Fachstelle für Gebirgswaldpflege (GWP)
Centre de sylviculture de montagne (CSM)
Centro per la selvicoltura di montagna (CSM)
Bund, Kantone und Fürstentum Liechtenstein

Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald

Raphael Schwitter Lukas Glanzmann Samuel Zürcher

Maienfeld, 2019

Impressum

Titel: Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald

Herausgeber: Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, 2019

Autoren: R. Schwitter, L. Glanzmann, S. Zürcher

Fotos und Grafiken: Raphael Schwitter (sofern nichts anderes vermerkt)

Druck: Bartel Druck AG, Glarus

Adresse: Fachstelle für Gebirgswaldpflege GWP, c/o ibW Bildungszentrum Wald, Försterschule 2, CH-7304 Maienfeld, info@gebirgswald.ch, www.gebirgswald.ch

Titelbild: Zielzustand in einem obermontanen Tannen-Buchenwald

Vorwort

Ursprünglich bestand die Absicht darin, die Methoden der Jungwaldpflege im Gebirgs- und Schutzwald für Lehre und Praxis in einem kurzen übersichtlichen Leitfaden darzustellen. Im Verlaufe der Arbeit tauchten jedoch immer wieder offene Fragen und neue Ideen auf, die geklärt werden mussten und auch neue Definitionen erforderten. Der nun vorliegende Text stellt die Jungwaldpflege in einen übergeordneten waldbaulichen Zusammenhang mit der Gruppenplenterung als langfristiges Waldbauziel im Gebirgs- und Schutzwald.

Aus dem geplanten Leitfaden ist schlussendlich das hier vorliegende Grundlagenpapier für die Ausbildung der Förster und die Beratung in der Praxis geworden. Für die praktische Umsetzung liegen eine Praxishilfe mit den wichtigsten Informationen zu den Pflegemethoden sowie eine Checkkarte als Gedankenstütze für die Ausführung im Gelände vor.

In den vergangenen Monaten haben die Autoren viele Diskussionen mit Kolleginnen und Kollegen aus der Praxis und vom Verbund Waldbau Schweiz geführt. Insbesondere das Fachwissen und die langjährigen Erfahrungen von Monika Frehner und Markus Hürlimann sowie das kritische Gegenlesen ausgewählter Kapitel durch Peter Brang waren sehr wertvoll. Ihnen allen danken wir für ihre Unterstützung.

Ein ganz besonderer Dank geht an Peter Ammann von der Fachstelle Waldbau. Er hat sich sehr für die Entstehung dieses Papiers engagiert und seine konstruktiv kritische Begleitung war sehr hilfreich. Seine Arbeiten zur «Biologischen Rationalisierung» sind in angepasster Form auch in die hier dargestellten Methoden zur Pflege der Gebirgs- und Schutzwälder eingeflossen. Er hat an mehreren Begehungen teilgenommen, und mit ihm zusammen haben die Autoren Pflegearbeiten an einem Fallbeispiel zur Kammerung ausgeführt und dokumentiert.

Im Verlaufe der Entwicklung dieses Papieres hat sich gezeigt, dass zu verschiedenen Fragen noch Unsicherheiten bestehen. Es gehört deshalb auch zur Umsetzung der hier dargestellten Methoden, Erfahrungen zu sammeln, welche deren Weiterentwicklung ermöglichen.

Maienfeld, 2019

Inhalt

1. Grundsätzliches 1
1.1 Ausgangslage, Ziel und Geltungsbereich 1
1.2 Die Gruppenplenterung als Zielvorstellung 3
1.3 Jungwaldpflege ist Teil einer gesamtheitlichen Waldbewirtschaftung 5
1.4 Biologische Rationalisierung 7
1.5 Der Einfluss des Klimawandels 10
2. Natürliche Waldentwicklung und waldbauliche Zielsetzung für verschiedene Höhenstufen 12
2.1 Einleitung 12
2.2 Lärchen-Arvenwälder der obersubalpinen Stufe 13
2.2.1 Die natürliche Dynamik – langsame Entwicklung 13
2.2.2 Bemerkungen zum Waldbau 13
2.3 Fichten dominierte Wälder der subalpinen Stufe 14
2.3.1 Die natürliche Dynamik – Kollektive entstehen 14
2.3.2 Bemerkungen zum Waldbau 17
2.4 Fichten- und Tannen-Fichtenwälder der hochmontanen Stufe 19
2.4.1 Die natürliche Dynamik – Tendenz zu Gleichförmigkeit 19
2.4.2 Bemerkungen zum Waldbau 20
2.5 Tannen-Buchenwälder der obermontanen Stufe 22
2.5.1 Die natürliche Dynamik – von Natur aus stark strukturiert 22
2.5.2 Bemerkungen zum Waldbau 23
2.6 Buchenwälder im Schutzwald der untermontanen Stufe 24
2.6.1 Die natürliche Dynamik – die Buche dominiert 24
2.6.2 Bemerkungen zum Waldbau 26
2.7 Laubwälder im Schutzwald der submontanen und collinen Stufe 27
2.7.1 Die natürliche Dynamik – die Baumartenvielfalt nimmt zu 27
2.7.2 Bemerkungen zum Waldbau 28
2.8 Föhrenwälder 28
3. Jungwaldpflegemethoden 29
3.1 Überführung von flächigen Jungwäldern in ungleichaltrige Wälder 29
3.2 Die Pflegemethoden im Überblick 30

3.3 Die Rottenpflege 32
3.3.1 Die Rotte als Strukturelement der subalpinen Fichtenwälder 32
3.3.2 Die Ausformung von Rotten 33
3.3.3 Rottenpflege in der hochmontanen Stufe 40
3.4 Die Kammerung von Beständen 41
3.4.1 Sinn und Zweck der Kammerung 41
3.4.2 Gestaltung der Kammerung 43
3.5 Die Z-Baum-Pflege 50
3.5.1 Die Überführung von grösseren Jungwaldflächen 50
3.5.2 Die Z-Baum-Pflege im Schutzwald 51
3.5.3 Eingriffsart und zeitliche Aspekte 54
4. Literatur 61

1. Grundsätzliches

1.1 Ausgangslage, Ziel und Geltungsbereich

Mit der Rottenpflege (Zeller 1993) stand der Praxis für lange Zeit ein Instrument zur Verfügung, das sich vor allem für die Jungwaldpflege in subalpinen Fichtenwäldern sehr bewährt hat. Diese Methode wurde auch in Fichtenaufforstungen angewendet, die auf Grund der regen Aufforstungstätigkeit in den vergangenen Jahrzehnten häufig auch in tieferen Lagen der Alpen anzutreffen sind. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit der Rottenpflege ist es angezeigt, gewisse Präzisierungen vorzunehmen und die Methode für die Anwendung in den Nadelwäldern der hochmontanen Stufe anzupassen.

Nebst der Rottenpflege gibt es bisher keine Pflegemethode, welche explizit auf Jungwaldflächen im Gebirgs- und Schutzwald ausgerichtet ist. Die Literatur zur Gebirgs- und Schutzwaldpflege befasst sich vorwiegend mit der Durchforstung und Verjüngung älterer Bestände. In der Wegleitung Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald – NaiS (Frehner et al., 2005) werden die für die Schutzwirkung erforderlichen Zielzustände beschrieben. Die Wahl der Massnahmen auf dem Weg dorthin wird in NaiS jedoch bewusst den Fachleuten vor Ort überlassen. Damit besteht einerseits der für die Praktiker erforderliche Handlungsspielraum, um lokal angepasste Massnahmen zu ergreifen. Andererseits muss auch festgestellt werden, dass in der Praxis oft eine gewisse Verunsicherung herrscht und manchmal auch Jungwaldpflegeeingriffe ausgeführt werden, die nicht zielführend sind. Zusätzlich erschwerend wirkt sich der Einfluss des Klimawandels auf die Entscheidfindung aus, umso mehr als mit der Jungwaldpflege entscheidende Weichenstellungen für die Zukunft vorgenommen werden. Die in den letzten Jahren bekannt gewordenen Arbeiten zur biologischen Rationalisierung und Z-Baumpflege (Ammann, 2004) sind vor allem auf die Holzproduktion in Wirtschaftswäldern ausgerichtet und lassen sich nicht ohne weiteres auf den Gebirgs- und Schutzwald übertragen.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese Lücken bestmöglich zu füllen und für die Praktiker ein Instrumentarium zur Verfügung zu stellen, das es ihnen ermöglicht, Jungwälder im Gebirgs- und Schutzwald möglichst zielführend zu behandeln. Gestützt auf die verfügbare Literatur, die Erfahrungen der Praxis und zahlreiche Diskussionen unter Fachleuten sollen Methoden für verschiedene an die Höhenstufen angepasste Pflegemethoden beschrieben werden (Abb. 1/1).

Als Grundlage dienen nebst der Rottenpflege von Zeller vor allem die «Wegleitung NaiS» für Wälder mit Schutzfunktion (Frehner et al., 2005), Arbeiten zur Jungwaldpflege (Ammann 2004 und weitere), das in der Praxis bekannte Buch «Gebirgsnadelwälder» (Ott et al., 1997), Dokumentationen der Schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe (GWG, 2006 und weitere) sowie Literatur zu mitteleuropäischen Urwäldern.

Der Geltungsbereich umfasst die Gebirgsnadelwälder im Allgemeinen und die Schutzwälder tieferer Lagen.

Das Ergebnis sind Empfehlungen für die Praxis in Situationen, in denen die Gruppenplenterung (Kap. 1.2) zur nachhaltigen Gewährleistung der Waldfunktionen als geeignet erachtet wird. Bei der Beschreibung der verschiedenen Methoden geht es daher immer um die Frage, wie Jungwaldbestände behandelt werden müssen, damit sie in die langfristig erwünschte Gruppenplenterstruktur überführt werden können. Mit der Gruppenplenterung als langfristiges Waldbauziel sind grösserflächige Verjüngungen die Ausnahme und nicht mehr die Regel.

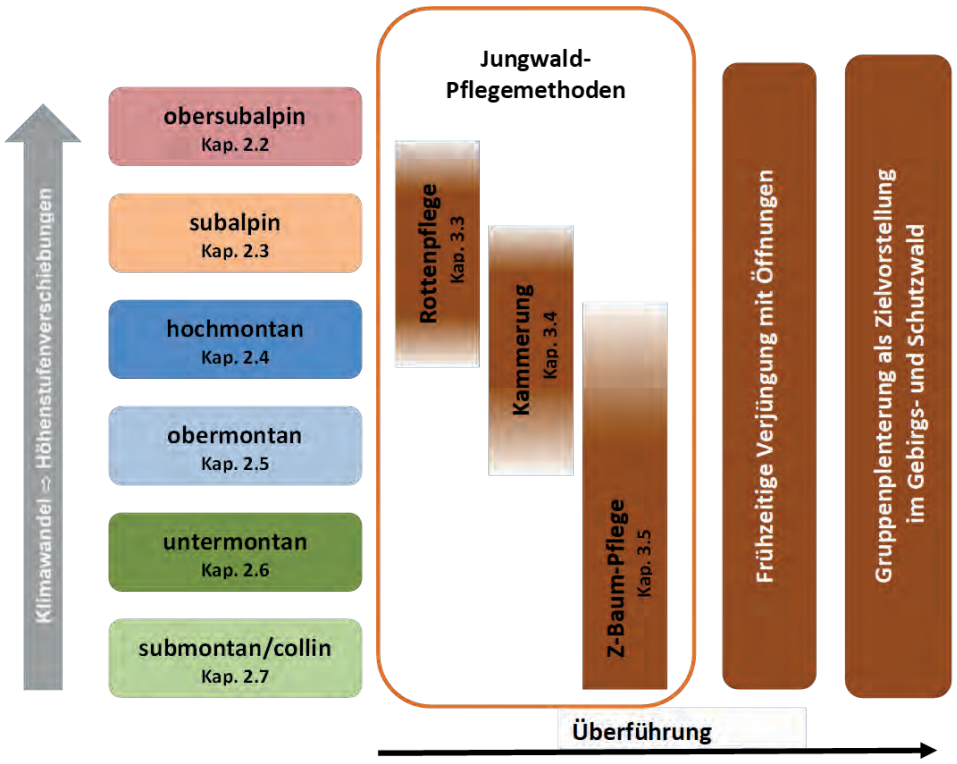

Abb. 1/1: Jungwaldpflegemethoden in Abhängigkeit der Höhenstufe als erste Massnahmentypen bei der Überführung von flächigen Verjüngungen in stufige Gruppenplenterwälder. Die Massnahmen der Verjüngung sind nicht mehr Gegenstand dieses Leitfadens. (Abb. Samuel Zürcher)

Nicht Gegenstand dieses Leitfadens sind Nicht-Schutzwälder der tieferen Lagen oder Schutzwälder, in denen nicht die Gruppenplenterung als Zielsetzung angestrebt wird (z.B. Niederwaldbewirtschaftung bei sehr kurzen Transitstrecken bei Steinschlag). Der praktische Umgang mit Waldreben, Brombeeren oder auch Neophyten werden in diesem Papier nicht behandelt, ebenso wenig die Massnahmen zum Schutz vor Wildschäden.

Im Rahmen dieser Arbeit sind manchmal auch Unsicherheiten und offene Fragen aufgetaucht. Zudem ist es nicht möglich, auf alle Situationen und Spezialfälle einzugehen, die in der Praxis vorkommen können. Es ist daher notwendig, dass die Praktiker die Empfehlungen mit Bedacht anwenden und auf die konkrete Situation anpassen. Zudem ist es für die Weiterentwicklung der hier dargestellten Methoden wichtig, dass die in der Praxis gemachten Erfahrungen dokumentiert und weitergeben werden.

Dieses **Grundlagenpapier** ist in drei Kapitel gegliedert:

Kapitel 1: Grundsätzliche Überlegungen zum Ziel und Geltungsbereich
Kapitel 2: Natürliche Waldentwicklung und waldbauliche Zielsetzung

- Wie verläuft die natürliche Dynamik in den Wäldern der verschiedenen Höhenstufen und welche Waldstruktur resultiert daraus?

- Welche langfristigen Waldbauziele lassen sich daraus unter Berücksichtigung der lokalen Standortsverhältnisse und der Anforderungen zu den Waldfunktionen herleiten (Zieltyp)?
- Welches sind die Konsequenzen für die waldbaulichen Massnahmen und dabei insbesondere für die Jungwaldpflege?

Kapitel 3: Pflegemethoden zur Überführung von Jungwaldflächen in langfristig stufige Strukturen (Gruppenplenterung)

- Welches sind in den verschiedenen Höhenstufen die geeigneten Methoden, um grösserflächige Jungwälder in die Gruppenplenterung zu überführen?
- Wie können Zeitpunkt, Intensität und Turnus von Eingriffen aus waldbaulicher und ökonomischer Sicht optimiert werden?

