagen bezeichnet. Obwohl diese zuletzt genannten Begriffe meist weder genau definiert sind noch einheitlich gebraucht werden, stehen sie in der Regel für den Wald der subalpinen und hochmontanen Stufe. Dieses Verständnis setzt eine andere Interpretation des Begriffs Rotte voraus und bedeutet ein erheblich grösseres Areal (vgl. «Zonierungs-Details im Bereiche der oberen Waldgrenze der Alpen» und Definitionen der Vegetationshöhenstufen der Alpen bei *Kuoch* und *Amiet,* 1970, S. 167, sowie «Höhenstufen in den verschiedenen Standortsregionen» bei *Wasser* und *Frehner,* 1996, Anhang 2, S. 11).

4.2 Vegetative und generative Entstehung von natürlichen Baumkollektiven

Natürliche Fichtenkollektive im Bereich der subalpinen Waldgrenze und der Kampfzone sind im mitteleuropäischen Alpenraum überwiegend das Ergebnis vegetativer Ablegerbildung *(Kuoch* und *Amiet,* 1970; *Holtmeier,* 1986; *Arquillière,* 1986; *Tiefenbacher,* 1988, *Stimm* und *Bergmann,* 1994). *Kuoch* und *Amiet* (1970) bezeichnen sie entsprechend ihrer Entstehung als Kolonien. Baumkollektive, die aus dicht beieinander aufwachsenden Sämlingen entstehen und als Sippschaften bezeichnet werden, sind in dieser Höhenlage in mitteleuropäischen Gebirgen in der Minderzahl. Mit abnehmender Seehöhe jedoch nimmt der Anteil von Kernwüchsen rasch zu und überwiegt schon im oberen Bereich des subalpinen Waldes *(Tiefenbacher,* 1988).

Die Art der Entstehung natürlicher Baumkollektive (vegetativ, generativ) steht in einem engen Zusammenhang mit der Auffassung bzw. Interpretation des Begriffs Baumkollektiv. Zudem weisen *Stimm* und *Bergmann* (1994) darauf hin, dass über die Genese älterer Baumkollektive, vor allem im subalpinen

Fichtenwald, anhand äusserlich erkennbarer Kriterien nur spekuliert werden könne. Diese Ansicht, dass «bei den älteren Fichtenrotten die ursprüngliche Entstehungsart nicht mehr durchwegs und leicht festzustellen [ist], weshalb die Fachliteratur vielfach falsche Interpretationen enthält», vertreten bereits *Kuoch* und *Amiet* (1970, S. 209). *Tiefenbacher* (1988) spricht in diesem Zusammenhang von einer systematischen Überschätzung des Kernwuchs-Anteils. Der Grund für die Unsicherheit liege darin, so *Stimm* und *Bergmann* (1994), dass die ursprüngliche Verbindung zwischen dem Initialbaum und dem Ableger meist nicht mehr vorhanden sei.

Bezüglich der Entstehungsart fanden *Rachoy* und *Exner* (1989) bei den von ihnen untersuchten Baumkollektiven im Bereich der Waldgrenze standortsabhängige Unterschiede: Diejenigen Baumkollektive, die sie als Übergangsstadium von der Kampfzone zum geschlossenen subalpinen Fichtenwald bezeichnen und die noch maximale Baumhöhen von 14 bis 24 m erreichen, bestehen im wesentlichen aus Kernwüchsen. Dagegen treten bei den oberhalb des geschlossenen subalpinen Fichtenwaldes im Bereich der Waldgrenze («Waldkrone») vorgefundenen Baumkollektiven mit Höhen von 2,0 bis 10,5 m «im verstärkten Mass» Ablegerstämmchen auf. In diesem Sinne äussert sich auch *Tiefenbacher* (1988), der feststellt, dass der Anteil der Kernwüchse an den lebenden Stämmen von Baumkollektiven von rund 90% im oberen Bereich des geschlossenen subalpinen Waldes mit der Annäherung an die Baumgrenze abnimmt und dort weniger als 10 % beträgt. Einen ähnlichen Sachverhalt, ohne ihn jedoch zu quantifizieren, beschreiben auch *Lokvenc* (1960) für das Riesengebirge und *Myczkowski* (1972) für den Nationalpark Hohe Tatra. Amerikanische Untersuchungen in den Rocky Mountains bestätigen ebenfalls eine mit der Seehöhe zunehmende Bedeutung der vegetativen Vermehrung für die Bildung von Baumkollektiven *(Weisberg* und *Baker,* 1995).

Auch nach *Kuoch* und *Amiet* (1970, S. 261) ist im «normal geschlossenen Fichtenwald weiter unten» die Koloniebildung selten. Der vegetativen Rottenbildung kommt daher im Verjüngungsprozess kaum eine ausschlaggebende Bedeutung zu. Dagegen können nach *Stimm* und *Bergmann* (1994) auch die natürlichen Baumkollektive im Höhenstufenbereich des subalpinen Fichtenwaldes grösstenteils aus vegetativen Ablegern bestehen. Bei dem Material, welches der zuletztgenannten Aussage zugrunde liegt, handelt es sich allerdings um Fichtenkollektive von Almflächen, bei denen der Verbiss durch Weidetiere möglicherweise eine Ablegerbildung fördert *(Stimm,* 1985; *Moreillon,* 1903). Auch die geringen Altersunterschiede, die ein Merkmal der Baumkollektive im subalpinen Wald sind, deuten darauf hin, dass die generative Entstehung eindeutig überwiegt und die wenigen vegetativ verjüngten Bäumchen, die am Rand unter den Kronen der wesentlich höheren Initialstämme aufwachsen, keine stabilitätsbeeinflussende Rolle spielen.

Die Untersuchungen von *Lowery* (1972) an Baumkollektiven im Bereich der Waldgrenze im Cascade Range (Washington) zeigen, dass – zumindest bei

den dortigen Standortsfaktoren und Baumarten *(Abies lasiocarpa, Abies amabilis, Tsuga mertensiana)* – auch die generative Vermehrung zur Bildung von Kollektiven mit ausgeprägter Rottenstruktur führen kann. Auch *Franklin et al.* (1971) fanden bei ihren Untersuchungen auf subalpinen Wiesen am Mount Rainier (Cascade Range, Washington) sowohl generativ wie vegetativ vermehrte Bäumchen der Baumart *Abies lasiocarpa.*

Das gehäufte Auftreten der Ablegerbildung im Bereich der Waldgrenze, welches schon im letzten Jahrhundert ausführlich beschrieben wurde (ausführliche Literaturhinweise bei *Kuoch* und *Amiet,* 1970, S. 210ff., und *Stimm,* 1985, S. 1ff.), ist übrigens keine Spezialität der Fichten im europäischen Alpenraum. Es wird von amerikanischen und russischen Autoren auch für andere Baumarten und Gebirge beschrieben *(Griggs,* 1938; *Wardle,* 1968). In der schweizerischen Forstwissenschaft ist es ebenfalls ein schon lange bekanntes Phänomen *(Eblin,* 1896; *Moreillon,* 1903).

4.3 Fläche natürlicher Baumkollektive

Die Kronenschirmflächen von Baumkollektiven im subalpinen Wald sind mit rund 20 bis 200 m^2 deutlich grösser als diejenigen von Baumkollektiven im Bereich der Waldgrenze und der Kampfzone, für die Angaben zwischen 2 und 20 m^2 Kronenschirmfläche vorliegen. Infolge der Tatsache, dass die Äste im subalpinen Wald wesentlich länger sind als in der Kampfzone, ist aber die Standfläche, die durch das Polygon der äussersten Stämme bestimmt ist, nur geringfügig grösser als bei Kampfzonenkollektiven. Die so definierte Standfläche, die z.B. bei Empfehlungen für die zu bepflanzende Fläche massgebend ist, ist in beiden Fällen erheblich kleiner als die Kronenschirmfläche.

Nach *Kuoch* und *Amiet* (1970, S. 251) erscheint «die äussere Form der Fichtenkolonie [bzw. Fichtenrotte] vornehmlich durch die Standortsfaktoren Schnee (Kriechen, Gleiten, Rutschen), Wind und Wärme beeinflusst.., die Grösse ausgewachsener Kolonien meist durch topographische oder edaphische Faktoren (Gefällsbruch, Feinerde-, Rohhumus-Mangel)». Entsprechend der Vielfalt der möglichen Kombinationen von Standortsfaktoren ergeben die Aussagen der zahlreichen Untersuchungen ein sehr uneinheitliches Bild.

Angaben zur Fläche beziehen sich in den meisten Fällen auf die Kronenschirmfläche, welche eine zeitlich veränderliche Grösse darstellt, da sie mit der Astlänge zunimmt. Angaben über die Kronenschirmfläche sollten deshalb, wie in einigen Publikationen geschehen, mit Aussagen zu Baumhöhen und/oder Astlängen ergänzt werden. Kronenschirmflächen weisen zudem systematisch höhere Werte auf als Flächen- oder Durchmesserangaben, die auf Polygonen oder Abständen von Randstämmen beruhen (Standfläche). Ohne weitere Hinweise handelt es sich bei den folgenden Angaben um Kronenschirmflächen.