Abgestützt auf das vorliegende Grundlagenpapier wurde eine Praxishilfe mit einer Zusammenfassung der Grundlagen mit Fokus auf die vorgeschlagenen Methoden der Jungwaldpflege erstellt. Als Ergänzung dazu liegt zudem eine Checkkarte mit den wichtigsten Informationen für die Umsetzung im Gelände vor.

1.2 Die Gruppenplenterung als Zielvorstellung

Der waldbauliche Handlungsspielraum ist im Gebirge generell kleiner als in Tieflagen. Die äusseren Einwirkungen und die natürlichen Risiken schränken die waldbaulichen Optionen ein. Bei näherer Betrachtung relativieren sich damit auch vermeintliche Unterschiede zwischen Schutzwäldern und Nicht-Schutzwäldern, insbesondere in den Gebirgsnadelwäldern der höheren Lagen. Der frühere Vorrang der grösstmöglichen Holzproduktion ist nach schlechten Erfahrungen der Erkenntnis gewichen, dass die Stabilität als Voraussetzung für die nachhaltige Erfüllung aller Funktionen vorrangig zu beachten ist (vergl. auch Bischoff, 1985).

Naturnah gemischte, kleinflächig ungleichaltrige Waldstrukturen ermöglichen eine gute Risikoverteilung und werden den hohen Erwartungen an die Stabilität am ehesten gerecht. Für dieses kleinflächige Nebeneinander verschiedener Entwicklungsstufen wird oft der Begriff **Gebirgsplenterung** verwendet (Ott et al., 1997 / Bischoff, 1987 / Trepp, 1973). Die Gebirgsplenterung ist nicht eng definiert und lässt viel Spielraum für die Berücksichtigung der standörtlichen Verhältnisse von der hochmontanen bis in die subalpine Stufe. Dank der stufigen Struktur verlaufen verschiedene Prozesse von Natur aus zielkonform wie beispielsweise die Differenzierung der sozialen Stellung der Bäume oder die Entstehung stabiler Kollektive und erfordern nur wenige lenkende Eingriffe. Damit berücksichtigt die Gebirgsplenterung auch die Grundprinzipien der biologischen Rationalisierung (Kap.1.4).

Die Gebirgsplenterung lässt sich mit modernen seilkrangestützten Holzernteverfahren gut umsetzen. Die Schaffung von Öffnungen, bzw. Verjüngungsschlitzen entlang der Seillinie ist arbeitstechnisch einfach zu bewerkstelligen.

Im Schutzwald hat der Schutz vor Naturgefahren Vorrang vor anderen Waldfunktionen (Abb. 1/2). Mit der Bezeichnung «Vorrangfunktion» wird die Priorität festgelegt, die Multifunktionalität wird damit nicht in Frage gestellt. Die Schutzwirkung ist aber nur dann relevant, wenn sie auf kleiner Fläche dauerhaft gewährleistet werden kann. Dementsprechend sind auch die NaiS-Anforderungsprofile für die Schutzwälder formuliert, welche sich mit der Gebirgsplenterung gut umsetzen lassen.

Ausserhalb des Schutzwaldes sind die Naturgefahrenprozesse insofern von Bedeutung, als dass sie die nachhaltige Erfüllung anderer Waldfunktionen beeinträchtigen können (z.B. können Gleitschnee und Lawinen die Holzproduktion negativ beeinflussen).

Abb.1/2: Im Gebirgswald hat die Stabilität Vorrang, unabhängig davon, ob es sich um Schutz- oder Nicht-Schutzwald handelt.

Die guten Erfahrungen mit der Gebirgsplenterung in der hochmontanen und subalpinen Stufe sowie die gute Umsetzbarkeit mit der Seilkrantechnik geben Anlass dazu, das Arbeiten mit Öffnungen auch in steilen Lagen der ober- und untermontanen Stufe anzuwenden, obwohl dies aus verjüngungsökologischen Gründen meist nicht notwendig ist. Wenn die Öffnungen hinreichend klein sind (Naturgefahren und unerwünschte standörtliche Konsequenzen), gibt es aber auch keinen zwingenden Grund, nicht mit Öffnungen zu arbeiten (Abb. 1/3).

Abb. 1/3: Auch in buchendominierten Wäldern sind gruppenförmige Strukturen möglich und oft zielführend.

Während die Zweckmässigkeit der Einzelplenterung in Laubwäldern umstritten ist, bestätigt Schütz (2002) die Verjüngung in kleinen Öffnungen und deren Erziehung in Gruppen als Alternative. Für die Einzelplenterung oder generell für den Dauerwald in Buchenwäldern liegen die Zielvorstellungen für die Grundfläche bei mittleren Bonitäten oft bei 20 bis 25 m^2/ha (Hatt, 2018). Für gerinnerelevante Schutzwälder oder bei Rutschungsprozessen ergibt sich daraus kaum ein Zielkonflikt. In den laubholzdominierten Schutzwäldern der tieferen Lagen sind jedoch oft auch Steinschlagprozesse relevant. Hier sind eine möglichst hohe Stammzahl und Grundfläche erforderlich. Es ist davon auszugehen, dass durch gruppenförmige oder mosaikartige Verjüngung eine höhere Stammzahl und Grundfläche erreicht werden kann als dies bei der Einzelplenterung der Fall wäre (GWG 1998 und Messmer 2014).

Hingegen lässt sich der Begriff «Gebirgsplenterung» kaum mehr auf diese laubholzreichen Wälder anwenden. Der Begriff «**Gruppenplenterung**» (Schütz, 2002) ist für Laubwälder treffender und kann für Nadelwäldern als Synonym zum Begriff Gebirgsplenterung verstanden werden (Bischoff, 1987). Definition der Gruppenplenterung:

- Es werden Baumgruppen oder Rotten entnommen, dies im Unterschied zur Einzelplenterung, bei welcher vorwiegend Einzelbäume entnommen werden.
- Die Gruppengrösse beträgt im Allgemeinen bis zu 10 Aren (Lücken im Kronendach). Im Schutzwald sind die Anforderungen nach NaiS bestimmend (insbesondere die Öffnungsgrösse in der Falllinie). Abweichungen davon, z.B. für die Verjüngung von Lichtbaumarten, bedürfen im Schutzwald plausibler Argumente.
- Die Form und Ausrichtung der Öffnungen richtet sich nach den verjüngungsökologischen Anforderungen (z.B. Verjüngungsschlitze im subalpinen Fichtenwald) und den topografischen Verhältnissen. In Hanglagen sind längliche, hangparallele Öffnungen zu bevorzugen.
- Die inneren Ränder der Öffnungen sollen möglichst stabil sein (stabile Randbäume mit langen Kronen). Ein nachträgliches „Abrändeln“ sollte i.d.R. unterbleiben.
- Eine räumliche Ordnung ergibt sich aus der Kombination von Waldbau und Holzernte.

Im Rahmen der Gruppenplenterung wird die grösserflächige Verjüngung zur Ausnahme. Grosse Verjüngungsflächen können nach Störungen entstehen, auf eingewachsenen Flächen oder wenn in besonderen Situationen Räumungen waldbaulich zweckmässig sind.

1.3 Jungwaldpflege ist Teil einer gesamtheitlichen Waldbewirtschaftung

Eine nachhaltige Waldbewirtschaftung erfordert eine gesamtheitliche Betrachtung (Abb. 1/4). Hauptzweck ist die dauernde Erfüllung der **Waldfunktion(en).**

In Lehre und Praxis werden Jungwaldpflegeeingriffe bisher zu sehr als eigenständige Massnahmen betrachtet und von den Massnahmen im Altbestand abgegrenzt. Oft sind sogar die Zuständigkeiten getrennt: für die Anzeichnung im Altbestand sind Förster oder Forstingenieure verantwortlich, während man die Jungwaldpflege weitgehend dem Forstwart(-Vorarbeiter) überlässt. Aus waldbaulicher Sicht ist eine integrale und langfristige Betrachtung über alle Ziele und Massnahmen hinweg notwendig.

Die natürlichen Gegebenheiten bzw. der Standortstyp und die Anforderungen aufgrund der Waldfunktionen bestimmen den **Zieltyp,** welcher den anzustrebenden Waldzustand definiert. Der Begriff Zieltyp wurde ursprünglich für den Schutzwald gewählt (Frehner et al., 2005), kann aber auch auf andere Waldfunktionen angewendet werden (GWG, 2005). Mit dem **langfristigen Waldbauziel** wird

der Zieltyp für eine bestimmte Fläche konkretisiert. Im Schutzwald entspricht das in der Regel dem Idealprofil nach NaiS.

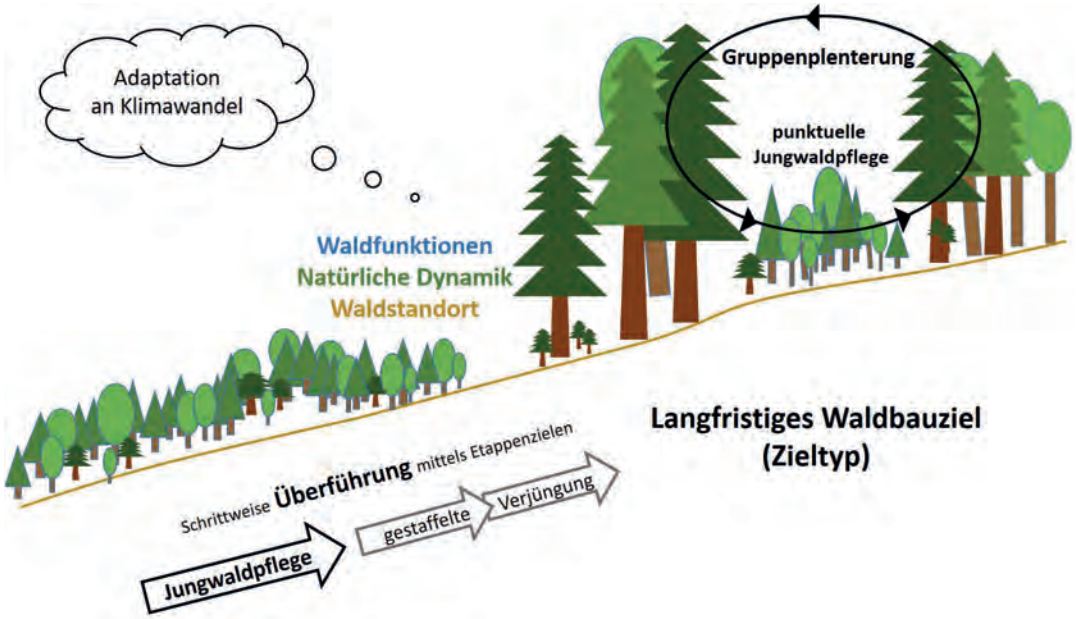

Abb. 1/4: Die Jungwaldpflege ist Teil einer gesamtheitlichen Waldbewirtschaftung

Das **Etappenziel** bezeichnet einen Zwischenschritt auf dem Weg zum langfristigen Waldbauziel, das nur aufgrund des jeweiligen Zustands und in Kenntnis des langfristigen Waldbauzieles treffend formuliert und wirkungsorientiert umgesetzt werden kann (Abb. 1/5). Allzu oft wird diesem Zwischenschritt in der Praxis nicht die notwendige Bedeutung zugemessen.

Abb.1/5: Die Jungwaldpflege auf dieser Sturmfläche ist ein erster Schritt im Hinblick auf das langfristige Waldbauziel. Durch die Schaffung von Gassen können Kollektive mit langfristig grünen Rändern gebildet werden.

Der gemeinsam mit der Fachstelle Waldbau erarbeitete «Waldbauliche Auftrag Jungwaldpflege / Nachwuchspflege» (Ammann et al., 2019) dient der zielgerichteten Formulierung und Ausführung der

vorgesehenen Massnahmen zur Erreichung der gesteckten Etappenziele mit entsprechender Kenntnis des langfristigen Waldbauzieles.

Die **natürliche Dynamik** soll für die Zielerreichung möglichst gut genutzt werden (biologische Rationalisierung). Das gilt für alle Eingriffe, nicht nur für die Jungwaldpflege.

Die Verjüngungsphase ist aus Sicht des **Klimawandels** eine Schlüsselsituation, in der durch die Jungwaldpflege mithilfe präziser Etappenziele die Weichen für die Zukunft richtig gestellt werden können.

1.4 Biologische Rationalisierung

Der naturnahe Waldbau zeichnet sich dadurch aus, dass die natürliche Entwicklung zugelassen und genutzt wird, soweit sie zielkonform verläuft. Die waldbaulichen Massnahmen dienen dazu, lenkend in diese Entwicklung einzugreifen, soweit es zur Erreichung der Waldbauziele erforderlich ist. Dadurch können positive natürliche Entwicklungen genutzt, unnötige Massnahmen vermieden und der Aufwand entsprechend reduziert werden.

Schütz (1996) spricht dabei von «biologischer Rationalisierung» gestützt auf das Prinzip der Naturautomation und das Konzentrationsprinzip:

- Bei der **Naturautomation** geht es darum, alle Prozesse zu nutzen, welche selbsttätig (automatisch) im Sinne des Bewirtschafters ablaufen. Solange die Entwicklung zielgemäss verläuft, wird nicht eingegriffen.
- Mit dem **Konzentrationsprinzip** beschränkt sich die waldbauliche Tätigkeit auf das, was zur Zielerreichung unmittelbar notwendig ist.

Ammann (2004 und 2005) hat, basierend auf diesen Prinzipien, die Z-Baum-Durchforstung (Abetz 1975) weiterentwickelt. Diese Prinzipien gelten jedoch nicht nur für die Jungwaldpflege, sondern für die Waldbewirtschaftung insgesamt. Zu den Prozessen der Naturautomation gehören: die Naturverjüngung, die Differenzierung der sozialen Stellung der Bäume und die Stammzahlabnahme durch natürliche Mortalität. Diese Prozesse führen je nach Rahmenbedingungen (Standort, bereits vorhandene Struktur) zu unterschiedlichen Waldstrukturen. Durch geeignete waldbauliche Massnahmen – unter Beachtung des Konzentrationsprinzips – können diese Prozesse beeinflusst werden, um dadurch diejenigen Strukturen herbei zu führen, welche dem waldbaulichen Ziel entsprechen. Der Begriff Naturautomation ist geprägt durch die Sicht des Bewirtschafters, der die Natur soweit gewähren lässt, als dass sie sich «automatisch» in Richtung seiner Ziele entwickelt.