Bei Baumkollektiven in der Kampfzone massen *Kuoch* und *Amiet* (1970) Flächen von 2,8 bis 17,0 m^2. Die von ihnen untersuchten Baumkollektive (Kolonien) besassen maximale Baumhöhen von etwa 3 bis 7 m. Bei ähnlichen Baumhöhen berichten *Schönenberger* (1978), *Rachoy* und *Exner* (1989) sowie *Pitterle* (1987) von Flächengrössen von 5 bis 15 m^2, 16 m^2 und 2 bis 20 m^2. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt *Arquillière* (1986), die bei länglich-ovalen Grundrissen 2 bis 7 m als maximale Durchmesser der Kronenschirmfläche angibt. Die ebenfalls von *Rachoy* und *Exner* (1989) genannten Flächen von 114 m^2 und 228 m^2 sind offensichtlich dadurch bedingt, dass eine gemeinsame Kronenablotung für mehrere, nur gering miteinander verzahnte Baumkollektive erfolgte.

Bei einer Versuchsfläche im subalpinen Wald ermittelte *Strobel* (1995) Kronenschirmflächen, die bei 84 % der rottenförmigen Baumkollektive weniger als 130 m^2 betrugen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen *Rachoy* und *Exner* (1989, S. 46ff.), die Flächen von 51 bis 164 m^2 ermitteln. Bei beiden Arbeiten sind neben den primären Baumkollektiven auch die in den folgenden Jahrzehnten am Aussenrand natürlich verjüngten Kollektivglieder sowie solche Baumkollektive berücksichtigt, die sich aus mehreren ursprünglich räumlich getrennten Primärkollektiven gebildet haben. Die Baumkollektive von *Myczkowski* (1972), aus dessen Abbildungen sich Kollektivdurchmesser (Stamm zu Stamm) von 2 bis 6 m (max. 8 m) entnehmen lassen, von *Mattersberger* (1986), der Zahlen von rund 30 bis 40 m^2 mit dem oberen Extrem von 75 m^2 nennt, und von *Pitterle* (1987), der für diese Höhenstufe 13 bis 50 m^2 angibt, verfügen über deutlich weniger Stämme als diejenigen der beiden zuvor zitierten Arbeiten. Aus den Abbildungen der zuletzt genannten Arbeiten ist jedoch zu entnehmen, dass sich die Angaben der Autoren nur auf die primären Baumkollektive beziehen. *Zeller* (1977) berichtet aufgrund von langjährigen Beobachtungen, dass die Fläche häufig 50 bis 200 m^2 betrage.

4.4 Erweiterung natürlicher Baumkollektive

Die Richtung der allmählichen Erweiterung der natürlichen Baumkollektive der Kampfzone wird stark von den ökologischen Faktoren Wind, Schnee und Sonneneinstrahlung beeinflusst. Sie steht in Zusammenhang mit den Ursachen für die unterschiedlichen Grundrisse und Formen. Bei konzentrischen Kampfzonenkollektiven, wie sie für ebene oder schwach geneigte, schwach windbeeinflusste Lagen typisch sind, befinden sich die ältesten, höchsten und stärksten Stämme im Zentrum. Am Hang dagegen werden die stärksten und ältesten Stämme (nahe) am bergseitigen Rand oder an der bergseitigen Spitze angetroffen *(Arquillière,* 1986; *Stimm,* 1985; *Schönenberger,* 1978; *Lowery,* 1972), bei starkem Windeinfluss an der windzugewandten Seite *(Mullenbach,* 1982). Ursache ist die allmähliche Erweiterung des Kollektivs im

Schutz des Ablegerbildners bzw. des ältesten Kollektivgliedes vor Wind oder Frost. So berichtet *Normann* (1863) von Kolonien in der oberen Waldpionierzone Norwegens, die sich nur auf der windabgewandten und von der Sonne direkt bestrahlten Seite erweitern. Unter anderen klimatischen Bedingungen kann die Feuchtigkeit die Richtung der Erweiterung bestimmen: *Franklin et al.* (1971) fanden die ältesten, höchsten und stärksten Bäumchen jeweils am südlichen Rand der Baumkollektive. Die Erweiterung der in leicht geneigter Lage stockenden Baumkollektive erfolgte in nordöstlicher Richtung.

4.5 Grundriss natürlicher Baumkollektive

Abhängigkeit von Höhenlage und Hangneigung

Für den Grundriss natürlicher Baumkollektive ist vor allem die Neigung des Standortes ausschlaggebend. In Hanglagen unterhalb der Kampfzone werden tropfenförmige oder keilförmige, mit der spitzen Seite zur Bergseite zeigenden Grundrisse als Ergebnis von Schneebewegungen betrachtet. Auf ebenen bis schwach geneigten Standorten derselben Höhenstufe entstehen kreisförmige oder rundlich-ovale Grundrisse, wobei diese Aussage auch für ebene, schneereiche und wenig windbeeinflusste Standorte der Kampfzone zutrifft. In Hanglagen der zuletzt genannten Stufe werden in Hangrichtung ovale bis längliche oder keilförmige Grundrisse angetroffen. Insbesondere in der Kampfzone wird der Grundriss aber durch zusätzliche Faktoren beeinflusst. In allen Höhenstufen können, ausgehend von umgestürzten und vermodernden oder noch verwurzelten Stämmen, länglich-ovale oder reihenförmige Baumkollektive entstehen.

Grundriss in Lagen unterhalb der Kampfzone

Nach den Untersuchungen von *Stimm* (1985) auf Almflächen der Bayerischen Alpen und des Berner Oberlandes sowie *Tiefenbacher* (1988) in den Fischbacher Alpen und im Wechselmassiv (Ostrand der Zentralalpen) ist der Grundriss der Kollektive auf ebenen und schwach geneigten Standorten unterhalb der Kampfzone meist kreisförmig bis oval. Diese Anordnung fand bereits *Normann* (1863) in Norwegen, der für den lichten Wald unterhalb der Waldgrenze rundlich ausgeformte Kolonien beschreibt. Am Hang dagegen beschreibt *Stimm* (1985) keilförmige, mit der spitzen Seite zur Bergseite zeigende Kolonien, bei denen die Initialstämme in den bergseitigen Keilspitzen angetroffen werden. Eine ähnliche Aussage machen *Pitterle* (1987) und *Lowery* (1972), der natürliche Baumkollektive der Baumart *Abies lasiocarpa* im pazifisch beeinflussten Cascade Range (Washington) untersuchte: Beide

beschreiben tropfenförmige Formen, die sie als Ergebnis von Schneegleiten bzw. Schneekriechen betrachten.

Grundriss in der Kampfzone

Bei natürlichen Rotten, Kolonien oder Bauminseln in der Kampfzone hängt der Grundriss von den lokalen Gegebenheiten wie Windexposition, Hangneigung, Schneebewegungen, Lawinen, Reliefgestaltung ab; meist wird er als in Hangrichtung oval bis länglich *(Holtmeier,* 1986, vgl. auch *Kuoch* und *Amiet,* 1970) oder als auskeilend hangabwärts beschrieben *(Stimm,* 1985). Ähnliche Beobachtungen stammen auch von *Schönenberger* (1978), der Baumkollektive in Lawinenzügen untersuchte. In ebenen, schneereichen und wenig windbeeinflussten Lagen dagegen werden auch in dieser Zone kreisförmige *(Stimm,* 1985) oder rundlich-ovale Grundrisse angetroffen.

In schneearmen und stark windbeeinflussten Lagen der Kampfzone sind nach *Mullenbach* (1982), der Kollektive in den trockenen und kontinental geprägten französischen Südalpen untersuchte, als Folge der Wanderung der Kollektive in Richtung der windabgewandten Seite keilförmig-ovale Grundrisse mit der Spitze an der windabgewandten Seite vorherrschend. *Normann* (1863) beschreibt Kolonien in der oberen Waldpionierzone Norwegens und berichtet von band- oder linienförmigen Grundrissen. Ähnliche Grundrisse und Wanderungen von Kollektiven werden in mehreren Untersuchungen erwähnt, die sich mit Kampfzonenkollektiven der kontinentalen und stark windbeeinflussten Rocky Mountains befassen (ausführliche Literaturhinweise bei *Holtmeier,* 1986). Detaillierte Aussagen über den Einfluss ökologischer Faktoren auf das Wachstum von natürlichen Baumkollektiven in der Kampfzone finden sich bei *Stimm* (1985) und *Arquillière* (1986).

Sonderfälle

Einen Sonderfall der Kollektivbildung beschreibt *Myczkowski* (1972). Für den geschlossenen, vor allem jedoch für den offenen subalpinen Wald berichtet er von reihenähnlichen Kollektiven, die durch Ansamung auf vermodernden Stämmen umgestürzter Bäume entstanden. Bei noch lebenden Bäumen, die nur halbwegs entwurzelt sind, kann ein ähnlicher Grundriss auch durch die Bewurzelung und Ablegerbildung von an oder in den Boden gepressten Ästen entstehen *(Schönenberger,* 1978, vgl. auch *Holtmeier,* 1985). Die Untersuchung von *Kuoch* und *Amiet* (1970) deutet darauf hin, dass die zuletzt genannte Art der Entstehung nicht unüblich ist und je nach Länge des umgestürzten und noch verwurzelten Stammes oder Stammteils auch zu ovalen Grundrissen führen kann.