Naturverjüngung: Für die natürliche Verjüngung sind die Verfügbarkeit von Samen, die Keimbedingungen, kleinstandörtliche Unterschiede und die Konkurrenz der Bodenvegetation ausschlagegebend. Das verfügbare Licht beeinflusst die Mischung und die Konkurrenzverhältnisse zwischen den Baumarten. Je nach Startbedingungen auf einer Verjüngungsfläche haben die jungen Bäume unterschiedliche Voraussetzungen für den weiteren Konkurrenzkampf nach dem Kronenschluss.

Differenzierung der sozialen Stellung: Sobald die Bäume den Kronenschluss erreichen, entsteht zwischen den Individuen direkte Konkurrenz um Licht, welche zu einer Differenzierung der sozialen Stellung führt. Dabei haben der Anfangszustand, die genetische Veranlagung und die Umgebung eines Baumes einen grossen Einfluss auf die Erfolgschancen in diesem Konkurrenzkampf (Abb. 1/6). Bereits kleine Unterschiede können zu einem Vorteil (oder einem Nachteil) gegenüber Nachbarindividuen

führen. Zu Beginn dominierende Bäume haben eine erhöhte Chance, im Verlaufe der Entwicklung die soziale Stellung zu halten oder noch zu verbessern. Umgekehrt gibt es auch Verlierer, die in der sozialen Hierarchie absteigen und sogar absterben (natürliche Mortalität). Diese Effekte verstärken die Differenzierung. Im Verlaufe der Zeit sind aber auch Umsetzungen in der sozialen Stellung möglich, wenn sich z.B. langsamer wachsende Schattenbaumarten gegenüber Licht- oder Pionierbaumarten durchsetzen können.

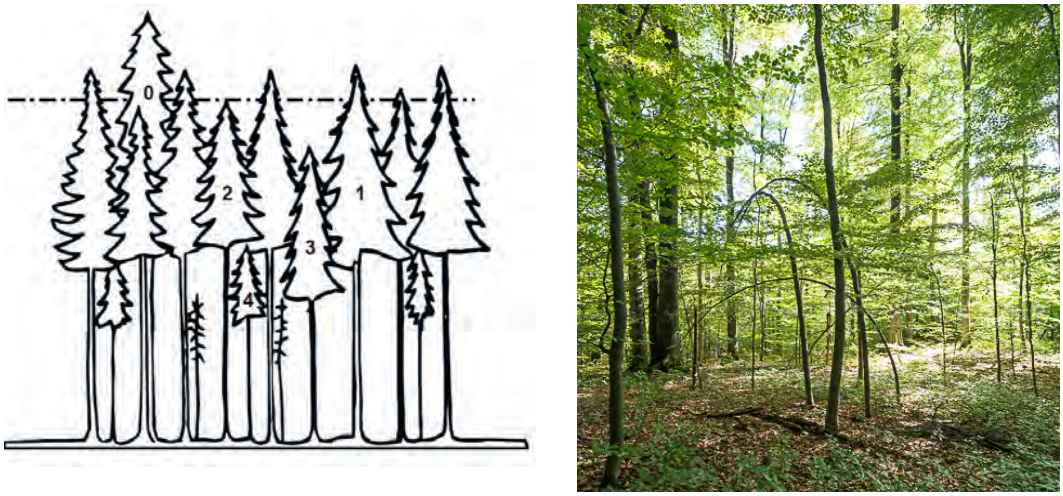

Abb. 1/6. Links: Die Klassifikation nach Kraft (1984) für die Einteilung der Bäume nach ihrer sozialen Stellung. 0 vorherrschend, 1 herrschend, 2 mitherrschend, 3 beherrscht, 4 unterdrückt. Rechts: Die Realität im Buchenurwald Havesova in der Slowakei.

Nebst der Konkurrenz zwischen den Individuen auf einer Fläche hat auch die unmittelbare Umgebung einen Einfluss auf die Entwicklung der Bäume. Die soziale Stellung der Bäume in kleineren Bestandeslücken, kann durch den Bestandesrand beeinflusst werden, indem die Randbäume einer Jungwaldgruppe wegen der Beschattung gegenüber den Bäumen in der Mitte im Wachstum zurückbleiben (Abb. 1/7). Die Rottenbildung in der subalpinen Stufe ist ebenfalls ein Beispiel für eine natürliche Differenzierung (vergl. Kapitel 2.3.1).

Mortalität: Die Konkurrenz führt zum Absterben der schwächsten Bäume und damit zu einer Stammzahlabnahme. Durch Schneedruck oder andere Ereignisse können ganze Lücken entstehen, welche zusätzlich zur Differenzierung beitragen. Lücken können auch in älteren Beständen entstehen, und da hier die Öffnungen im Kronendach oft länger offenbleiben, ergibt sich die Chance für neue Verjüngung. Durch Störungen wie Sturm, Feuer, Lawinen oder biotische Faktoren, können auch grössere Kahlflächen entstehen.

Struktur: Aus den oben beschriebenen Prozessen resultieren Waldzustände, die mit Struktur-Merkmalen beschrieben werden können. Wie bereits bei der Naturverjüngung angetönt, hat die Verjüngungsgunst des Standortes einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbildung der horizontalen Struktur (Textur). Während sich die Verjüngung in tieferen Lagen oft flächendeckend einstellt, führen verjüngungsfeindliche Kleinstandorte in höheren Lagen i.d.R. zu einer unregelmässigen Verteilung von Verjüngungsansätzen auf den günstigen Kleinstandorten. Auf den verjüngungsfreudigen Standorten tieferer Lagen ist deshalb die Tendenz zur Entstehung flächig gleichförmiger Strukturen grösser, als in

der subalpinen Stufe. Die Differenzierung der vertikalen Struktur erfolgt langfristig durch die räumliche Verteilung von meist ungleichaltrigen Bäumen und Baumgruppen. Meistens entstehen ungleichförmige vertikale Strukturen erst durch Mortalität und Verjüngung über mehrere Baumgenerationen hinweg.

Abb. 1/7: Eine Lücke im Kronendach ermöglicht die Verjüngung von Buchen. Der Randeinfluss verstärkt die Differenzierung, indem die besser belichteten Bäume voraus wachsen können.

Waldbauliche Folgerungen: Erst durch das Zulassen und Beobachten der natürlichen Prozesse kann erkannt werden, wann, wo und wie die Entwicklung durch Eingriffe allenfalls gelenkt werden muss (Naturautomation). Auch die Ergebnisse der Urwaldforschung (Korpel, 1995) können helfen, die natürliche Dynamik der Wälder besser zu verstehen, um die waldbauliche Tätigkeit gezielt auf das Notwendige zu beschränken (Konzentrationsprinzip). Dazu gehört auch die Einsicht, dass die Naturwalddynamik in Abwesenheit grosser Störungsereignisse eher kleinflächig verläuft (Brang et al., 2011).

Aus dem bisher gesagten, lassen sich einige grundsätzliche waldbauliche Folgerungen ziehen:

- Die gezielte Beobachtung der einzelnen Bestände ist eine unabdingbare Voraussetzung, um im Sinne der biologischen Rationalisierung arbeiten zu können. Es muss mehr Aufwand in die fachliche Beurteilung investiert werden, um positive natürliche Prozesse zu nutzen und Arbeitsaufwand bei der Umsetzung einzusparen.
- Bei einer kleinflächigen Verjüngung sind im Idealfall keine oder nur punktuelle Eingriffe erforderlich. Die Randwirkung des verbleibenden Bestandes verstärkt die Differenzierung der sozialen Stellung der heranwachsenden Bäume (Gruppenplenterung).
- Ungleichaltrige Strukturen werden durch Stürme selten gänzlich zerstört. Dank der verbleibenden Bestandesteile (Risikoverteilung) kann sich danach viel schneller wieder eine funktionsfähige Bestockung einstellen. Das ist ein wichtiges Argument für die Gruppenplenterung als Zielsetzung.
- Bei einer Methode wie der Rottenpflege wird die Konkurrenz zwischen den Bäumen durch einen einzigen Eingriff auf ein kleines Kollektiv begrenzt, das sich bis zur Verjüngung selbst reguliert.

- Durch die gezielte Förderung der herrschenden Bäume (Z-Baum-Pflege) kann diesen gegenüber den nicht geförderten Bäumen ein zusätzlicher Vorteil verschafft werden, so dass sie ihre soziale Stellung erhalten oder sogar verbessern können.
- Pionier- und Weichholzarten besetzen durch ihr schnelles Wachstum gewisse Waldpartien und verzögern dort das flächige Aufkommen der Hauptbaumarten. Dies führt zu einer erwünschten Strukturierung. Die Kronen der Pionierbaumarten sind jedoch in unterschiedlichem Ausmass lichtdurchlässig, so dass darunter andere Baumarten wachsen können, welche dann spätestens am Ende der eher kurzen Lebensdauer der Pioniere ihr Wachstum beschleunigen. Pioniere sollten deshalb in erster Linie als nützlich für die Strukturierung und nicht als Konkurrenten betrachtet werden.
- Die natürliche Mortalität betrifft vorwiegend die schwächsten Bäume und führt zu einer natürlichen Stammzahlabnahme.
- Es ist nicht möglich, eine Jungwaldfläche durch Pflegeeingriffe in eine nachhaltig stufige Struktur zu überführen. Dies kann nur durch frühe und zeitlich und räumlich gestaffelte Verjüngungseingriffe erreicht werden.

Für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Grundsätze muss der Wildeinfluss auf ein tragbares Mass reduziert werden, was die natürliche Entwicklung der verschiedenen Baumarten überhaupt ermöglicht (Abb. 1/8).

Abb.1/8: Voraussetzung für den naturnahen Waldbau ist ein tragbarer Wildeinfluss (links). Unter den im Bild rechts herrschenden Bedingungen ist das unmöglich.

Obwohl zum naturnahen Waldbau auf jahrzehntelange Erfahrungen und Forschungsresultate zurückgegriffen werden kann, tauchen in der Praxis immer wieder offene Fragen auf, zu denen in der Literatur (noch) keine konkreten Antworten zu finden sind, z.B. bezüglich Klimawandel (Kap.1.5). Das gilt auch für die im Kapitel 3 vorgeschlagenen Pflegemethoden. Den Praktikern wird daher dringend empfohlen, ihre Erfahrungen durch die Wirkungsanalyse auf Weiserflächen zu vertiefen und auszutauschen (Schwitter et al. 2018).

1.5 Der Einfluss des Klimawandels

Der Einfluss des Klimawandels auf die Waldentwicklung erschwert die waldbauliche Entscheidungsfindung und die Unsicherheiten sind gross. In den kommenden Jahrzehnten muss unter anderem mit grossen Verschiebungen der Höhenstufengrenzen gerechnet werden – je nach Szenario und Ort um eine bis zwei Stufen. Grossflächige Störungen und Wetterextreme werden voraussichtlich zunehmen. Die Verbreitung von Baumarten wird dadurch stark beeinflusst. Die heute noch sehr weit verbreitete

und bestandesbildende Fichte wird davon sehr stark betroffen sein. Es muss in allen Höhenstufen mit Borkenkäferkalamitäten gerechnet werden. Jungwaldbestände auf den Sturmflächen von «Vivian 1990» oder «Lothar 1999» weisen gegenüber dem Ausgangsbestand zum Teil überraschend stark veränderte Baumartenmischungen auf. Im Sinne eines adaptiven Managements (Plüss et al., 2016) wird die Steuerung der Baumartenmischung bei der Verjüngung bzw. bei der Jungwaldpflege auch bisher ungewohnte Massnahmen erfordern. Dazu gehören beispielsweise die gezielte Förderung spontan auftretender, gegenwärtig noch wenig konkurrenzfähiger Baumarten aus tieferen Lagen oder allenfalls ergänzende Pflanzungen. Junge Wälder befinden sich in einer Art Schlüsselsituation für die Adaptation an den Klimawandel, da sie durch Pflegemassnahmen noch entscheidend beeinflusst werden können. Deshalb wird auch bei der Behandlung der Pflegemethoden (Kapitel 3) besonders darauf hingewiesen.

2. Natürliche Waldentwicklung und waldbauliche Zielsetzung für verschiedene Höhenstufen

2.1 Einleitung

Die natürliche Waldentwicklung ist von den lokalen Standortsverhältnissen abhängig. Auf Grund gemeinsamer Merkmale kann die Vielfalt an unterschiedlichen Wäldern bestimmten Standortstypen zugeordnet werden. Für diese Standortstypen können damit auf nachvollziehbare Weise waldbauliche Zielvorstellungen und Behandlungsmethoden formuliert werden, wie dies beispielsweise in Ott et al. (1997) für die Gebirgsnadelwälder getan wird. Das Verhalten der Hauptbaumarten und die Bestandesstruktur werden stark durch die Höhenlage geprägt. Das Höhenstufenmodell (Abb. 2/1) erlaubt dafür eine erste grobe Gliederung der Wälder. Unter dem Einfluss des Klimawandels muss in den kommenden Jahrzehnten unter anderem mit grossen Verschiebungen der Höhenstufengrenzen gerechnet werden (Kap. 1.5).