4.6 Form natürlicher Baumkollektive

In der Kampfzone wird nicht nur der Grundriss, sondern auch die Form (Aufriss) natürlicher Baumkollektive von den ökologischen Faktoren Wind, Schnee und Sonneneinstrahlung beeinflusst. Sie geben die Richtung der allmählichen Erweiterung des Baumkollektivs vor. Für die Form und die Beastung bereits existierender Baumkollektive scheinen Frost und Frosttrocknis eine wesentliche Bedeutung zu haben *(Schönenberger,* 1978). Auf gering windbeeinflussten Standorten in ebenen bis schwach geneigten Lagen befinden sich die ältesten und höchsten Stämme im Zentrum, und das Baumkollektiv erhält eine mehr oder weniger ausgeprägte kegelförmige Form. An Hängen mit starken Schneebewegungen wurden die höchsten und stärksten Stämme am oberen Rand der Baumkollektive beobachtet. Gegen den subalpinen Wald werden die niedrigen, meist stumpfkegeligen Baumkollektive der Kampfzone durch wesentlich höhere Baumkollektive ersetzt. Diese Baumkollektive sind dadurch gekennzeichnet, dass einige wenige, meist randständige Stämme eine vorherrschende Stellung und – gegenüber den übrigen beteiligten Kollektivgliedern – einen grossen Höhenwachstumsvorsprung besitzen. Die Form wird als spitzkegelig bis zylindrisch beschrieben, wobei in späten Entwicklungsstufen das Auseinanderstreben der Gipfelpartie ein typisches Merkmal ist. Die gegen die Stammspitze abnehmenden Astlängen tragen optisch zu einer spitzkegeligen Form bei. Eine ähnliche Wirkung geht von solchen Bäumen aus, die sich mit grossem zeitlichem Abstand generativ oder vegetativ am Rand des ursprünglichen (primären) Baumkollektivs verjüngt haben, sofern ihre Äste über die Kronenschirmfläche der herrschenden Stämme hinausragen.

Bei einer annähernd konzentrischen Ausdehnung der Baumkollektive, wie sie für gering windbeeinflusste Standorte in ebenen bis schwach geneigten Lagen typisch ist, befinden sich die höchsten Stämme im Zentrum. Das Baumkollektiv erhält im Profil eine Form, wie sie *Kuoch* und *Amiet* (1970, S. 208) im Bereich der Waldgrenze und der sich oberhalb anschliessenden Kampfzone angetroffen haben. Sie beschreiben die Rottenaufrisse in der Hangfallgeraden und in der Hanghorizontalen als ein mehr oder weniger deutlich ausgeprägtes, ungleichseitiges Dreieck («indem sich den in der Zentralpartie befindlichen höheren Stämmchen nach aussen hin kleinere Pflanzen anschliessen»). Ähnliche Angaben für diese Höhenstufe stammen von *Lowery* (1972) für *Abies lasiocarpa*-Kollektive und *Stimm* (1985) für Fichtenkolonien: Beide orten die ältesten und höchsten Stämme bzw. Initialstämme mehr oder weniger im Zentrum. Die Untersuchungen von *Rachoy* und *Exner* (1989) deuten an, dass – innerhalb des Waldgrenzbereichs und der Kampfzone – mit ansteigender Höhenlage und zugleich zunehmendem Schnee- und Windeinfluss eine stärkere Strukturierung in Richtung einer Rottenform einsetzt, die zu relativ niedrigen, stumpfkegeligen Formen führt (vgl. auch *Pitterle,* 1987). Einem «Durch-

wachsen eines Rottenstammes» sind nach *Tiefenbacher* (1988) in der Kampfzone enge ökologische Grenzen gesetzt.

Am Hang, bei starken Einwirkungen durch Schneegleiten, -kriechen oder Lawinen, ergeben sich andere Rottenaufrisse: *Schönenberger* (1978) traf die von *Kuoch* und *Amiet* (1970) beschriebene Form nur am talseitigen Rand der Baumkollektive an; die höchsten und vor allem stärksten Stämmchen lokalisierte er nahe am oberen Rand der oft sehr dichten Baumkollektive (vgl. auch *Schönenberger,* 1981). Die zentralen Stämmchen wiesen bei nur wenig geringerer Höhe einen deutlich schwächeren Brusthöhendurchmesser auf und waren deshalb weniger abholzig. Nach *Schönenberger* (1978) ist die von ihm beschriebene Form durch klimatische Faktoren, vor allem Frosttrocknis, bedingt. Sehr ähnliche Verteilungen und Aussagen finden sich auch bei *Arquillière* (1986), die ebenfalls stark von Wind, Schnee und Frost beeinflusste Kampfzonenkollektive im Massif du Taillefer (Alpes dauphinoises) untersuchte.

Kuoch und *Amiet* (1970) unterscheiden zwischen den kegelförmigen Rotten der Kampfzone («Kolonien») und den Rotten der obersten, lichten Waldzone, die – ebenfalls vegetativen Ursprungs – mitunter aus wenigen Altholzstämmen mit einzelnen kleinen Jungpflanzen bestehen. Typisch für die zuletzt genannten, wüchsigeren Rotten, so die Autoren, ist das Auseinanderstreben der Gipfelpartie, welches den niedrigeren Rotten der Kampfzone fehlt. Eine ähnliche Aussage macht *Lowery* (1972), der Baumkollektive, die auf relativ tiefgelegenen und gut wasserversorgten Standorten seines Untersuchungsgebietes stocken und Baumhöhen bis zu 33 m erreichen, als zylindrisch bezeichnet. *Tiefenbacher* (1988) beschreibt für die Höhenstufe des oberen subalpinen Waldes zwar ebenfalls sich konzentrisch ausdehnende Baumkollektive, rechnet jedoch mit dem Durchwachsen eines zentralen Stammes. *Stimm* (1985) und *Pitterle* (1987) trafen in dieser Höhenstufe meist (spitz-)kegelige Kollektive mit relativ wenigen vorherrschenden Stämmen an. *Rachoy* und *Exner* (1989, S. 50) stellten in einem Baumkollektiv der Baumholzstufe eine sehr schwach ausgeprägte vertikale Struktur fest, indem für 72 % der Stämme eine Höhe von 20,5 bis 24,0 m gemessen wurde. Die höchsten Stämme standen am Rand des Baumkollektivs. Natürliche Ausfälle, vermutlich auch infolge der geringen Gesamtstammzahl, haben erst in jüngster Zeit eingesetzt und betreffen ausschliesslich die Mittel- und Unterschicht, was einer Strukturierung entgegenwirkt. *Strobel* (1995) beobachtete auf seiner Versuchsfläche im subalpinen Wald, dass die herrschenden Bäume am Rand des primären Baumkollektivs stehen. Eine vertikale Differenzierung bzw. eine der Kegelform ähnliche Struktur ist jedoch häufig und in denjenigen Fällen entstanden, in denen am Rand der primären Baumkollektive, welche sich innerhalb weniger Jahre natürlich verjüngt haben, mit grossem zeitlichen Abstand sukzessiv weitere Bäumchen keimten.

Einen Sonderfall stellen die Untersuchungen von *Lowery* (1972) dar, welche die Höhenstufe vom subalpinen Wald bis zur Kampfzone umfassten. Er

fand dreieckige, rechteckige und andere Rottenaufrisse. Dreieckige Formen führte er auf das deutlich unterschiedliche Alter zurück, rechteckige auf den alle Bäume betreffenden Abschluss des Höhenwachstums. Eine Zwischenform ergibt sich, wenn nur die ältesten Stämme im Zentrum das Höhenwachstum eingestellt haben *(«triangular-truncated»,* Trapez). Eine Höhendepression im Zentrum ist für ihn ein Zeichen von Absterbeerscheinungen an diesem Ort *(«decadent center»)*. Dreieckige und trapezförmige Profile treten nach seinen Aussagen gleichmässig in allen Hangneigungsklassen auf, rechteckige Profile oder Profile mit einer Höhendepression im Zentrum können dagegen vor allem bei Hangneigungen von unter 20° beobachtet werden. Der Autor nennt Gründe für die unterschiedlichen Formen: Bei Stammscheibenanalysen zweier Baumkollektive mit ausgeprägter Rottenstruktur und jeweils rund 120 Stämmchen zeigte sich, dass das Alter der Stämme die wichtigste Rolle spielt (vgl. Kapitel 4.7). Daneben sind es nach *Lowery* (1972) auch die unterschiedlichen Höhenzuwächse in den Stammbereichen 0 bis 1 m und 1 bis 2 m (im Zentrum stärker, am Rand geringer), die zur Ausbildung einer ausgeprägten Rottenstruktur führen. Die unterschiedlichen Höhenzuwächse führt *Lowery* (1972) vorwiegend auf die kleinstandörtlichen Unterschiede zurück. Er vermutet die ältesten Bäume am günstigsten Ort des Kleinstandortes (Bodenerhebung, Rücken), die jüngeren Bäume am Rand bei etwas ungünstigeren Wachstumsbedingungen.