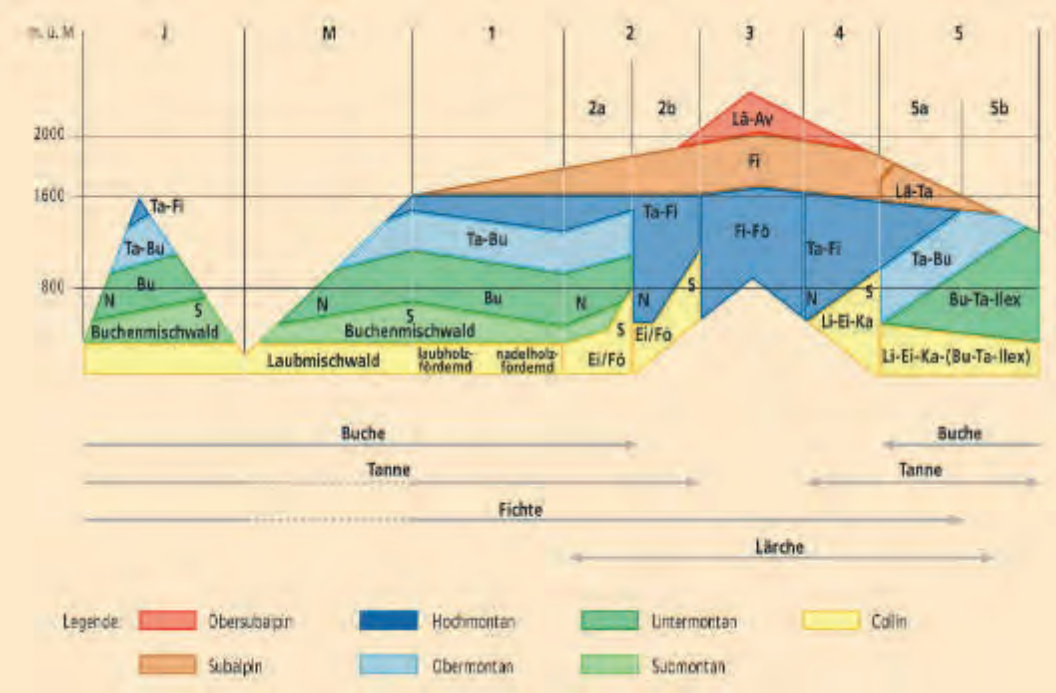

Abb.2/1: Höhenstufenmodell - Querschnitt durch die verschiedenen Standortsregionen der Schweiz. J = Jura, M = Mittelland, 1 = Nördliche Randalpen, 2 = nördliche Zwischenalpen, 3 = kontinentale Hochalpen, 4 = südliche Zwischenalpen, 5 = südliche Randalpen. (Quelle: Frehner et al. 2005)

Gestützt auf diese Übersicht werden in den folgenden Kapiteln grundsätzliche Überlegungen zur natürlichen Dynamik und Struktur der Wälder zusammengefasst. Weiterführende Informationen dazu finden sich vor allem in der Literatur zur Urwaldforschung (Korpel, 1997 oder auch Mayer und Ott, 1991). Die zum Teil etwas schematischen Profilbilder der Waldstrukturen zu den verschiedenen Höhenstufen von Korpel lassen sich im Einzelfall nicht immer leicht wiedererkennen. Sie helfen aber, wahrscheinliche Entwicklungsszenarien zu diskutieren und mögliche Handlungsoptionen herzuleiten. Für die waldbauliche Behandlung im Einzelnen müssen jedoch auch die spezifischen Verhältnisse der unterschiedlichen Standortstypen beachtet werden. Diese sind in der Wegleitung zur Schutzwaldpflege NaiS (Frehner et al., 2005) ausführlich dargestellt.

Aus Sicht der Jungwaldpflege interessiert vor allem die Frage, wie die Jungwalddynamik in strukturierten Wäldern abläuft und wie bei Bedarf lenkend eingegriffen werden kann. Bei grösserflächigen Jungwäldern soll geklärt werden, in welchen Zustand Jungwaldflächen im Hinblick auf das langfristige Waldbauziel überführt werden sollen und wie die Naturautomation auf dem Weg dorthin besser genutzt werden kann. Auf die Wiederholung der Prinzipien der biologischen Rationalisierung (Kap. 1.4) wird hier verzichtet. Mögliche zielführende Pflegemethoden werden kurz erwähnt, um die Zusammenhänge aufzuzeigen, und dann in Kapitel 3 vertieft diskutiert.

2.2 Lärchen-Arvenwälder der obersubalpinen Stufe

2.2.1 Die natürliche Dynamik – langsame Entwicklung

Die obersubalpinen Wälder, in denen die Arve und teilweise die Lärche dominieren, sind vorwiegend in den kontinentalen Hochalpen anzutreffen. Die Bestände setzen sich aus einem lückigen Gefüge aus langkronigen Einzelbäumen und kleinen Rotten zusammen. Wegen der langen Verjüngungszeiträume und der Langlebigkeit von Arven und Lärchen, sind die Bestände oft sehr ungleichaltrig (Abb. 2/2). Unter dem Einfluss von Schneeschütte, Frosttrocknis, Schneebewegungen und anderen limitierenden Faktoren entstehen nur selten geschlossene Bestände. Nach Naturereignissen oder auf verlassenen Weiden kann hingegen relativ rasch eine gleichförmige Verjüngung von Lärche heranwachsen.

2.2.2 Bemerkungen zum Waldbau

Im Verhältnis zu den extremen natürlichen Einflüssen und den langen Entwicklungszeiträumen sind die waldbaulichen Einflussmöglichkeiten im Lärchen- Arvenwald sehr begrenzt. In NaiS wurden denn auch nur für einzelne Standortstypen Anforderungsprofile formuliert. Bei Bedarf können junge Lärchen oder Arven gezielt als Einzelbäume oder kleine Rotten gefördert werden. Dies vor allem dann, wenn auf Grund von ausserordentlichen Ereignissen homogene Strukturen entstehen.

Abb.2/2: Naturnahe Lärchen-Arvenwälder brauchen in der Regel nur punktuelle oder gar keine Pflege.

2.3 Fichten dominierte Wälder der subalpinen Stufe

2.3.1 Die natürliche Dynamik – Kollektive entstehen

Die Fichte dominiert und wächst aufgrund der extremen Verhältnisse in Gruppen, sogenannten Rotten, auf. Die Rotten sind gegenüber Schnee und Sturm sehr stabil. Durch den Zerfall und das erneute Heranwachsen von Rotten über sehr lange Zeiträume entsteht ein lockeres ungleichaltriges Gefüge (Abb. 2/3).

Die konkurrenzstarke Fichte bedrängt andere Baumarten stark. Neben der Fichte treten vereinzelt Vogelbeere, Grünerle, Bergahorn, Arven, Bergföhren, Tannen oder Lärchen auf. Die Lärche als Pionierbaumart kann sich vor allem nach Naturereignissen verjüngen. Der heute oftmals hohe Lärchenanteil ist auch auf die frühere Bewirtschaftung (Kahlschläge, Beweidung) zurück zu führen.

Unter gewissen Bedingungen können auch in der subalpinen Stufe verhältnismässig gleichförmige Bestände heranwachsen. Insbesondere finden sich auf verlassenen Weideflächen günstige Verhältnisse für die flächige Ansamung von Fichten oder Lärchen.

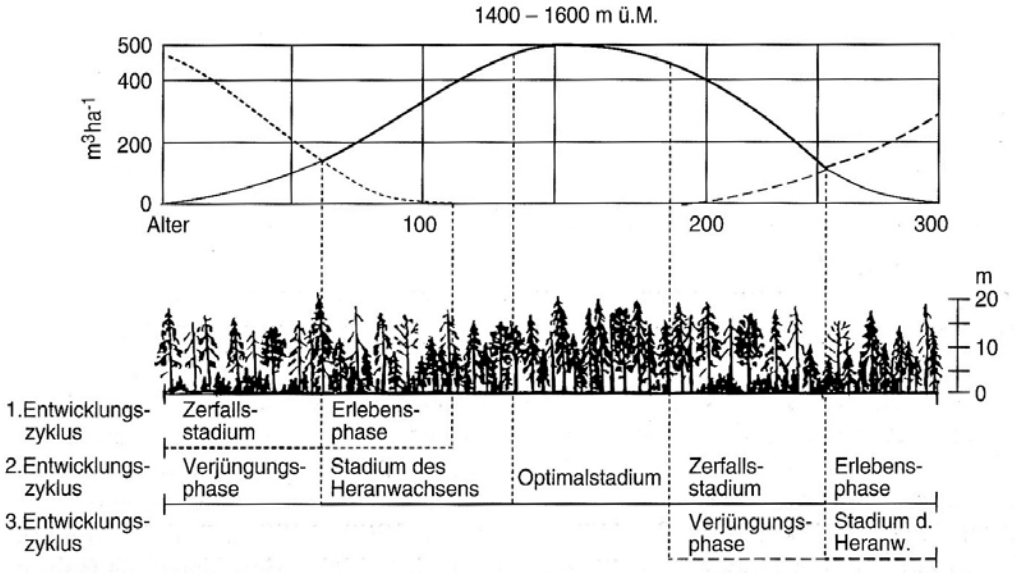

Abb. 2/3: Schematische Darstellung der Entwicklungen in einem subalpinen Fichtenurwald (Korpel, 1995).

Schon vor Jahrzehnten und in verschiedenen Gebirgen wurde beobachtet, dass sich die Fichte (z.T. auch die Lärche und die Arve) im Bereich der subalpinen Waldgrenze in Form von kleinen relativ dicht stehenden Baumkollektiven verjüngt, die als „Rotten“ bezeichnet werden.

In den obersten Lagen der subalpinen Höhenstufe, in der sogenannten Kampfzone, lösen sich die Bestände in einem Mosaik von Baumgruppen und Lücken auf. Die Fichte verjüngt sich hier vorwiegend vegetativ durch Ableger (Abb. 2/4). Äste mit Bodenkontakt bewurzeln sich, die Spitzen richten sich auf und bilden neue Stämme. Diese auch als Ableger-Kolonien bezeichneten Baumkollektive besetzen unter den extremen Bedingungen in der Kampfzone ausschliesslich die besten Kleinstandorte erfolgreich, wo sie z.B. vor Schneebewegungen oder Pilzkrankheiten sicher sind und genügend Wärme empfangen. Kuoch und Amiet (1970) haben dieses Phänomen durch aufwändige Ausgrabungen untersucht (Abb. 2/5). Bei diesem Prozess, der Jahrzehnte dauert, entstehen ungleichaltrige Kollektive von Bäumen, die unterschiedliche Höhen und einseitige, aber sich gegenseitig ergänzende

Kronen besitzen. Im Idealfall stehen die höchsten Bäume im Zentrum, und das Baumkollektiv – auch als «Rotte» bezeichnet - wird von einem tief herab reichenden Nadelmantel umhüllt, der von der Seite betrachtet, ein unregelmässiges Dreieckprofil bzw. einen Kegel bildet.

Abb. 2/4: Aus Ablegerbildung entstandene Rotte an der oberen Waldgrenze

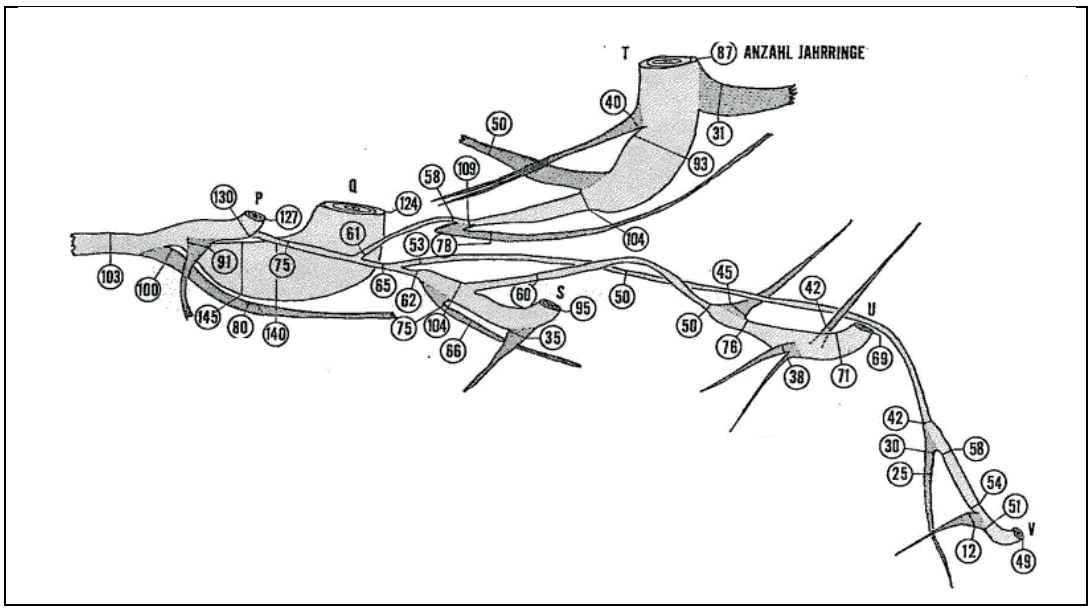

Abb. 2/5: Ausgegrabene Fichten-Ablegerkolonie. In den Kreisen sind die Anzahl Jahrringe an der bezeichneten Stelle angegeben (Kuoch und Amiet, 1970: S.316).

Bei abnehmender Meereshöhe geht die Ablegerbildung rasch zurück und schon wenig unterhalb der Waldgrenze erfolgt die Verjüngung hauptsächlich durch Kernwüchse. Die schwierigen Lebensbedingungen führen dazu, dass sich die Bäume nicht auf der ganzen Fläche erfolgreich verjüngen können. Die Samenjahre sind selten, für die Keimung braucht es geeignete Kleinstandorte (Mineralerde, kleine Erhebungen, Moderholz etc.) und für das An- und Aufwachsen genügend direktes Sonnenlicht. Frosttrocknis, Schneebewegungen und Schneeschimmel führen immer wieder zum Absterben von jungen Bäumen.

Strobel (1997) hat die Rottenentwicklung in einem subalpinen Fichtenwald aufgrund von Stammanalysen rekonstruiert (Abb. 2/6). Einzelne Verjüngungsansätze können zu kegelförmigen Kollektiven zusammenwachsen (Abb. 2/6 oben), deren Altersdifferenzierung aber geringer ist als bei den Ableger-Kolonien. Wegen der Konkurrenz wachsen die Randbäume den Bäumen im Innern der Kollektive allmählich voraus. Im Verlaufe der Zeit entstehen auf diese Weise Kollektive, die mehr oder weniger von der idealen Rottengestalt abweichen.

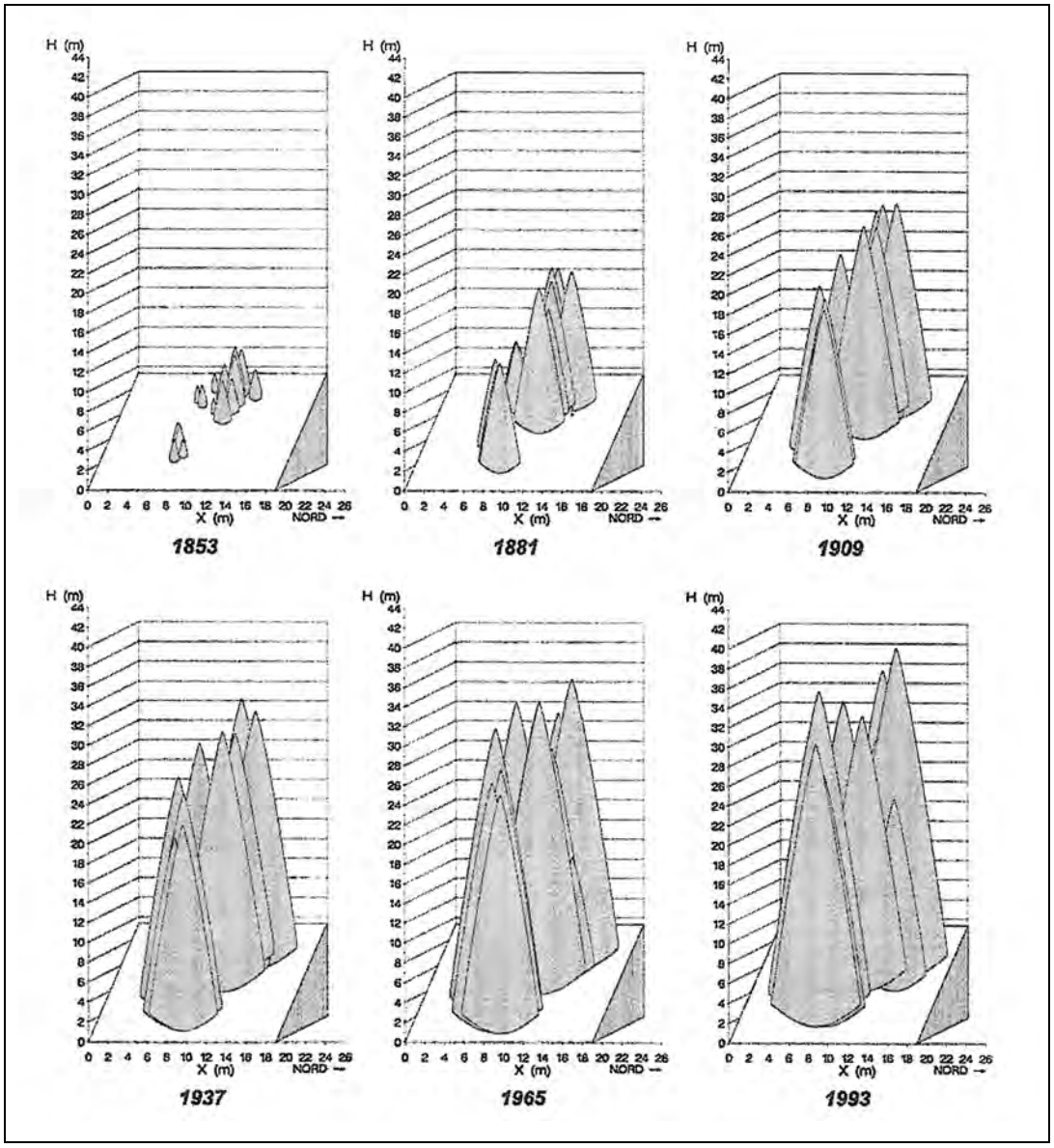

Abb. 2/6: Wachstum und Konkurrenzentwicklung innerhalb einer (subalpinen) Rotte von 1853 – 1993 (Strobel, 1997: Abb. 81, S. 158).

Die Rotte wird zu einer Art Schicksalsgemeinschaft im Überlebenskampf, da ihre Stabilität von der Unversehrtheit der Rotte abhängt. Gegen Ende der Lebensdauer bilden sich bei absterbenden Rotten wieder günstige Bedingungen für neue Verjüngung. Rotten und deren Einzelbäume können sich in der subalpinen Stufe daher altersmässig und oder in der Dimension stark unterscheiden. Aus der Summe unterschiedlicher Rotten entstehen langfristig in der Regel ungleichförmige und ungleichaltrige Strukturen und insgesamt sehr stabile Bestände (Abb. 2/7).

Abb. 2/7: Rotten in einem subalpinen Fichtenwald

Unter dem Begriff «Rotte» kann man also je nach Entstehungsgeschichte recht unterschiedliche Kollektive verstehen. Ott et al. (1997) haben die Rotte als Einheit für den Gebirgswaldbau wie folgt definiert:

Eine Rotte besteht aus eng zusammenstehenden Bäumen (ab zwei Bäumen im Baumholz bis zu 5 Aren Ausdehnung) mit einem gemeinsamem Kronenmantel und einer Kronenlänge von ¾ oder mehr der Baumhöhe.

2.3.2 Bemerkungen zum Waldbau

Zum langfristigen Waldbauziel: Angesichts der starken Wirkung der äusseren Einflüsse auf den Wald in der subalpinen Stufe ist es für die waldbauliche Zielsetzung wenig erfolgversprechend, wesentlich von den natürlichen Strukturen abzuweichen. Zu hoch ist das Risiko von Fehlentwicklungen und zu gering ein möglicher Nutzen. Eine Struktur aus Rotten mit vereinzelten Pionieren (z.B. Vogelbeere, Lärche) in den Lücken bietet die bestmögliche Risikoverteilung gegenüber Naturereignissen.

Die Beimischung der Lärche ist vor allem in den Zentralalpen möglich und erwünscht - auch aus Gründen der Risikoverteilung. Die Lärche ist jedoch eine Pionierbaumart und wird auf den meisten Standorten durch die Fichte stark bedrängt (Schwitter 1999).

Zur Verjüngung: Es braucht eine ausreichende Anzahl von Verjüngungsansätzen auf günstigen Kleinstandorten, die in gruppengrossen Öffnungen aufwachsen können (Abb. 2/8). Moderholz ist auf vielen Standorten eine Voraussetzung für erfolgreiche Verjüngung. Für den An- und Aufwuchs brauchen die jungen Bäume einerseits genügend Wärme durch direkte Sonneneinstrahlung, jedoch nicht so viel, dass die Sämlinge an exponierten Standorten vertrocknen. Andererseits müssen sie der Vegetationskonkurrenz entwachsen können. Um den Verjüngungserfolg zu sichern, müssen daher die Kleinstandorte beachtet sowie Grösse und Form der Verjüngungsöffnungen auf die lokalen Standortsverhältnisse ausgerichtet werden (Wunder, Brang 2003). Beim Anzeichnen ist darauf zu achten, dass an den Rändern möglichst langkronige Bäume zurückbleiben. Im Idealfall können die Öffnungen durch die Entnahme ganzer Rotten geschaffen werden.

Abb. 2/8: Zieltyp Alpenlattich-Fichtenwald (57) / Lawinenschutzwald. Das langfristige Waldbauziel ist eine kleinflächig rottenförmige Struktur. Die natürliche Selbstdifferenzierung ist im Bild zu erkennen. Jungwaldpflege war bis anhin nicht nötig.

Die Lärche braucht mehr Licht als die Fichte. Bei kleinflächiger Verjüngung tritt sie nur vereinzelt auf. Grössere Öffnungen können jedoch zu Konflikten mit der Schutzfunktion führen. Es muss deshalb örtlich entschieden werden, ob und wie die Lärche mit verhältnismässigem Aufwand gefördert werden kann. Die Anforderungen nach NaiS tragen dem Rechnung.

Zur Jungwaldpflege: Die in den Öffnungen heranwachsenden Verjüngungsansätze schliessen sich allmählich zu rottenförmigen Gebilden zusammen. Im Idealfall fördern die angrenzenden Bestandesränder eine kegelförmige Differenzierung (Abb. 2/8). In der Regel ist wenig oder keine Pflege erforderlich. Bei den sehr langen Verjüngungszeiträumen kann die Verjüngung durch den Ausfall weiterer Bäume (z.B. Schneedruck, Käfer) gelegentlich auch über die Gruppengrösse hinaus heranwachsen. In solchen Situationen kann es punktuell notwendig werden, das Zusammenwachsen des Jungwaldes durch das Anlegen von Gassen zu verhindern, bzw. die Entstehung von rottenartigen Kollektiven zu fördern. In solchen Gassen bietet sich auch die Möglichkeit, andere Baumarten als die Fichte zu begünstigen. Lärchen müssen gegenüber der Fichtenkonkurrenz langfristig (mit mehreren Eingriffen) gefördert werden.

Unter Umständen kann es auch in der subalpinen Stufe zu ausgedehnten Jungwaldbeständen kommen, die zu Gleichförmigkeit tendieren. Häufig sind dies früher beweidete Flächen, die nach Aufgabe der Beweidung verjüngungsgünstig sind und schnell einwachsen können. Auch aus Naturereignissen können grössere Verjüngungsflächen entstehen. Zudem finden sich heute noch viele Aufforstungsflächen, welche früher regelmässig und mit hoher Dichte bepflanzt wurden. Ohne Eingriffe können sich daraus instabile Baumhölzer entwickeln, die später nur unter Schwierigkeiten und mit hohem Risiko verjüngt werden können. Ziel muss es sein, in solchen Beständen rechtzeitig eine horizontale Strukturierung zu fördern, welche später eine vorzeitige Verjüngung bei geringen Risiken für den verbleibenden Bestand ermöglicht. Die „**Rottenpflege**“ ist dafür die geeignete Massnahme (Kapitel 3.3).

Abb. 2/9: Auch in stufigen Beständen können einzelne Lärchen durch punktuelle Eingriffe gefördert werden. Die abgestorbene Fichte wurde geringelt, und dient so noch einige Jahre als Stütze.

2.4 Fichten- und Tannen-Fichtenwälder der hochmontanen Stufe

2.4.1 Die natürliche Dynamik – Tendenz zu Gleichförmigkeit

In der hochmontanen Stufe sind die Bedingungen für die Keimung und das Aufwachsen der Bäume grundsätzlich günstiger als in der subalpinen Stufe. Die Fichte und auf den entsprechenden Standorten die Tanne dominieren und lassen den übrigen möglichen Baumarten (Föhren, Lärche, Bergahorn, Mehlbeere, Vogelbeere) nur wenig Raum. Weil die Verjüngung räumlich und zeitlich fast überall und immer möglich ist, sind auch die Voraussetzungen für die natürliche Entstehung von gleichförmigen Beständen gegeben. Auf grösseren Flächen kann sich die Verjüngung aber auch verzögern, beispielsweise wegen Austrocknung oder wegen auftretender Vegetationskonkurrenz. Auch auf vielen Standorten der hochmontanen Stufe ist Moderholz für die Verjüngung sehr wichtig.

Viele der hochmontanen Standorte sind sehr wüchsig und die Individuen eines Bestandes konkurrenzieren sich stark. Während in den subalpinen Wäldern die natürliche Selektion durch die extremen äusseren Einflüsse zu Rotten mit hoher Stabilität führen kann, entstehen auf hochmontanen Standorten oft grössere labile Bestandesteile ohne innere grüne Kronenränder, die ein erhöhtes Risiko gegenüber Schadereignissen (v.a. Sturm, Borkenkäfer) aufweisen. Rotten sind aufgrund der besseren Wuchsbedingungen nur noch ansatzweise zu erkennen. Insbesondere die reinen Fichtenwälder können im Optimalstadium auch unter natürlichen Bedingungen auf grösserer Fläche sehr homogen sein, vor allem bei geringen Standortsunterschieden (Abb. 2/10).

Auf Standorten, auf denen die Tanne vorkommt, ist die Situation deutlich einfacher. Als Schattenbaumart ist es ihr möglich, sich in kleinen Lücken zu verjüngen und lange im Schatten auszuharren. Sie kann ein höheres Alter als die Fichte erreichen und ist gegenüber Käferbefall und Sturm weniger anfällig. Die Tanne ist hier die einzige Baumart, die sich gegenüber der Fichte behaupten kann und trägt damit entscheidend zur natürlichen Strukturierung und Stabilisierung dieser Wälder bei.

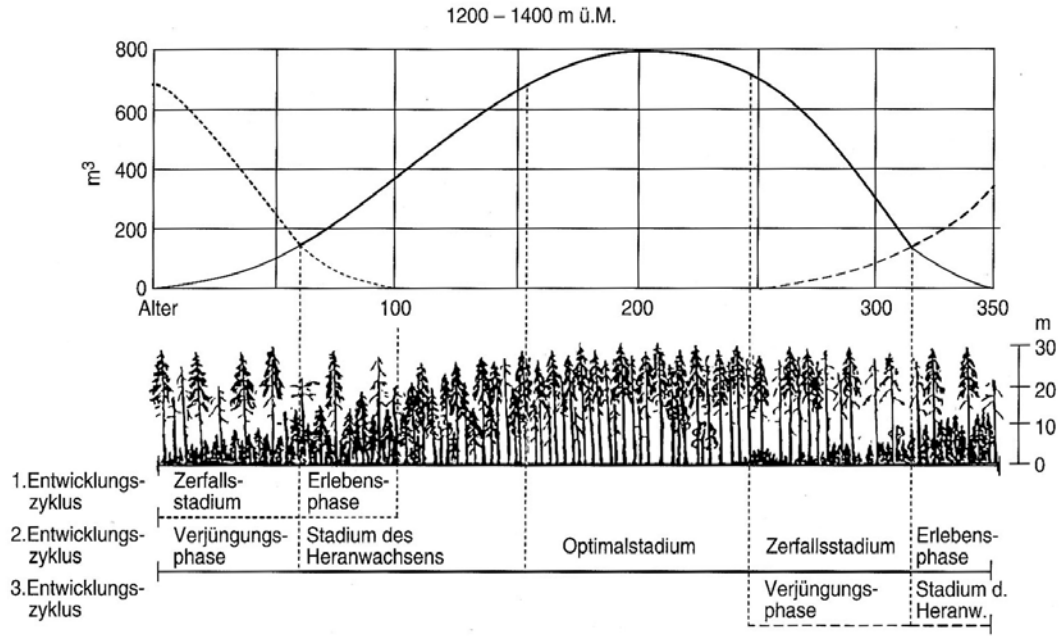

Abb. 2/10: Schematische Darstellung der Entwicklungen in einem hochmontanen Fichtenurwald (Korpel, 1995).

2.4.2 Bemerkungen zum Waldbau

Zum langfristigen Waldbauziel: Eine zu den Rotten in der subalpinen Stufe analoge kleinflächige Struktur ist in der hochmontanen Stufe nicht mehr von Natur aus zu erwarten. Im Hinblick auf das langfristige Waldbauziel werden folgende Bestandesmerkmale angestrebt:

- Eine gemäss Standort ausreichende Beimischung der möglichen Baumarten, insbesondere der Tanne (vergl. NaiS). Auch Pioniere spielen eine wichtige Rolle. Auf Grund des Klimawandels muss in dieser Höhenstufe zukünftig mit einem deutlich höheren Anteil an Laubbaumarten gerechnet werden.
- Horizontalgefüge mit „inneren Waldrändern“ zur Unterbrechung homogener Strukturen.
- Genügend Stabilitätsträger in Form von langkronigen Einzelbäumen und Kleinkollektiven, oder evtl. Rotten.
- Gruppenweise ungleichaltrige Struktur

Je besser ein konkreter Bestand dem langfristigen Waldbauziel entspricht, umso eher verläuft auch die natürliche Entwicklung zielkonform, d.h. umso besser funktioniert die Naturautomation. Zum Beispiel erleichtern die Tanne und innere grüne Ränder die kleinflächige Verjüngung, was sich wiederum günstig auf die Differenzierung des Jungwuchses auswirkt usw. Aufgrund der Wuchsverhältnisse in der hochmontanen Stufe werden jedoch zur langfristigen Sicherung der zielkonformen Entwicklung mehr lenkende Eingriffe nötig sein als in der subalpinen Stufe.