4.7. Altersunterschiede in natürlichen Baumkollektiven

Während die Altersspreitung in den überwiegend aus Samen entstandenen Baumkollektiven des subalpinen Waldes durchschnittlich nur rund 10 Jahre beträgt, sind die Unterschiede in den meist vegetativ entstandenen Baumkollektiven der Kampfzone mit rund 100 bis 200 Jahren gross. Bei allen Aussagen und Vergleichen ist das Maximalalter und die Altersverteilung zu berücksichtigen: Junge Kampfzonenkollektive weisen naturgemäss keine grossen Altersunterschiede auf. Bei Baumkollektiven im subalpinen Wald können grosse Altersunterschiede dadurch zustandekommen, dass sich am Rand des ursprünglichen Primärkollektivs mit grossem zeitlichem Abstand Bäumchen generativ oder vegetativ verjüngen. In solchen Fällen kann eine Analyse der Altersverteilung dazu beitragen, falsche Folgerungen hinsichtlich des Entstehungszeitraums des ursprünglichen Baumkollektivs zu vermeiden.

In Kolonien der Kampfzone nimmt das Alter der Stämme entstehungsbedingt vom Initialbaum zu den Ablegern hin ab, was unter anderem auch in der Abnahme der Stammhöhen und -durchmesser zum Ausdruck kommt *(Holtmeier,* 1986). So berichten *Kuoch* und *Amiet* (1970), die drei Kolonien am Seehorn (Davos) untersuchten, von Altersunterschieden von 100 bis 196 Jahren zwischen den ältesten und den jüngsten Koloniegliedern. Zu sehr ähnlichen

Ergebnissen kommt *Arquillière* (1986), die bei vier ausgeprägt kegelförmigen Kolonien zwischen den ältesten Ablegerbildnern und den jüngsten, randständigen Stämmen Altersunterschiede von rund 40, 80, 130 und 140 Jahren ermittelte. Dabei ist zu beachten, dass die geringen Altersunterschiede von 40 und 80 Jahren bei Kolonien angetroffen wurden, deren Initialstämme erst rund 56 bzw. 110 Jahre alt waren. Auch *Lowery* (1972) stellte durch Stammscheibenanalysen von zwei ausgeprägt kegelförmigen Baumkollektiven im Bereich der Waldgrenze Altersunterschiede von rund 140 bzw. 220 Jahren zwischen den ältesten, im Zentrum gelegenen und den jüngsten, am Rand stockenden Bäumen fest. Nach seinen Untersuchungen besteht ein enger Zusammenhang zwischen Alter und Höhe der Kollektivglieder. Dieser Zusammenhang wird durch die obengenannten Arbeiten gestützt, von *Franklin et al.* (1971) jedoch ausdrücklich bestritten, und auch bei *Rachoy* und *Exner* (1989) finden sich Hinweise auf dessen Fehlen.

Die maximalen Altersunterschiede allein ergeben noch kein vollständiges Bild der besonderen Situation in Kampfzonenkollektiven. Zusätzlich sind Aussagen erforderlich über die Kontinuität der Abnahme der Baumalter sowie über die Verteilung nach Stammzahlen. Die Arbeit von *Kuoch* und *Amiet* (1970) verdeutlicht, dass in jeder Altersklasse von 25 Jahren mehrere Stämme vertreten sind, die grossen Altersunterschiede also nicht durch solche Bäumchen zustande kommen, die sich in den letzten Jahren zufällig vegetativ oder generativ am Rand des Baumkollektivs verjüngt haben.

Strobel (1995), der 58 aus Ansamung entstandene Kollektive im subalpinen Fichtenwald untersuchte, traf innerhalb der Baumkollektive überraschend geringe Altersunterschiede von durchschnittlich rund 10 Jahren an. Geringe Altersunterschiede von nur 11 Jahren (Alter 146 bis 157) fanden auch *Rachoy* und *Exner* (1989) bei einem Baumkollektiv, welches sie dem subalpinen Fichtenwald zuordnen. Baumkollektive des Waldgrenzbereichs und der Kampfzone besassen jedoch auch nach ihrer Untersuchung wesentlich weitere Altersrahmen von 48 bis 66 Jahren, die, so ist aufgrund der geringen Baumalter von maximal 117 Jahren zu vermuten, eine Erweiterung erfahren werden. *Mattersberger* (1986), der natürlich entstandene Baumkollektive in einem subalpinen, ehemals sehr stark beweideten Fichtenwald bei Lienz (A) untersuchte, berichtet von relativ grossen Altersdifferenzen von durchschnittlich 23 bis 36 Jahren. Er weist jedoch darauf hin, dass die Altersspreitung innerhalb der Oberschicht meist viel geringer ist und sich auf 1 bis 3 Jahre verringern kann.

4.8 Stammzahl und Stammzahldichte in natürlichen Baumkollektiven

Bei Baumkollektiven in der Kampfzone werden rund 10 bis 200 Stämmchen je Baumkollektiv gezählt. Die für Vergleichszwecke auf einen Hektar

hochgerechneten Stammzahldichten von rund 10 000 bis 80 000 Stämmchen je Hektar zeugen von einem Dichtstand innerhalb der Baumkollektive. Untersuchungen im subalpinen Wald zeigen, dass die dortigen Baumkollektive sowohl weniger Stämmchen als auch eine geringere Stammzahldichte aufweisen. Die Angaben schwanken zwischen rund 3 und 20 Stämmen je Baumkollektiv bzw. rund 1 000 und 2 400 Stämmen je Hektar. Es ist jedoch zu beachten, dass die untersuchten Baumkollektive unterschiedlichen Entwicklungsstufen angehören und für die Berechnung der Stammzahldichte nur Angaben über die Kronenschirmfläche zur Verfügung standen. Der zuletzt genannte Umstand hat somit eine je nach Entwicklungsstufe bzw. Kronenausbildung unterschiedlich starke Unterschätzung der Stammzahldichte zur Folge.

Nach den Untersuchungen von *Strobel* (1995) an Baumkollektiven des *subalpinen Fichtenwaldes* sind sowohl die Kollektive der Entwicklungsstufen Dickung-Baumholz als auch die heutigen Nachwuchskollektive (max. Baumhöhe: 2 m) stammzahlarm. So verfügten nur 12 % der Nachwuchskollektive und 24 % der etablierten Baumkollektive über mehr als 10 Stämme. Sehr ähnliche Zahlen ergeben sich aus den Arbeiten von *Myczkowski* (1972), der im offenen subalpinen Wald der Hohen Tatra bei maximalen Baumhöhen von rund 24 m Fichtenkollektive mit 2 bis 10 Stämmen antraf, und *Mattersberger* (1986), der schwerpunktmässig 3 bis 4 und selten mehr als 5 ausgewachsene Bäume je Kollektiv zählte. Auch nach anderen Autoren sind in der Baumholzstufe häufig Baumkollektive mit 4 bis 8 *(Zeller,* 1977, S. 201) bzw. 3 bis 10 Bäumen zu beobachten *(Schönenberger et al.,* 1990; *Mlinšek,* 1975). *Rachoy* und *Exner* (1989) ermittelten für drei Baumkollektive, die sie dem subalpinen Fichtenwald bzw. einer Übergangszone zum Waldgrenzbereich zuordneten und für die sie maximale Baumhöhen von 24, 17 und 14 m massen, zwischen 11 und 20 lebende und tote Stämme sowie Stammzahldichten zwischen rund 1000 und 2000 Stämme je Hektar. Sehr ähnliche Werte fand *Strobel* (1995), der bei zwei näher untersuchten primären Baumkollektiven mit maximalen Baumhöhen von etwa 16 m und 22 m Stammzahlen von 14 bzw. 16 sowie Dichten von rund 1000 bis 2400 Stämme je Hektar antraf.

Die jüngeren und sehr viel niedrigeren Baumkollektive der stark windbeeinflussten *Kampfzone* zeichnen sich nach den Angaben von *Rachoy* und *Exner* (1989) durch höhere absolute Stammzahlen (rund 70 bis 200) und höhere Stammzahldichten (rund 6 000 bis 50 000 je Hektar) als im subalpinen Wald aus. Zu ähnlichen Werten führen die Untersuchungen von *Kuoch* und *Amiet* (1970) an drei Fichtenkolonien der Kampfzone, die maximale Baumhöhen zwischen 4,0 m und 5,6 m erreichen. Sie berichten von 37 bis 120 aufrechten Bäumchen und entsprechenden Dichten von rund 27 000 bis 79 000 Stämmen je Hektar. Die Ergebnisse von *Schönenberger* (1978), der Stammzahlen von 10 bis 30 und Dichten von rund 20 000 Stämmen je Hektar feststellte, weichen davon nur geringfügig ab. Auch nach den Worten von *Pitterle* (1987) weisen die Baumkollektive dieser Höhenstufe extrem hohe Stammzahldichten auf; er

stellte bis zu 40 Individuen auf 15 m^2 (27000 je Hektar) fest. Aus den Aussagen und Abbildungen von *Lowery* (1972), der mittels Stammanalysen zwei *Abies lasiocarpa*-Kollektive im Cascade Range (Washington) untersuchte, lassen sich bei den beiden 270- und 140jährigen und im Maximum etwas über 12 bzw. 9 m hohen Baumkollektiven Stammzahldichten von rund 10000 bis 15000 Stämmen je Hektar ableiten. Ohne Angaben zur Fläche zu machen berichtet *Lokvenc* (1960) von sehr dichten Baumkollektiven mit teilweise mehr als 100 Stämmen.