Zur Verjüngung: Die Fichte braucht vor allem in den inneren Alpen freien Himmel, damit der Niederschlag auf den Boden gelangt aber nicht zu viel direkte Sonne, wegen der Gefahr der Austrocknung (Abb. 2/11). Sehr bewährt hat sich die Gruppenplenterung mit kleinflächigen Öffnungen von 2 bis 10 Aren (je nach Standort). Damit können, ähnlich wie in der subalpinen Stufe, kleinflächig stufige Strukturen geschaffen werden.

Abb. 2/11: Hochmontaner Fichtenwald. An aufgelichteten Stellen hat sich die Verjüngung eingestellt. Durch gruppenförmige Öffnungen kann diese in Gruppengrösse aufwachsen, während in den überschirmten Partien die Verjüngung noch zurückbleibt. Langfristig kann dadurch die Gebirgsplenterstruktur gefördert werden. Bei grösseren Abräumungen können aus solchen Situationen verhältnismässig homogene Jungwaldflächen entstehen.

Der waldbauliche Handlungsspielraum bezüglich Form und Ausrichtung der Öffnungen ist grösser als in der subalpinen Stufe. Besonders einfach ist die Gruppenplenterung im Tannen-Fichtenwald, sofern die Verjüngung der Tanne nicht durch Wildeinfluss behindert wird. Ähnlich wie in der subalpinen Stufe braucht die Lärche grössere Öffnungen, woraus sich im Schutzwald ein Zielkonflikt ergeben kann. Wie kleinflächig es sein kann, bzw. wie grossflächig es sein darf, ist aus den standörtlichen Verhältnissen, den erwünschen Baumarten und den Anforderungen an die Waldfunktion(en) abzuleiten.

Zur Jungwaldpflege: In den wüchsigeren Lagen der hochmontanen Stufe, wenn die Verjüngungsgunst zeitlich und örtlich (Kleinstandort) weniger eingeschränkt ist als subalpin, wird auch die natürliche Rottenbildung zur Ausnahme. Durch die Grösse der Verjüngungsöffnung kann die Differenzierung der sozialen Stellung der Bäume in der heranwachsenden Verjüngung beeinflusst werden. Je kleiner die Öffnungen sind, umso grösser ist der Randeinfluss, und umso eher entstehen noch rottenähnliche Gebilde. In der Regel brauchen diese keine oder nur punktuelle Pflege zur Förderung erwünschter Mischbaumarten.

Grössere fichtendominierte Jungwaldflächen tendieren zur Gleichförmigkeit mit starker Konkurrenz zwischen den Individuen. Die Fichten treiben sich gegenseitig die Kronen nach oben und verdrängen die meisten der anderen Baumarten. Neben der Stabilität des Einzelbaumes leidet auch die Bestandesstabilität. Das Ziel einer Pflege in hochmontanen Jungwaldflächen ist es deshalb, in gleichförmigen Beständen innere grüne Ränder zu schaffen. Dies reduziert das Risiko grossflächiger Schäden und erleichtert die spätere Überführung in ungleichaltrige Strukturen, indem stabile Ränder für zukünftige Öffnungen geschaffen werden. Heranwachsende Jungwaldflächen sollen deshalb unter Berücksichtigung der örtlichen Struktur und der vorhandenen Baumarten in kleinere Einheiten von bis zu ¼ ha gegliedert werden, wofür der Begriff der «**Kammerung**» verwendet wird. Im Innern der Kammern können einzelne Bäume oder Kleinkollektive erwünschter Baumarten und Stabilitätsträger (Z-Bäume) zusätzlich gefördert werden (vergl. Kap. 3.4). Wie bereits erwähnt muss bzw. darf in der hochmontanen Stufe wegen des Klimawandels und aufgrund der heute nicht mehr praktizierten systematischen Entfernung der Laubhölzer in der Waldpflege mit einer deutlichen Zunahme des Laubholzanteils gerechnet werden. Beobachtungen auf Vivian- und Lotharflächen zeigen, dass dieser Trend bereits im Gang ist. Oft sind nadelholzdominierte Flächen mit laubholzreichen Partien durchsetzt. Durch die «Kammerung», kombiniert mit der Förderung von Z-Bäumen, können solche Bestände sehr gezielt behandelt werden.

2.5 Tannen-Buchenwälder der obermontanen Stufe

2.5.1 Die natürliche Dynamik – von Natur aus stark strukturiert

In der obermontanen Stufe gehört neben der Tanne und der Fichte auch die Buche zu den Hauptbaumarten. Dazu kommen häufig noch Bergahorn, Bergulme und Esche. Die drei Hauptbaumarten Buche, Tanne und Fichte bilden mit ihrem individuellen Wuchsverhalten und ihrer unterschiedlichen Lebenserwartung in der Regel strukturreiche Bestände, die gegenüber biotischen und abiotischen Schadfaktoren sehr widerstandsfähig sind.

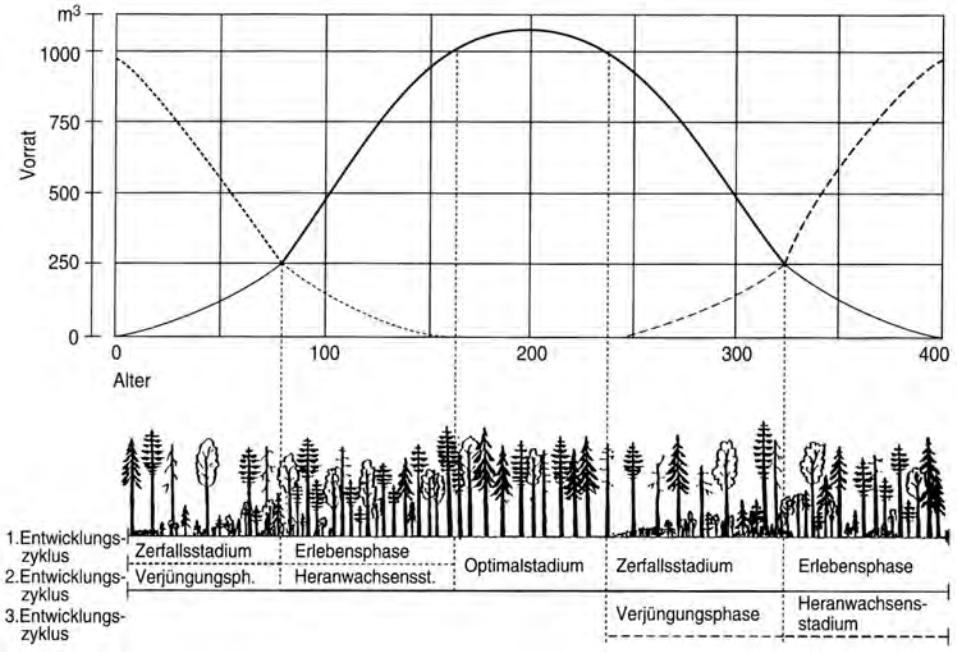

Abb. 2/12: Schematische Darstellung der Entwicklungen in einem obermontanen Tannen-Buchen-Urwald (Korpel, 1995).

Beobachtungen in Urwäldern zeigen, dass homogene Bestände im Optimalstadium selten eine Ausdehnung von mehr als 0,5 bis 1 ha erreichen (Korpel, 1995) (Abb. 2/12). Naturnahe Tannen-Buchenwälder gehören zu den stabilsten Waldökosystemen in Mitteleuropa (Abb. 2/13).

Die natürliche Durchmischung von immergrünen Nadelbäumen und Laubbäumen führt auch an Hängen zu einer höheren natürlichen Stabilität, als dies in der hochmontanen oder dann auch in der buchendominierten untermontanen Stufe der Fall ist.

Abb. 2/13: Stark differenzierte Struktur in einem Tannen-Buchen-Urlaub in der Ukraine.

2.5.2 Bemerkungen zum Waldbau

Zum langfristigen Waldbauziel: Die natürliche Vielfalt an Baumarten und Strukturen dürfte den meisten denkbaren Anforderungen bezüglich Waldfunktionen gerecht werden. Ähnlich wie in der subalpinen Stufe ist es wohl kaum zweckmässig, wesentlich andere Waldstrukturen als im Naturwald anzustreben. Die Strukturierung ergibt sich hauptsächlich durch die Unterschiede im Alter und in der Dimension zwischen den Einzelbäumen oder den Kleinkollektiven unterschiedlicher Arten (Abb. 2/14). Innere Bestandesränder sind weniger deutlich ausgeprägt als in den Nadelwäldern.

Naturnahe Tannen-Buchenwälder brauchen in der Regel wenig Pflege. Entscheidend ist, dass die Naturnähe nachhaltig erhalten bleibt. Das Wichtigste dabei ist die gesicherte Verjüngung der Hauptbaumarten Buche, Tanne und Fichte. Ein geringer Fichtenanteil reduziert das Risiko von Borkenkäferschäden. Damit sind auch die Voraussetzungen für eine möglichst zielkonforme Entwicklung und eine wirksame Naturautomation bezeichnet.

Zur Verjüngung: Der Kleinstandort hat nicht mehr die gleiche Bedeutung wie subalpin und hochmontan. Für die Verjüngung braucht es keine direkte Sonneneinstrahlung. Zu beachten sind Standorte, auf denen die Vegetationskonkurrenz in grösseren Lücken die Verjüngung behindern kann. Die

Verjüngung kann bereits mit Auflichtungen (Ta, Bu) eingeleitet werden, bevor sich die Vegetationskonkurrenz zu stark entwickeln kann, wobei die Tanne noch weniger Licht benötigt als die Buche. Mit der Öffnungsgrösse kann der Wachstumsverlauf der einzelnen Baumarten beeinflusst werden. Grosse Öffnungen ohne bereits vorhandene Verjüngung fördern eher nachteilige Effekte wie die Vegetationskonkurrenz oder Schneegleiten.

Abb. 2/14: Tannen-Buchenwald. Dank den unterschiedlichen Eigenschaften der drei Hauptbaumarten sind die Bestände oft stärker strukturiert und stabiler als hochmontane Fichten- oder untermontane Buchenwälder. Bei tragbarem Wildeinfluss ist die Verjüngung auch unter Schirm präsent. Insbesondere die Tanne kann in kleinsten Lücken aufwachsen.

Zur Jungwaldpflege: Bei gruppenförmig ungleichaltrigen Strukturen ist das Potenzial zur zielkonformen natürlichen Selbstregulation sehr hoch und Pflege in der Verjüngung zugunsten einzelner Baumarten oder Stabilitätsträger nur punktuell oder gar nicht notwendig.

In gleichförmigen Partien oder vor allem in grösserflächigen Verjüngungen kann die Differenzierung und Mischung durch die Förderung ausgewählter «**Z-Bäume»** verstärkt werden. In nadelholzreichen Beständen kann auch eine Kammerung notwendig sein.

2.6 Buchenwälder im Schutzwald der untermontanen Stufe

2.6.1 Die natürliche Dynamik – die Buche dominiert

In den Wäldern der untermontanen Stufe ist die Buche sehr dominant. Sie befindet sich im Optimum ihres Verbreitungsgebietes. Sie erzeugt einen hohen Konkurrenzdruck, so dass andere Baumarten Mühe haben, sich durchzusetzen. An aufgelichteten Stellen oder mit Seitenlicht stellt sich die Buche oder Tanne ein. Die Tanne benötigt dazu weniger Licht als die Buche. Die Tanne kann sich jedoch

gegenüber der Buche weniger gut durchsetzen als in der obermontanen Stufe. Nur in grösseren Lücken können auch vereinzelt Bergahorn, Esche, Bergulme und manchmal Tanne oder Fichte aufwachsen. Wenn die Buchen sich verjüngen können, wachsen sie relativ rasch in die Oberschicht und vermitteln so den Eindruck von Gleichförmigkeit. Die Urwaldforschung zeigt jedoch, dass auch Buchenwälder erstaunlich ungleichaltrig und stufig sein können. Nach Korpel (1995) ist der einschichtige, vertikal ausgeglichene Bestandesaufbau selten und kommt nur auf kleinen Flächen vor (Abb. 2/15 und 2/16). Die Verjüngung verläuft kleinflächig. Schon auf einer Fläche von über 50 a befindet sich wenigstens auf einem kleinen Teil irgendeine Verjüngungsphase. Der langdauernde Verlauf des Zerfalls der Oberschicht ermöglicht es den Bäumen aus der mittleren Schicht, noch im fortgeschrittenen Alter in die obere Schicht hineinzuwachsen, dies jedoch bereits in Anwesenheit der unteren Schicht. Die Altersanalysen bestätigen, dass auch auf eng begrenzter Fläche Bäume aus drei bis vier Verjüngungsphasen mit einem etwa 60jährigen Altersabstand vorkommen. Dies bedeutet, dass während des Entwicklungszyklus mehrmals gute Bedingungen mit genügend Licht für die natürliche Verjüngung geherrscht haben müssen.

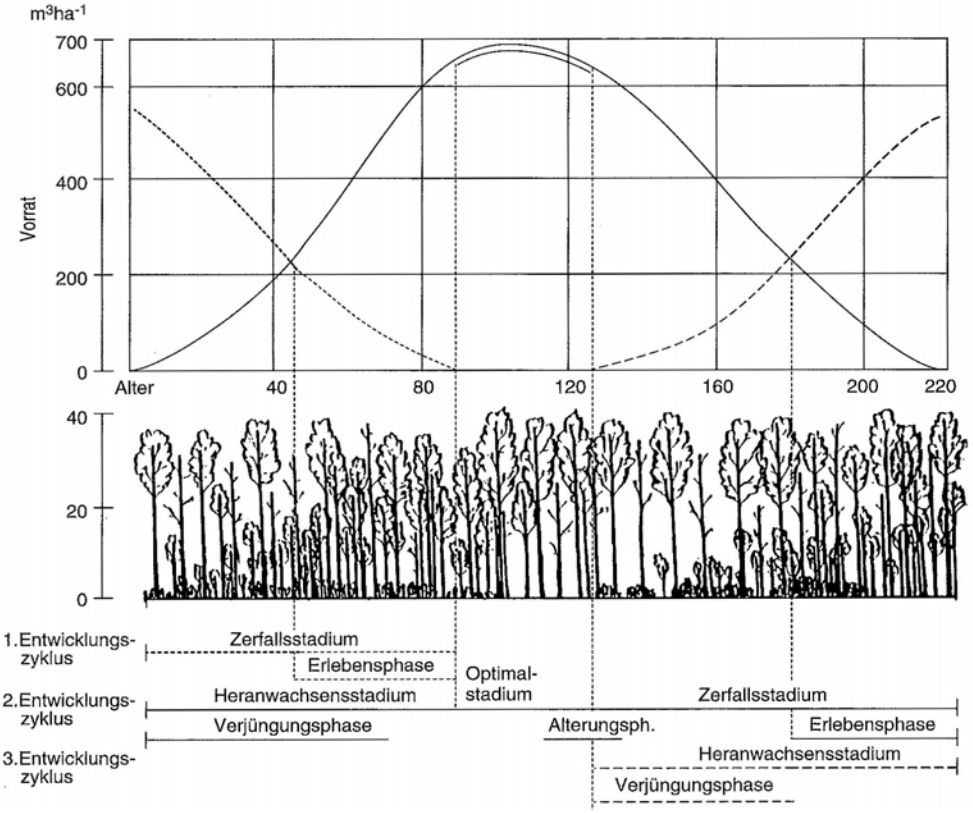

Abb. 2/15: Schematische Darstellung der Entwicklungen in einem Buchenurwald (Korpel, 1995).

Abb. 2/16: Buchenurwald «Stuzica» im Osten der Slovakei.

2.6.2 Bemerkungen zum Waldbau

Zum langfristigen Waldbauziel: Beim Schutzwald in dieser Höhenstufe geht es in der Regel um Steinschlag, Rutschungen oder gerinnerelevante Prozesse. Dafür braucht es nach NaiS gegen Steinschlag eine nachhaltig hohe Stammzahl und Grundfläche bei kleinen Öffnungen und bei gerinnerelevanten Prozessen einen hohen Deckungsgrad mit Öffnungen von bis zu 12 a (bei gesicherter Verjüngung) für eine dauernd gute Durchwurzelung des Bodens.

Das langfristige Waldbauziel sind deshalb gruppenförmig ungleichaltrige Bestände mit einem Gerüst von Stabilitätsträgern (Einzelbäume und Kleinkollektive) und im Steinschlagschutzwald mit einer möglichst hohen Stammzahl im übrigen Bestand. Beobachtungen zeigen, dass ein Anteil von etwa 10 % Nadelbäumen sich aufgrund deren Wuchsform positiv auf die Bestandesstabilität auswirkt.

Versuche, Buchenwälder nach den Prinzipen der Einzelplenterung oder des Dauerwaldes zu behandeln haben gezeigt, dass dies nur bei niedriger Grundfläche möglich ist (Schütz, 2002). Die Grundflächen sind insbesondere im Vergleich mit den Anforderungen im Steinschlagschutzwald meistens zu tief, und man kann davon ausgehen, dass mit der Gruppenplenterung nachhaltig höhere Stammzahlen bzw. Grundflächen möglich sind.

Zur Verjüngung: Buchenanwuchs überlebt auch bei diffusem Licht und kann durch gruppenförmige Öffnungen (5 – 10 a) gefördert werden. Will man lichtbedürftigere Baumarten fördern, sollten an Stellen mit geringerer Buchenkonkurrenz, an weniger steilen Orten oder in der Nähe von Samenbäumen die Öffnungen eher bis an die obere Grenze ausgedehnt werden. Öffnungen sollten vor allem dort angelegt werden, wo die Verjüngung bereits präsent ist. Bei Eingriffen sollte der Fokus darauf gerichtet werden, Bäume und Baumgruppen, die relativ stabil sind, unangetastet zu lassen und sich auf die offensichtlichen «Schwachstellen» im Bestand zu konzentrieren. Wenn die Entfernung vermeintlich instabiler Bäume im Fokus steht, wird der Eingriff oft zu stark und destabilisiert den ganzen Bestand (Dominoeffekt). In grösseren Öffnungen ohne Verjüngung kann die Brombeere und auf basischen Standorten auch die Waldrebe überhandnehmen und die Verjüngung stark verzögern.

Zur Jungwaldpflege: Unter günstigen Bedingungen ist, ähnlich wie in der obermontanen Stufe, nur punktuelle oder gar keine Pflege nötig. Nach Räumungen (z.B. Sicherheitsholzerei) oder flächigen Zusammenbrüchen können unter Umständen dichte homogene Buchendickungen entstehen. In Buchenwäldern an Steilhängen (vor allem an Südhängen) neigt die Buche dazu, einseitige, hangabwärts gerichtete Kronen und instabile Hänger zu bilden. Viele Beobachtungen weisen darauf hin, dass diese Tendenz durch die bisher üblichen Durchforstungen kaum verhindert werden kann. Im Baumholz wird es dann sehr schwierig, Verjüngungsöffnungen anzulegen, da stabile Elemente nur begrenzt vorkommen (Abb. 2/17). Als Folge davon werden in vielen Fällen wieder flächige Räumungen gemacht.

Um dies zu verhindern, sollten Jungwaldbestände rechtzeitig auf die Überführung in zukünftige Gruppenplenter-Strukturen vorbereitet werden. Nach einer Phase der Selbstdifferenzierung kann dafür mit Hilfe der **«Z-Baum-Pflege»** ein Gerüst an Stabilitätsträgern herausgebildet werden (vergl. Kapitel 3.5).

Abb. 2/17: Gleichförmiger buchendominierter Laubwald. Zieltyp: Zahnwurz-Buchenwald / Steinschlagschutz. Das Anlegen gruppenförmiger Öffnungen ist schwierig, so dass häufig wieder flächige Räumungen ausgeführt werden.

2.7 Laubwälder im Schutzwald der submontanen und collinen Stufe

2.7.1 Die natürliche Dynamik – die Baumartenvielfalt nimmt zu

In der submontanen Stufe ist die Buche immer noch konkurrenzstark und dominant. Im Vergleich zur untermontanen Stufe treten jedoch nebst Bergahorn, Bergulme und Eschen zusätzliche Baumarten wie Eichen, Hagebuche oder Linde und Kirsche und andere noch häufiger auf.

In der collinen Stufe verliert die Buche ihre Konkurrenzkraft. In Eichenmischwäldern, oder auf der Alpensüdseite auch in Kastanien- oder Lindenwäldern, kommt die Buche höchstens noch vereinzelt

vor. Auf der Alpensüdseite wurde die Kastanie über Jahrhunderte stark gefördert und ist deshalb heute oft stärker vertreten als im Naturwald. Zudem wandern immer mehr Neophyten in den Wald ein. Die grosse Vielfalt an Baumarten mit unterschiedlichen Eigenschaften führt je nach Lichtverhältnissen zu unterschiedlichen Entwicklungen.

2.7.2 Bemerkungen zum Waldbau

Angesichts der grossen Vielfalt an möglichen Baumarten ist die Kenntnis deren Eigenschaften und die Beobachtung der Waldentwicklung besonders wichtig. Die Mischung kann durch die Grösse der Verjüngungsöffnungen und falls nötig durch spätere gezielte Eingriffe gesteuert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Waldrebe submontan noch vitaler ist als untermontan. Auch das Auftreten von Neophyten erfordert besondere Aufmerksamkeit.

Grundsätzlich kann auch in diesen Wäldern die **«Z-Baum-Pflege»** angewendet werden, wobei aufgrund der Baumartenvielfalt mit unterschiedlichen Konkurrenzverhältnissen die konkrete Behandlung dem Einzelfall angepasst werden muss.

2.8 Föhrenwälder

Bergföhrenwälder: Die Bergföhre kommt nur auf extremen Standorten bestandesweise vor. Die Entwicklung verläuft sehr langsam (Abb. 2/18). Zur Sicherung der Stabilität sind kaum wirksame Eingriffe möglich und notwendig (Frehner et al. 2005).

Abb. 2/18: Die Stabilität von Bergföhrenwäldern kann durch waldbauliche Massnahmen kaum wirksam beeinflusst werden.

Waldföhrenwälder: Auch die Waldföhre ist eine Pionierbaumart, die sich gegenüber der Konkurrenz nur auf extremen Standorten langfristig halten kann. Bei föhrenreichen Beständen ist deshalb abzuklären, ob es sich um eine Pionierphase in Folge einer Störung oder um einen echten Föhrenstandort handelt. Hinweise dazu und Empfehlungen für die Behandlung finden sich im Anhang 2B von NaiS (Frehner et al. 2005).

3. Jungwaldpflegemethoden

3.1 Überführung von flächigen Jungwäldern in ungleichaltrige Wälder

Im Kapitel 1.2 wird dargelegt, weshalb die **Gruppenplenterung** für den Gebirgsnadelwald und den Schutzwald tieferer Lagen als langfristiges Waldbauziel geeignet ist. Charakteristisch für die Gruppenplenterung ist das kleinflächige Nebeneinander unterschiedlicher Entwicklungsstufen. Damit bleibt man in der Nähe der Naturwalddynamik (Brang et al., 2011) mit Strukturen, die – abgesehen von grossen Störungsereignissen - eine permanent hohe Schutzwirkung und eine gute Risikoverteilung bei geringem Pflegeaufwand bieten. Im Kapitel 2 wurde jeweils kurz auf die waldbaulichen Massnahmen in stufigen Wäldern hingewiesen. Weitere Hinweise dazu finden sich auch in der Wegleitung NaiS und bei Ott et al. (1997).

In diesem Kapitel werden Methoden der Jungwaldpflege dargestellt, mit denen grössere Jungwaldflächen in gruppenweise ungleichaltrige Strukturen überführt werden können. Sie beziehen sich damit primär auf jene Situation, in denen durch besondere Ereignisse grössere Jungwaldflächen entstanden sind:

- Aufforstungen
- Verjüngung auf Sturmflächen (z.B. Vivian und Lothar)
- Verjüngung auf Waldbrandflächen
- Unvermeidliche Räumungen instabiler Bestände
- Natürlich eingewachsene Flächen

Grundsätzlich geht es bei der Pflege solcher Bestände um eine Überführung in Strukturen, die mit der im Kapitel 2 beschriebenen natürlichen Dynamik der verschiedenen Waldtypen vereinbar sind. Das ist ein langfristiger Prozess, für den bereits im Jungwald günstige Voraussetzungen geschaffen werden sollen. In Anlehnung an Schütz (2002) lassen sich diese Voraussetzungen wie folgt formulieren:

1. Genügende Stabilität des Bestandes zu Beginn der Überführung
2. Hohe Lebenserwartung (Entwicklungspotential) der Bäume, welche den gesamten Überführungszeitraumes überdauern sollen
3. Gestaffelte Verjüngung – zeitlich und räumlich – ermöglichen
4. Langsame Annäherung an das langfristige Waldbauziel

1 Stabilität: Damit im Bestand überhaupt Eingriffe vorgenommen werden können, braucht es ein Gerüst von stabilen Elementen bzw. stabilen Rändern, welche das horizontale Gefüge gliedern. Dadurch soll das Risiko für Folgeschäden in den verbleibenden Bestandesteilen reduziert werden.

2 Hohe Lebenserwartung: Die Überführung ist ein langfristiger Prozess. Einzelne Bestandesteile und Stabilitätsträger brauchen eine hohe Lebenserwartung, damit sie den gesamten Überführungszeitraumes überdauern können.

3 Gestaffelte Verjüngung: Um eine möglichst starke Differenzierung zu erreichen, muss mit der Verjüngung vorzeitig begonnen und diese zeitlich und räumlich gestaffelt werden. Da durch dieses Vorgehen nicht alle Bäume zur Hiebsreife gelangen, müssen bei der Überführung grundsätzlich Wertzuwachseinbussen in Kauf genommen werden.

4 Langsame Annäherung an das langfristige Waldbauziel: Mit der Jungwaldpflege erfolgt ein erster Schritt zur Annäherung an das langfristige Waldbauziel. Die Vorstellungen zum weiteren Vorgehen über den langen Überführungszeitraum sind grundsätzlicher Art und müssen jeweils der konkreten Entwicklung angepasst werden. Gegebenenfalls müssen auch Anpassungen auf Grund des Klimawandels vorgenommen werden – z.B. durch ergänzende Pflanzungen in den Verjüngungsöffnungen.

Die konkrete standortsbezogene Festlegung der waldbaulichen Ziele im Schutzwald stützt sich auf die **Anforderungsprofile nach NaiS** (Frehner et al. 2005). Das Idealprofil entspricht dabei dem langfristigen Waldbauziel, analog zum oben erwähnten Punkt 4. Die Herleitung des Handlungsbedarfes durch den Vergleich des Zustandes mit dem Minimalprofil ist in jungen Beständen nicht immer einfach. Massnahmen sollen jedoch, unter Beachtung der Verhältnismässigkeit, so gewählt und ausgeführt werden, dass die Entwicklung in Richtung Idealprofil verläuft.

3.2 Die Pflegemethoden im Überblick

Ziel der folgenden Kapitel ist es nun, diejenigen Massnahmen zu beschreiben, mit denen die in Kapitel 3.1 genannten Voraussetzungen geschaffen werden können und somit der langfristige Prozess der Überführung der jungen Bestände eingeleitet wird. Dabei sollen bewährte Methoden übernommen und an neue Erkenntnisse sowie an die für den Geltungsbereich dieses Leitfadens massgebenden Bedingungen angepasst werden.

Die klassische Waldpflege mit der Auslesedurchforstung (Schädelin, 1942 und Leibundgut, 1984) wurde in den letzten Jahrzehnten unter dem Einfluss der wirtschaftlichen Schwierigkeiten und aufgrund neuer Forschungsergebnisse zunehmend in Frage gestellt. Unterdessen wurden neue und besser auf die Standortsverhältnisse und die Ziele ausgerichtete Pflegekonzepte entwickelt. Für die Gebirgsnadelwälder sind das insbesondere die Rottenpflege (Zeller, 1993) und die Stabilitätspflege (Ott et al., 1997 und Zeller, 1994). Für die Wirtschaftswälder der tieferen Lagen wurde das Z-Baum-Konzept von Abetz (1975) unter der Bezeichnung «Biologische Rationalisierung» (Ammann 2005) weiterentwickelt.

Die Rottenpflege hat sich in der Praxis insbesondere für subalpine Fichtenwälder etabliert, und der Umstand, dass die Broschüre von Zeller (1993) vergriffen ist, war einer der Gründe für den Entscheid, diesen Leitfaden zu schreiben. Aus heutiger Sicht sind für die Rottenpflege einige Präzisierungen und Einschränkungen erforderlich (Kap. 3.3). Die Stabilitätspflege wie sie Zeller (1994) und Ott et al. (1997) darlegen, entspricht einer umfassenderen Behandlung der Gebirgsnadelwälder, deren Grundsätze auch heute noch gültig sind. Die Stabilitätspflege lässt sich jedoch nicht ohne weiteres auf eine Pflegemethode für Jungwaldbestände reduzieren. Aber gestützt auf die Publikationen von Zeller und Ott und auf die Erfahrungen der letzten Jahre entstand die Idee, die bereits von Zeller (1994) erwähnte Kammerung von Beständen zur Reduktion von Stabilitätsrisiken zu einer eigentlichen Pflegemethode für Überführungsbestände zu entwickeln. Die Kammerung (Kap. 3.4) kommt vor allem in hochmontanen Wäldern zur Anwendung, wo die Rottenpflege nicht mehr als zweckmässig erachtet wird.