Die genannten Aussagen werden durch die zahlreichen qualitativen Angaben zu Stammzahlen und Stammzahldichten unterstützt. *Rachoy* und *Exner* (1989), die natürliche Baumkollektive in einem Höhenband vom geschlossenen subalpinen Fichtenwald bis zur Kampfzone untersuchten, vermuten einen Zusammenhang zwischen Standortsbedingungen und Stammzahlen bzw. deren Dichten. Diese Meinung vertritt auch *Myczkowski* (1972), nach welchem die in der Kampfzone befindlichen Fichtenkollektive niedriger, stammzahlreicher und sehr viel dichter sind als die im subalpinen Wald stockenden Kollektive. Der Übergang von den niedrigen Stammzahlen je Baumkollektiv im subalpinen Wald zu den deutlich höheren Stammzahlen in der Kampfzone, so *Mattersberger* (1986), sei sprunghaft und finde im Bereich der Waldgrenze statt.

Ein Überblick über die absoluten Stammzahlen und deren Dichten wird dadurch erschwert, dass sich die Aussagen auf unterschiedliche Höhen- und Entwicklungsstufen beziehen. *Kuoch* und *Amiet* (1970, S. 195) z.B. weisen darauf hin, dass «von einer stammzahlreichen Verjüngungsrotte .. im Laufe der Entwicklung zum Baum nur noch wenige, eng gestellte Stämme übrig [bleiben]». Die Autoren teilen die Kollektivglieder nach ihrem Alter in Klassen ein. Dies führt zum Ergebnis, dass die Klassen mit zunehmendem Alter stammzahlärmer sind; die älteste Klasse enthält nur 1 bis 2 Exemplare. Zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen auch *Arquillière* (1986), die allerdings keine Einteilung der Stämme in Altersklassen vornimmt, und *Lowery* (1972). Die älteste Altersklasse des zuletzt genannten Autors beinhaltet jeweils 5 Stämme (bei durchschnittlich 120 Stämmen je Baumkollektiv). Da seine beiden Kollektive vermutlich überwiegend generativ entstanden sind, ist die zahlenmässige Ausstattung der Altersklassen stärker von klimatisch günstigen Jahren oder Perioden für die Ansamung als von Klonfolgen bestimmt. Die mehr oder weniger kontinuierliche Zunahme der Stammzahlen zu den jüngeren Altersklassen hin, welche die ausgeprägt kegelförmige Struktur ermöglicht, ist jedoch auch ein Kennzeichen seiner Baumkollektive. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Entwicklung von Baumkollektiven in der Kampfzone von sehr wenigen Initialbäumen ausgeht und die relativ stammzahlreichen und dichten Verjüngungsrotten, von denen zahlreiche Untersuchungen berichten, erst im Lauf der Zeit entstehen.

4.9 Wurzelkonkurrenz in natürlichen Baumkollektiven

Für Fichtenkolonien hält *Schönenberger* (1978) den funktionellen Zusammenschluss der Kollektivglieder zu einem einzigen Organismus für wahrscheinlich. Der Zusammenschluss über die Verbindungsstücke der Mutterbäume (Ablegerbildner) zu den Ablegern böte den Vorteil, dass die bei dichten Kollektiven normalerweise vorhandene Konkurrenz der Wurzeln um Wasser und Nährstoffe vermindert oder gar aufgehoben wäre. Ein weiterer Vorteil wäre, dass «auch bei Zerstörung sehr vieler oder aller Nadeln eines Koloniegliedes ... dessen Achsen weiterhin in einem gewissen Umfang mit Assimilaten versorgt [werden], was eine Regeneration der Nadeln erleichtert. Dank der Verbindungen innerhalb der Kolonie ist auch ein gemeinsamer Wuchsstoffhaushalt und eine gewisse Korrelation zwischen den Koloniegliedern anzunehmen» *(Schönenberger,* 1978, S. 266; ähnliche Formulierung bei *Holtmeier,* 1986).

Über die Lebensdauer dieser Verbindungen bestehen unterschiedliche Meinungen. Während nach *Schönenberger* (1978) die Verbindungsstücke meist bis ins hohe Alter intakt und funktionstüchtig bleiben, und *Lokvenc* (1960), der Fichtenkolonien in der Kampfzone des Riesengebirges (Tschechien) untersuchte, sogar meint, dass die Verbindungen bis über den Tod des Ablegerbildners hinaus bestehen und funktionstüchtig bleiben, berichten *Stimm* und *Bergmann* (1994) davon, dass bei älteren Rotten die ursprüngliche Verbindung zwischen dem Initialbaum und dem Ableger meist nicht mehr vorhanden sei, was den Nachvollzug der Genese (generativ oder vegetativ) erschwere. Nach *Kuoch* und *Amiet* (1970, S. 223f.) werden die Ableger nach etwa 50 bis 180 Jahren Selbstversorger. Die Autoren weisen jedoch auf die grosse Variation ihres Zahlenmaterials hin und schreiben: «Jedenfalls können grössere Klonglieder mit Stockdurchmessern von bis zu 40 cm noch tätige Verbindungen zum Klonbildner besitzen, während oft kleine Pflanzen von nur 1 m Höhe funktionell bereits mehr oder weniger unabhängig sind». Die beiden Autoren sind der Meinung, dass das Verbindungsstück mit der funktionellen Ablösung des Ablegers vom Ablegerbildner nicht sofort abstirbt, sondern noch während einiger Jahre am Leben bleibt.

Die obenstehenden Annahmen treffen aber nur für den Fall zu, dass die einzelnen Kollektivglieder Ableger sind und ihre Verbindungen zum jeweiligen Mutterbaum intakt sind. Bäume, die aus Samen entstanden sind (Kernwüchse), besitzen diese Vorteile nicht und sind deshalb einer sehr viel stärkeren Wurzelkonkurrenz ausgesetzt.

4.10 Standortsverhältnisse im Innern natürlicher Baumkollektive

In den dichten Kollektiven fällt sehr viel Nadelstreu an, die trotz eventueller Steilhanglage im Innern zurückgehalten wird. Die entstehende Streuschicht kann

nach den Beobachtungen von *Schönenberger* (1978) an Baumkollektiven in Lawinenzügen der nördlichen Schweizer Voralpen 10 bis 20 cm tief sein; sie ist sehr stark durchfilzt von Pilzmycel, ein guter Feuchtespeicher, und macht diese sonst sehr flachgründigen Böden physiologisch tiefgründiger. Auch *Holtmeier* und *Broll* (1995), die bezüglich der Form vergleichbare Kollektive am Niwot Ridge (Rocky Mountains) untersuchten, weisen auf die gegenüber der Umgebung völlig unterschiedlichen Standortsverhältnisse im Innern der Kollektive hin. In den rund 150 bis 250 Jahre alten Kolonien massen sie 15 bis 27 cm starke O-Horizonte, die stark von Pilzmycel durchzogen waren. Der Wasserhaushalt des A-Horizontes war ausgeglichener als ausserhalb der Kollektive. Die Autoren fanden weitere Unterschiede bezüglich Bodenart, Temperatur und Schneebedeckung. Aufgrund der besonderen klimatischen Verhältnisse ist jedoch die Übertragbarkeit ihrer Erkenntnisse auf den Alpenraum stark eingeschränkt.

Eine ähnliche Einschränkung gilt für die Arbeit von *Steward* (1974), die aus Samen entstandene Kampfzonenkollektive der Baumarten *Picea engelmannii* und *Abies lasiocarpa* im Rocky Mountain National Park untersuchte. Nach ihren Aussagen schaffen sich die grossflächigen (etwa 70 bis 370 m^2), jedoch nur 2 bis 3 m hohen und dichten Baumkollektive günstigere Standortsverhältnisse, indem sie Schneeansammlungen länger als die umgebende Vegetation zurückhalten und, unterstützt durch geringere Evaporation, eine bessere Wasserversorgung aufweisen. Dieser gegenseitige Schutz der Kollektivglieder, so die Autorin, sei ein wichtiger Faktor für das Fortbestehen der Baumkollektive.

Strobel (1995), der im Gegensatz zu den vorgenannten Arbeiten Baumkollektive in der Höhenstufe des geschlossenen subalpinen Waldes der kontinental beeinflussten Zwischenalpen untersuchte, stellt zwar auch einen mächtigen O-Horizont fest (30 bis 35 cm), die Humusauflage jedoch trocknet nach seinen Beobachtungen stark aus und wirkt dann hydrophob; aufgrund der hohen Interzeption vergleicht er den geschlossenen Kronenmantel eines dichten Baumkollektivs mit einem Regenschirm. Zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der Austrocknung des Oberbodens kommt *Bockheim* (1972), der den Einfluss von natürlichen Baumkollektiven auf die Bodenentwicklung am Mount Baker im sommertrockenen Cascade Range (Washington) untersuchte. *Trepp* (1981), der unter dichten Fichtenkollektiven ebenfalls lockere und gering durchfeuchtete Nadelstreuschichten beobachtete, erklärt solche auf den ersten Blick widersprüchlichen Ergebnisse damit, dass die Austrocknung der Streuschicht in den trockeneren Alpentälern stärker ausgeprägt ist als in den sehr niederschlagsreichen Schweizer Voralpen.

4.11 Wirkung von Baumkollektiven auf die Schneeablagerung

Grundsätzlich wird Schnee beim Vorhandensein von Baumkollektiven unregelmässig abgelagert, was sich stabilisierend auf die Schneedecke aus-

wirkt *(Schönenberger,* 1978; *Lowery,* 1972). Diese Aussage gilt nicht nur für die angesprochenen Baumkollektive der Kampfzone, sondern in ähnlicher Form auch für Baumkollektive in geschlossenen, wintergrünen Gebirgswäldern. So stellten z.B. *Meyer-Grass* und *Schneebeli* (1992) bei Untersuchungen zu Ursachen und Häufigkeit von Lawinenanrissen fest, dass auf Flächen, die keine Lawinenanrisse aufwiesen, die Bäume häufig in Form von Gruppen angeordnet sind. Dagegen ist auf vergleichbaren Hängen mit Lawinenanrissen die gruppenweise Anordnung seltener anzutreffen.

Insbesondere in der Kampfzone beeinflussen sich Schneeablagerungen und Baumkollektive gegenseitig: Einerseits schützen Schneeablagerungen Zweige und Nadeln vor winterlicher Frosttrocknis und bestimmen dadurch die Form und vor allem die allmähliche Erweiterung der Kollektive, andererseits haben die vorhandenen Kollektive einen starken Einfluss auf die Ablagerung von Schnee *(Schönenberger,* 1981; *Arquillière,* 1986). Über die genauen Orte und das Ausmass der Schneeakkumulation bestehen, da sie von der Gestalt (Grundriss, Höhe), der Struktur der Kollektive (Stammzahl, Stammzahldichte, Entwicklungsstufe, Stammform, Kronenform) und der Windgeschwindigkeit beeinflusst sind, unterschiedliche Aussagen: *Schönenberger* (1978) sowie *Holtmeier* und *Broll* (1992) berichten von dichtgepackten Schneeakkumulationen im Innern und auf der windabgewandten Seite von Kollektiven der Kampfzone, *Arquillière* (1986) von solchen im Innern und auf der windzugewandten Seite. *Holtmeier* (1986) dagegen vertritt die Auffassung, dass im Innern von sehr dicht geschlossenen, aus Ablegerbildung entstandenen Kolonien, die wie kompakte, nahezu undurchlässige Körper wirken, nur wenig Schnee abgelagert wird.

Untersuchungen an natürlichen Baumkollektiven zeigen, dass Bereiche um Einzelbäume oder Baumkollektive infolge von Strahlungsabsorption und Wärmerückstrahlung früher ausapern. Dies führt zu einer längeren Vegetationsperiode und bietet unter der Voraussetzung, dass Wärme ein limitierender Faktor ist, günstigere Verjüngungs- und Wachstumsbedingungen *(Lowery,* 1972; *Holtmeier,* 1986; *Holtmeier,* 1989). *Lowery* (1972) weist darauf hin, dass diese Wirkung vor allem von solchen Bäumen ausgeht, die während des Winters nicht mehr vom Schnee niedergedrückt werden. Dies könne die grossen Altersunterschiede in seinen ausgeprägt kegelförmigen Baumkollektiven erklären.

Für den hochmontanen und subalpinen Gebirgswald gilt, dass stufig oder rottenförmig aufgebaute Bestände gegenüber Schneebruch weniger anfällig sind, da sich auf dem Bestand keine geschlossene Schneedecke bildet bzw. der Schnee nicht mit voller Last auf einem geschlossenen Kronendach hängen bleibt, sondern seitlich abrutscht und in kleine Lücken fällt oder dort eingeweht wird *(Trepp,*1977; *Barandun,* 1983; *Frey,* 1977; *Frey,* 1985; *Schönenberger,* 1986). Dabei wirkt die Stufigkeit von Baumgruppen mit Rottenstruktur besonders günstig *(Frey,* 1985). *Mlinšek* (1975) weist jedoch darauf hin, dass dies nur

gilt, wenn mehrere Teilkronen eine gemeinsame symmetrische «Rottenkrone» formen; die Einzelglieder selbst sind aufgrund ihrer asymmetrischen Kronen gegenüber vertikaler Belastung (Schneelast) ungünstig gebaut.

4.12 Einfluss natürlicher Baumkollektive auf die Bestandesstabilität

Die nachhaltige Stabilität der Gebirgsfichtenwälder hängt hauptsächlich von der Waldstruktur ab. «Kleinflächig stufige, ungleichförmige Bestockungen sowie die für den Gebirgswald charakteristische Rottenbildung vermögen die bestmögliche Widerstandskraft gegenüber klimatischen Einwirkungen aller Art und die erforderliche Dauerhaftigkeit der verlangten Schutzwirkungen zu gewährleisten» *(Ott,* 1979, S. 351f.; vgl. auch *Mayer,* 1967; *Kuoch,* 1971b). Auch *Wasser* und *Frehner* (1996) bezeichnen Rotten – neben Kleinkollektiven und stabilen Einzelbäumen – ausdrücklich als Träger der Stabilität in Fichtenwäldern der hochmontanen und subalpinen Stufe. Sie betonen, dass Rotten in allen subalpinen Fichtenwaldgesellschaften die Stabilitätsanforderungen in idealer Weise erfüllen.

Der Grund für diese hohe Widerstandskraft liegt darin, dass natürliche Rotten in sich eng vernetzte, selbständige Gefüge von Wechselbeziehungen bilden und mit ihrer Umgebung nur in loser, nicht überlebenswichtiger Beziehung stehen, so dass sie auch ohne die umgebenden Bestandesteile weiterexistieren könnten *(Zeller,* 1982). Die hohe mechanische Stabilität und Sturmfestigkeit rottenförmig strukturierter Bestände ist durch die Abholzigkeit und Standfestigkeit der Bäume *(Schönenberger,* 1986), durch die höhere Zahl an widerstandsfähigen Randbäumen sowie durch die langen, im Idealfall bis zum Boden reichenden Kronen bedingt. Nach den Untersuchungen von *Mlinšek* (1975) in natürlich verjüngten Fichtenwäldern im Pokljuka-Hochplateau in Slowenien nimmt die Widerstandskraft der Rotte gegen horizontal wirkende Kräfte mit der Zahl der eingeschlossenen Baumindividuen exponentiell zu. Ursache dafür ist das Ineinandergreifen der Äste und die gegenseitige Verzahnung, welche unter dem Druck der Seitenkräfte eine Federwirkung ausüben.

Kommt es doch zu einem lokalen Schaden durch Sturm oder Schnee, so verhindert der spezielle Bestandesaufbau oft die in gleichförmigen Beständen nachfolgende Ausdehnung zu grossflächigen Schäden, die unter der Bezeichnung Dominoeffekt bekannt ist *(Schönenberger,* 1986; *Schönenberger et al.,* 1990). Auch bei Untersuchungen in subalpinen Fichten-Naturwäldern Österreichs erwiesen sich Baumkollektive selbst in Zerfallsphasen als wenig gefährdet hinsichtlich ihrer Standfestigkeit. Die Baumkollektive waren dadurch charakterisiert, dass sie sich selbständig entwickelt hatten, gegen benachbarte Gruppen infolge einer gewissen Distanz durch entsprechend vitale Kronenausbildung abgesichert und infolge einer günstigen inneren Struktur genügend standfest waren *(Mayer,* 1967).

Waldbauliche Eingriffe in Bestände, die aus stabilen Baumkollektiven oder Rotten aufgebaut sind, sind daher grundsätzlich weniger riskant als Eingriffe in gleichförmige. In älteren Beständen kann mit geringem Risiko – der restliche Bestand wird kaum gefährdet – durch die Entnahme von kompletten Baumkollektiven eine kleinflächige Verjüngung eingeleitet werden *(Schönenberger et al.,* 1990). Durch einen frühen Beginn und die zeitliche Staffelung der Verjüngungshiebe kann somit die weitere Entwicklung in Richtung der gewünschten stufigen, ungleichaltrigen Bestände, d.h. einer Gebirgsplenterstruktur begünstigt werden *(Zeller,* 1996). Die auch isoliert sich behauptenden Baumkollektive sind daher nach *Mayer* (1967, S. 356) «unbedingt zu erhalten und in ihrer langfristigen Stabilität durch weit vorausschauende Massnahmen zu fördern».

5. Diskussion und Folgerungen

Die Auswertung der Literatur zeigt, dass zwischen den natürlichen Baumkollektiven der Kampfzone und denjenigen des subalpinen Waldes bezüglich der Art der Entstehung, der Altersverteilung, der absoluten Stammzahl, der Stammzahldichte, der äusseren Form und der Wurzelkonkurrenz offensichtlich grosse Unterschiede bestehen.

Im Bereich der Waldgrenze und der sich oberhalb anschliessenden Kampfzone der Alpen spielt die vegetative Vermehrung eine entscheidende Rolle für die allmähliche Erweiterung der Baumkollektive. Sofern aber die Vermehrung nicht von alten umgestürzten Stämmen oder Resten von früher bestehenden Baumkollektiven ausgeht, sind die ersten Ablegerbildner das Ergebnis generativer Vermehrung an besonders günstigen Stellen und/oder in günstigen Klimaperioden. Die Untersuchungen zeigen, dass die Baumkollektive während der Initialphase nur aus 1 bis 5 Stämmen bestehen. Erst durch die nach Jahrzehnten einsetzende vegetative Vermehrung entwickeln sich die ursprünglich stammzahlarmen Baumkollektive im Laufe von vielen Jahrzehnten oder gar Jahrhunderten zu extrem dichten, stammzahlreichen und – je nach Hangneigung – zu mehr oder weniger stumpfkegelförmigen Baumkollektiven. Die Kronenschirmfläche der Baumkollektive in den mitteleuropäischen Gebirgen bleibt jedoch mit 2 bis 20 m^2 relativ klein. Diejenige Fläche, die durch das Polygon der randständigen Stämme definiert ist, dürfte in den meisten Fällen unter 10 m^2 betragen.

Ein völlig anderes Bild zeigen die überwiegend generativ entstandenen, sehr viel wüchsigeren Baumkollektive im subalpinen Wald. Da die Altersspreitung der primären Baumkollektive im Durchschnitt nur rund 10 Jahre beträgt, entwickelt sich eine anfänglich möglicherweise vorhandene Kegelform sehr rasch zu einer Form, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die höchsten und stärksten Bäume am Rande des Kollektivs stehen. Die Bäume im

Innern sind im Gegensatz zu denjenigen in der Kampfzone unterdrückt oder schon abgestorben, sie tragen nur sehr wenig zur Stabilität des Baumkollektivs bei. Durch die zur Baumspitze hin abnehmenden Astlängen der randständigen Bäume und durch mit grossem zeitlichem Abstand am Rand angesamte oder vegetativ vermehrte Bäumchen entsteht bei kleinen Kollektiven oftmals der Eindruck einer spitzkegeligen Form.

Die Kronenschirmfläche solcher Baumkollektive kann nach den Beobachtungen bis zu rund 200 m^2 betragen. Noch höhere Werte sind möglich, wenn die Kronen ehemals räumlich getrennter primärer Baumkollektive infolge ihrer geringen Abstände zusammengewachsen sind und, wie in einigen Untersuchungen geschehen, eine gemeinsame Kronenablotung erfolgt. Davon zu unterscheiden ist die Kronenschirmfläche einzelner primärer Baumkollektive, die in den meisten Fällen 50 m^2 nicht übersteigt. Diejenige Fläche der primären Baumkollektive, die durch das Polygon der randständigen Stämme definiert ist und z.B. für Pflanzungen massgebend ist (Standfläche), liegt infolge der grossen Astlängen im subalpinen Wald erheblich unter den zuletzt genannten Werten; sie ist abhängig von der Ansamungsgunst des Kleinstandortes. Aufgrund der Angaben über die Zahl der Stämme je Baumkollektiv kann die Standfläche auf rund 2 bis 15 m^2 geschätzt werden, womit sie sich nur noch wenig von derjenigen in der Kampfzone unterscheidet.

Die Untersuchungen über primäre Baumkollektive im *subalpinen Wald* zeigen, dass ihre natürliche Entwicklung von relativ stammzahlarmen und nahezu gleichaltrigen Nachwuchskollektiven auf günstigen Kleinstandorten ausgeht. Eine Nachahmung dieser Startbedingungen ist möglich, wobei aber durch eine Pflanzung die sehr frühe und vermutlich wichtige Phase der Differenzierung von Stamm, Krone und Wurzelwerk übersprungen wird. Die allmähliche Entwicklung zu stammzahlreicheren bzw. grossflächigeren Baumkollektiven mit einer grösseren Altersspreitung, die bei natürlichen Baumkollektiven oft durch die sukzessive Ansamung oder Ablegerbildung am Rand der ursprünglichen Baumkollektive erfolgt, kann zwar nicht geplant werden, sie wird aber durch die Einhaltung genügend grosser Abstände zwischen den Nachwuchskollektiven begünstigt.

Die natürlichen Baumkollektive der *Kampfzone* können nur mit erheblichen Einschränkungen Vorbild für Pflanzungen sein. Mit der Pflanzung übermässig stammzahlreicher, dichter und gleichaltriger Baumkollektive werden die Bedingungen für die natürliche Entstehung stabiler Baumkollektive nur unzureichend nachgeahmt. Insbesondere die über Jahrzehnte dauernde, allmähliche vegetative Erweiterung und damit ausgeprägte Ungleichaltrigkeit der anfangs sehr stammzahlarmen natürlichen Baumkollektive sowie die Verbindungen der Ablegerbildner zu den Ablegern können mit einer Pflanzung nicht unmittelbar bewirkt werden. In dieser Höhenstufe dürfte es vermutlich vorteilhafter sein, nach dem Vorbild der Natur mit wenigen, sehr kleinen und dichten Baumkollektiven auf den günstigsten Kleinstandorten zu starten. Sol-

che Pflanzungen, die auf 1 bis 2 m^2 nur 5 bis 10 Pflanzen umfassen und nach Möglichkeit sogar zeitlich gestaffelt erfolgen, können als Stützpunkt- oder Initialpflanzungen bezeichnet werden. Sie bieten die Chance, dass die vielleicht erst nach Jahrzehnten beginnende vegetative oder generative Erweiterung der kleinflächigen Baumkollektive (oder künstlich durch Pflanzung) die gewünschte Rottenstruktur bewirkt. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Initialkollektive selbst dann langfristig stabil bleiben, wenn ein Grossteil der gesetzten Pflanzen überlebt und keine Pflegemassnahmen erfolgen.

Zusammenfassung

Rottenpflanzungen im Gebirgswald haben meist die natürlichen Baumkollektive des subalpinen Waldes und der Kampfzone als Vorbilder. Bislang ist aber unklar, wie Pflanzungen angelegt werden müssen, damit die langfristig entstehenden Baumkollektive ähnliche Strukturen und Vorteile besitzen wie ihre Vorbilder. Die Literaturauswertung zeigt, dass zwischen den natürlichen Baumkollektiven der Kampfzone und jenen des subalpinen Waldes bedeutende Unterschiede bestehen, die vor allem die Entstehung und die Altersspreitung im Kollektiv betreffen. Sie zeigt auch, dass mit der dichten Pflanzung gleichaltriger Fichten die Startbedingungen und die nachfolgende Entwicklung von natürlichen Baumkollektiven der Kampfzone nicht nachgeahmt werden können. Im subalpinen Wald dagegen scheint eine Nachahmung möglich zu sein, sofern relativ kleine Baumkollektive gepflanzt werden.

Résumé

Les collectifs d'arbres naturels comme modèles pour la plantation en petits collectifs

Les plantations en petits collectifs en forêt de montagne ont la plupart du temps pour modèles les collectifs naturels d'arbres de la forêt subalpine et de la zone de lutte de la limite supérieure de la forêt. On ne sait pourtant pas jusqu'à maintenant de quelle manière ordonner les plantations pour que les collectifs d'arbres formés à longue échéance possèdent des structures et avantages semblables à ceux de leurs modèles. Il ressort de la littérature que les collectifs naturels de la zone de lutte et ceux de la forêt subalpine présentent des différences sensibles, concernant surtout leur formation et la répartition par classes d'âge. Il en ressort également que par la plantation dense d'épicéas équiennes, les conditions de départ et le développement ultérieur des collectifs d'arbres naturels de la zone de lutte ne peuvent être reproduites. Dans la forêt subalpine, il semble par contre qu'il soit possible de les reproduire, pour autant est que les collectifs plantés soient relativement petits. Traduction: *Stéphane Croptier*

Summary

Natural Tree Collectives – Model for «Rotte» Plantations

«Rotte» (tree island) plantations in mountain forests are usually modelled after the naturally regenerated tree collectives of subalpine forests and of the «kampfzone» (timberline transition zone above the closed stand where trees struggle for their existence). We do not yet know, however, how such plantations should be made to ensure that the future tree collectives have similar structures and advantages as their models. As this literature survey shows there are considerable differences between the natural tree collectives of the «kampfzone» and those of subalpine forests, mainly concerning the origins of, and age class differences within, the tree collectives. The survey also shows that it is not possible to imitate starting conditions and the further development of natural tree collectives of the «kampfzone» simply by densely planting even-aged spruce trees. In the subalpine forest, however, imitation appears to be possible provided comparatively small tree collectives are planted. Translation: *Rosmarie Louis*

Literatur

Arquillière, S. (1986): Morphologie, croissance, réproduction végétative de l'épicea *(Picea abies* Karst.) dans une zone de combat subalpine: Massif de Taillefer; Alpes dauphinoises. Thèse, Université de Grenoble. 266 S. und Anhang.

Barandun, J. (1983): Aufforstung in hohen Lagen. Schweiz. Z. Forstwes. *134* (6): 431–441.

Bockheim, J. G. (1972): Effects of Alpine and Subalpine Vegetation on Soil Development, Mount Baker, Washington. Diss. Univ. of Washington, Seattle. 171 S.

Eblin, B. (1896): Über die Ausläufer bildende Fichte. Schweiz. Z. Forstwes. *47* (11): 362–364.

Fillbrandt, Th. (1997): Pflanzungen im Gebirgswald zur Nachahmung natürlicher Rotten. Schweiz. Z. Forstwes. *148* (1): 73–92.

Franklin, J.; Moir, W.; Douglas, G.; Wiberg, C. (1971): Invasion of Subalpine Meadows by Trees in the Cascade Range, Washington and Oregon. Arctic and Alpine Research *3* (3): 215–224.

Frey, W. (1977): Wechselseitige Beziehungen zwischen Schnee und Pflanze – eine Zusammenstellung anhand von Literatur. Mitt. Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. 34. 223 S.

Frey, W. (1985): Schäden durch Schneelast in Fichtenaufforstungen: Folgerungen, Behandlungsvorschläge. Schweiz. Z. Forstwes. *136* (4): 311–319.

Griggs, R. (1938): Timberlines in the Northern Rocky Mountains. Ecology *19* (4): 548–564.

Holtmeier, F. (1985): Climatic Stress Influencing the Physiognomy of Trees at the Polar and Mountain Timberline. In: Turner-Tranquillini: Establishment and Tending of Subalpine Forest: Research and Management. Proc. 3. IUFRO-Workshop P. 1.07–00 1984. Ber. WSL, Nr. 270: 31–40.

Holtmeier, F. (1986): Über Bauminseln (Kollektive) an der klimatischen Waldgrenze – unter besonderer Berücksichtigung von Beobachtungen in verschiedenen Hochgebirgen Nordamerikas. Wetter und Leben *38* (3): 121–139.

Holtmeier, F. (1989): Ökologie und Geographie der oberen Waldgrenze. Ber. d. Reinh. Tüxen-Ges., Göttingen, 1: 15–45.

Holtmeier, F.; Broll, G. (1992): The Influence of Tree Islands and Microtopography on Pedoecological Conditions in the Forest-Alpine Tundra Ecotone on Niwot Ridge, Colorado Front Range, U.S.A. Arctic and Alpine Research *24* (3): 216–228.

Kuoch, R. (1971a): Über den Nachwuchs im Bergwald. Berner Wald *2* (4): 79–80.

Kuoch, R. (1971b): Nachwuchspflege im Bergwald. Berner Wald *2* (5): 107–110.

Kuoch, R.; Amiet, R. (1970): Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen mit Berücksichtigung von Vegetation und Ablegerbildung. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswes., Mitt. *46* (4): 159–328.

Lokvenc, T. (1960): Vegetativní rozmnozování smrku *(Picea excelsa* Link) v Krkonosích [Die vegetative Vermehrung der Fichte *(Picea excelsa* Link) im Krkonose (Riesengebirge)]. Acta Dendrologica Cechoslovaca, Opava, II-1959/1960: 71–82.

Lowery, R. (1972): Ecology of Subalpine Zone Tree Clumps in the North Cascade Mountains of Washington. Diss. Univ. of Washington, Seattle. 137 S.

Mattersberger, G. (1986): Waldbauliche Analyse von Rottenstrukturen im subalpinen Fichtenwald Schlossberg/Lienz. Diplomarbeit Univ. Bodenkultur Wien, Institut Waldbau. 206 S.

Mayer, H. (1967): Zur Behandlung überalterter Gebirgswälder. Schweiz. Z. Forstwes. *118* (6): 335–372.

Meyer-Grass, M.; Schneebeli, M. (1992): Die Abhängigkeit der Waldlawinen von Standorts-, Bestandes- und Schneeverhältnissen. In: Forschungsgesellschaft für vorbeugende Hochwasserbekämpfung (Hrsg.): Interpraevent 1992. Tagungsberichte Band 2: 443–454.

Mlinšek, D. (1975): Die Waldpflege im subalpinen Fichtenwald am Beispiel von Pokljuka. Forstw. Centralblatt *94* (4/5): 202–209.

Moreillon, M. (1903): Les épicéas à stolons du Chasseron. Journal Forestier Suisse *54* (9): 195–196.

Mullenbach, P. (1982): Les reboisements au voisinage de la limite altitudinale de la végétation forestière (limite sylvestre); exemple de la station du Chazelet; premiers résultats. Rev. forest. fr. *34* (5, spécial): 50–71.

Myczkowski, St. (1972): Structure and Ecology of the Spruce Association *Piceetum tatricum* at the Upper Limit of its Distribution in the Tatra National Park. Acad. of Agricult., Forest Faculty Cracow/Poland. 17 S.

Normann, J. (1863): Smaatræk af Naturens Væxthusholdning, fornemlig inden den norske Floras Gebet. Forhandlinger i Videnskabs-Selskabet i Christiania, Aar 1862: 66–84.

Ott, E. (1979): Probleme der Jungwaldpflege im Gebirgswald. Schweiz. Z. Forstwes. *130* (5): 349–366.

Pitterle, A. (1987): Waldbauliche Analyse und Behandlungsmassnahmen von anthropogen beeinflussten subalpinen Fichten- sowie Lärchen-Zirbenwäldern im Villgratental/Osttirol. Diss. Univ. Bodenkultur Wien. 225 S.

Proskuryakov, M. (1981): The Structure of the Schrenk Spruce Stands – The Alma-Ata State Reserve, Talgar, Kazakh S.S.R. In: Frey, T. (Hrsg.): Structure and Ecology of the Temperate Forest Ecosystems – News of the Secretariate PICEA III: S. 59–74. Academy of Sciences of the Estonian S.S.R., Estonian Republican Committee for the IBP. Tartu, Estland.

Rachoy, W.; Exner, R. (1989): Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Schriftenreihe, Heft 37. Öster. Agrarverlag, Wien. 100 S.

Schönenberger, W. (1978): Ökologie der natürlichen Verjüngung von Fichte und Bergföhre in Lawinenzügen der nördlichen Voralpen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *54* (3): 215–361.

Schönenberger, W. (1981): Die Wuchsformen der Bäume an der alpinen Waldgrenze. Schweiz. Z. Forstwes. *132* (3): 149–162.

Schönenberger, W. (1986): Rottenaufforstung im Gebirge. Schweiz. Z. Forstwes. *137* (6): 501–509.

Schönenberger, W.; Frey, W.; Leuenberger, F. (1990): Ökologie und Technik der Aufforstung im Gebirge – Anregungen für die Praxis. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Ber. 325. 58 S.

Steward, D. G. (1974): Tree-island Communities of Rocky Mountain National Park. Thesis, Univ. of Colorado, USA. 140 S.

Stimm, B. (1985): Untersuchungen über Ablegerbildung und sprossbürtige Bewurzelung der Fichte *(Picea abies* (L.) Karst.). Dissertation, Univ. München. 151 S.

Stimm, B.; Bergmann, F. (1994): Genetische Untersuchungen an Fichtenrotten der subalpinen Waldstufe mit Hilfe von Isoenzympolymorphismen. Schweiz. Z. Forstwes. *145* (5): 401–411.

Strobel, G. (1995): Rottenstruktur und Konkurrenz im subalpinen Fichtenwald. Dissertation ETH Zürich, Nr. 11292, 162 S. Zugleich: Beih. Nr. 81 (1997) Schweiz. Z. Forstwes. 203 S.

Tiefenbacher, H. (1988): Natürliche und künstliche vegetative Vermehrung von Fichten der subalpinen Kampfzone *(Picea abies* Karst.). Diss. Univ. für Bodenkultur, Wien. 95 S.

Trepp, W. (1977): Massnahmen zur Strukturverbesserung in Aufforstungen. Bündner Wald *30* (2): 59–67.

Trepp, W. (1981): Das Besondere des Plenterns im Gebirgswald. Schweiz. Z. Forstwes. *132* (10): 823–846.
Wardle, P. (1968): Engelmann Spruce *(Picea Engelmannii* Engel.) at its upper limits on the Front Range, Colorado. Ecology *49* (3): 483–495.
Wasser, B.; Frehner, M. (1996): Wegleitung – Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. Hrsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bezugsquelle: Eidg. Drucksachen- u. Materialzentrale, Bern. 40 S. und 186 S. Anhang (mehrere Zählungen).
Weisberg, P., Baker, W. (1995): Spatial variation in tree regeneration in the forest-tundra ecotone, Rocky Mountain National Park, Colorado. Canadian J. Forest Research *25* (8):1326–1339.
Zeller, E. (1977): Pflege von Fichtenaufforstungen im Gebirge. Bündnerwald *30* (8): 197–202.
Zeller, E. (1995): Stabilitätspflege im Gebirgswald – Beurteilungs- und Entscheidungshilfen für die waldbauliche Praxis. Projekt Gebirgswaldpflege II – Bericht Nr. 4A (1994). Interkant. Försterschule Maienfeld. 63 S.
Zeller, E. (1996): Probleme im Gebirgswald lösen – Wiederbewalden, Stabilisieren, Verjüngen, Sanieren. Projekt Gebirgswaldpflege II – Bericht Nr. 5A (1996). Interkant. Försterschule Maienfeld. 55 S.

Verfasser:
Thomas Fillbrandt, dipl. Forstwirt Univ. Freiburg (D). Departement Wald- und Holzforschung der ETHZ, Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.