Im Wirtschaftswald der tieferen Lagen wurde die Auslesedurchforstung in den letzten Jahren durch das Z-Baum-Konzept abgelöst. Der damit verbundene vorrangige Fokus auf den Zukunftsbaum ist auf den entsprechenden Standorten auch im Schutzwald angebracht. Hingegen sind betreffend Auswahlkriterien und Anzahl der Z-Bäume Anpassungen notwendig (Kap.3.5).

Im Folgenden werden die zum Teil komplexen Beschreibungen von Pflegekonzepten und Überlegungen auf die drei bereits erwähnten Pflegemethoden «Rottenpflege», «Kammerung» und «Z-Baum-Pflege» angewendet. Damit werden diese Methoden zu einem Bestandteil der Stabilitätspflege, wie sie auch in Zeller (1994) und Ott et al. (1997) diskutiert wird.

Wegleitend für die Wahl der unterschiedlichen Methoden ist das langfristige Waldbauziel, welches vor allem von der Höhenstufe, bzw. vom Standort und den Waldfunktionen abhängt:

- **Rottenpflege**: Fichtendominierte Wälder der subalpinen (hochmontanen) Stufe
- **Kammerung**: Nadelholzreiche Wälder der hochmontanen (obermontanen) Stufe
- **Z-Baum-Pflege**: Laubholzdominierte Wälder der tieferen Lagen

Die Anwendung der Methoden muss der gegebenen lokalen Situation angepasst werden. Es kann auch vorkommen, dass sich verschiedene Pflegemethoden auf einer Fläche überlagern.

Bei allen Methoden sind folgende Grundsätze zu beachten:

- Die natürliche Entwicklung wird zugelassen, solange diese zielkonform verläuft.
- Eingegriffen wird grundsätzlich erst, wenn es die Erhaltung der erwünschten Baumarten oder die Stabilitätsmerkmale der Einzelbäume / Kleinkollektive (Schlankheitsgrad, Kronenlänge und Kronenform) und der Rotten / Kammern (grüne Ränder) erfordern.
- Strukturfördernde Elemente werden belassen. Dazu gehören Pionierbaumarten und protzige Vorwüchse und auch kleinere Blössen oder Zusammenbrüche fördern die Strukturierung. Pionierbäume bieten ausserdem Schutz, dienen als Vorwald und tragen zur Bodenverbesserung bei.
- Bei Pflegeeingriffen im Steinschlag-Schutzwald darf keine unnötige Reduktion der Stammzahl vorgenommen werden.
- Eingriffe, welche die Homogenisierung fördern, sind zu unterlassen:
    - nur die notwendige Anzahl Bäume / Kollektive fördern
    - keine negative Auslese, oder beiläufige Massnahmen
    - keine Eingriffe in den Zwischenräumen, bzw. keine flächige Erdünnerung

Die Angaben im Text zu Kollektivgrössen, Gassenbreiten und Baumabständen sind als Horizontaldistanzen zu verstehen. Die Werte müssen entsprechend der Hangneigung in Schrägdistanzen umgerechnet werden.

Der Pflegeauftrag: Für die Arbeitsausführung wurde gemeinsam mit der Fachstelle Waldbau FWB ein waldbaulicher Pflegeauftrag ausgearbeitet (Ammann et al., 2019).

3.3 Die Rottenpflege

3.3.1 Die Rotte als Strukturelement der subalpinen Fichtenwälder

Die «Rotte» ist das charakteristische Strukturelement der subalpinen Fichtenwälder (vergl. Kap. 2.3.1). Eine Rotte besteht aus eng zusammenstehenden Bäumen (Ausdehnung bis zu 5 Aren) mit gemeinsamem Kronenmantel (Kronenlänge mind. ¾ der Baumlänge). Die Rottenstruktur ist für die Gruppenplenterung besonders gut geeignet. Dies bestätigen auch langjährige Erfahrungen (Bischoff, 1985 und Ott et al., 1997). Bei der Rottenpflege geht es darum, die Rottenstruktur bereits im Jungwald anzulegen und damit günstige Voraussetzungen für die langfristige Überführung in die Gruppenplenterung zu schaffen.

Abb. 3/1: Rotten zeichnen sich durch einen geschlossenen Kronenmantel aus, der bis zu deren Ernte zur Einleitung der Verjüngung erhalten bleiben soll.

Stabilität: Wenn sich die Verjüngung auf grösseren Flächen einstellt (z.B. nach einem Sturm), ist die Altersdifferenzierung meistens so gering, dass relativ gleichförmige Bestände heranwachsen. Beobachtungen zeigen, dass auf grösseren Flächen auch Altersunterschiede von 30 Jahren durch das Höhenwachstum wieder ausgeglichen werden können.

In solchen Situationen wird es im Hinblick auf die erwünschte spätere Struktur notwendig, die Differenzierung künstlich zu fördern. Die gleichförmigen Jungwaldpartien werden in kleinere Einheiten gegliedert, die zu rottenähnlichen Kollektiven heranwachsen können. Im Innern der Rotten wird grundsätzlich nicht eingegriffen. Mit diesem Eingriff wird die horizontale Struktur verbessert. Die Rotten behalten ihren grünen Kronenrand bis in die Baumholzstufe, sind dadurch sehr stabil und bieten eine gute Risikoverteilung.

Hohe Lebenserwartung: Auch wenn die interne Konkurrenz zu einer gewissen Mortalität innerhalb der Rotten führt, haben sie als Ganzes eine hohe Lebenserwartung. Je länger der Überführungszeitraum dauert, umso grösser wird auch die Altersdifferenzierung innerhalb eines Überführungsbestandes.

Gestaffelte Verjüngung: Damit langfristig die angestrebte vertikale Struktur erreicht werden kann, muss einerseits bereits vor der eigentlichen Hiebsreife mit der Verjüngung begonnen werden. Andererseits müssen einzelne Rotten möglichst bis zur natürlichen Altersgrenze belassen werden. Beim

Anlegen der Verjüngungsöffnungen müssen die Bestandesstrukturen beachtet werden – Rotten sollten bei Eingriffen möglichst nicht durchschnitten werden. Im Idealfall kann die Verjüngung durch die Entnahme ganzer Rotten eingeleitet werden. In solchen kleinflächigen Strukturen kann die Verjüngung wiederum zu rottenförmigen Einheiten heranwachsen.

Annäherung an das langfristige Waldbauziel: Im weiteren Verlauf der Überführung wird es nun möglich, die Bestände durch die Entnahme einzelner Rotten etappenweise zu verjüngen. Dies erfolgt oft in zeitlichen Abständen von rund 30 Jahren. Schon beim ersten Verjüngungseingriff stellt sich die Frage, ob die Baumartenmischung durch Pflanzungen in den Öffnungen an den Klimawandel angepasst werden muss. Weiterführende praktische Hinweise zur Behandlung der Gebirgsnadelwälder sind bei Ott et al. (1997) zu finden, namentlich in den Kapiteln «Die Verjüngung der subalpinen Nadelwälder» und «Stabilitätsbetreuung in den Gebirgsnadelwäldern».

Pflegemethode: Die Methode zur Ausformung von Rotten ist schon seit Jahrzehnten unter dem Namen «Rottenpflege» bekannt (Zeller, 1993) und wird an den forstlichen Bildungsstätten auch unterrichtet (Hürlimann, 2016).

Bis zu einem gewissen Grad lassen sich die Überlegungen zur Rottenpflege auch auf die fichtendominierten Wälder der hochmontanen Stufe übertragen (Kap. 3.3.3).

Aufgrund der Erfahrungen werden Pflanzungen bzw. Aufforstungen nach Störungsereignissen rottenförmig angelegt (Schönenberger W., 1986) und nicht mehr flächendeckend, wie das in früheren Jahrzehnten praktiziert wurde.

Abb. 3/2: Die Fichten in der Gasse werden zur Ausformung von Rotten entfernt. An steileren Hängen müssten noch höhere Stöcke belassen werden.

3.3.2 Die Ausformung von Rotten

Ziel: Differenzierung der horizontalen Struktur von Fichtenbeständen zur Erleichterung der späteren Verjüngung durch schlitzförmige Öffnungen und zur langfristigen Risikoreduktion (Abb. 3/4 und 3/5).

Rottengrösse und Rottenform: Zeller (1993) empfiehlt für die die Rottenpflege einen Rottendurchmesser von 1/2 bis 1/1 der maximal zu erwartenden Baumhöhe. Das entspricht in der subalpinen Stufe etwa einem Rottendurchmesser von 15 bis 30 m. Auf Grund der Untersuchungen von Fillbrandt (2000) und Strobel (1997) muss dies als oberste Grenze betrachtet werden. Zudem ist es zweckmässig, die Rottengrösse und -form im Hinblick auf die späteren Verjüngungsöffnungen festzulegen, welche durch die Entnahme ganzer Rotten geschaffen werden. Im Idealfall sind die Rotten also nicht rund, sondern weisen eine längliche Form auf. Sie liegen schräg oder quer zum Hang. Die auf subalpinen Standorten erforderlichen länglichen Verjüngungsöffnungen (Schlitze) können so einfacher unter Berücksichtigung stabiler Ränder angelegt werden. Vergleiche dazu auch die Anforderungen nach NaiS.

Unter Berücksichtigung aller Kriterien sollte die maximale Rottenbreite in Hangrichtung somit auf 15 bis 20 m (von Stamm zu Stamm gemessen) begrenzt werden (Abb. 3/4a). Bis ins Baumholzalter erreichen die Rotten dann inkl. Kronensaum einen Durchmesser von 20 bis 30 m (Abb. 3/4b).

Rottenabstand: Der Abstand, bzw. die Gassenbreite zwischen den Rotten muss mindestens so gross sein, dass der grüne Kronenmantel auch bei ausgewachsenen Rotten noch erhalten bleibt. Das heisst, die Breite der Gassen muss mindestens die doppelte maximale Astlänge ausgewachsener Bäume betragen. Das entspricht in der Regel mindestens 8 bis maximal 12 m Horizontaldistanz von Stamm zu Stamm gemessen (Abb. 3/3). An ausgewählten Stellen (nicht in der Falllinie) können die Gassen auch breiter sein, z.B. zu Gunsten von einzelnen Lärchen oder Laubbäumen. Permanent offene Stellen verbessern z.B. auch das Äsungsangebot für das Wild. In Hangfalllinie sollten lange und breite Gassen vermieden werden.

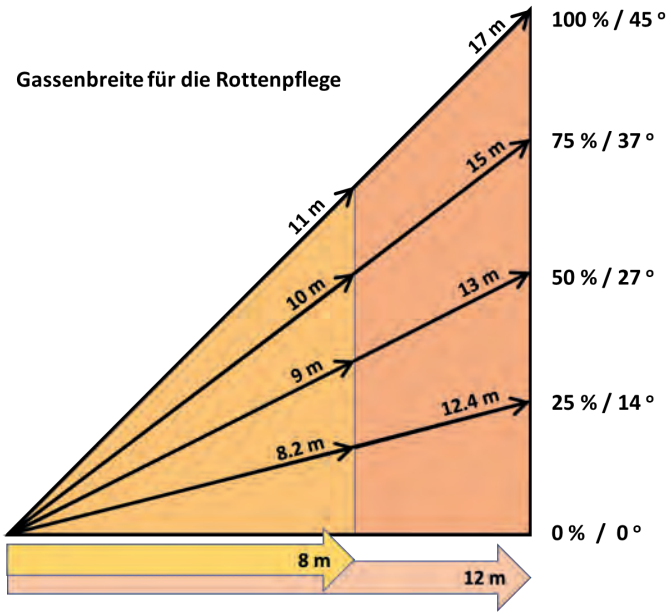

Abb. 3/3: Umrechnung von Horizontaldistanzen bei der Rottenpflege (8 bis 12 m) auf schiefe Längen für unterschiedliche Hangneigungen. (Zahlen gerundet)

Zeitpunkt der Pflege: Je früher der Eingriff erfolgt, umso besser ist die Übersicht bei der Ausführung und umso geringer ist der Aufwand. Der Eingriff darf aber trotzdem erst erfolgen, wenn der Jungwald durch Schneebewegungen nicht mehr gefährdet ist, und wenn er schutzwirksam ist. Das ist in der Regel der Fall, wenn die dominierenden Bäumchen eines Kollektivs eine Höhe von 5 bis 8 m bzw. einen BHD von 8 bis 12 cm erreicht haben.

Bei einem zu frühen Eingriff muss damit gerechnet werden, dass in einem extremen Winter durch Schneegleiten und Schneekriechen oder auch durch Schneebruch massive Schäden entstehen.

Bei zu späten Eingriffen hat sich der grüne Kronenrand schon so weit nach oben verschoben, dass die erforderlichen inneren grünen Ränder nicht mehr gesichert werden können. Der Eingriff sollte erfolgen, bevor der Kronenansatz ca. 2 m über dem Boden ist.

Falls bis zu diesem Zustand kein Eingriff gemacht wurde, muss abgewogen werden, ob trotzdem noch stabile Kollektive ausgeformt werden können, oder ob - gestützt auf die noch vorhandenen grünen Ränder - bereits erste Verjüngungsöffnungen angelegt werden sollen. Denkbar ist auch eine Kombination von beidem.

Eingriff im Rotteninnern: Wenn die Rotten genügend klein sind, erübrigen sich dank der hohen kollektiven Stabilität Eingriffe im Inneren der Rotten.

Förderung anderer Baumarten: Einzeln vorhandene Baumarten wie Lärchen, Arven, Bergahorn oder Vogelbeere sollen vor allem in den Gassen zwischen den einzelnen Rotten belassen bzw. gefördert werden. Es ist auch möglich, die Rottenform bzw. die Gasse so zu gestalten, dass solche Bäume in den Gassen zu stehen kommen und dass lokal die Gassenbreite etwas grösser wird. Im Zeichen des Klimawandels soll jede sich bietende Gelegenheit dafür genutzt werden.

Arbeitsvorbereitung und Ausführung: Zur Wahrung der Übersicht ist es hilfreich, die Rottenränder vor der Freistellung zu markieren. Vor allem an Südhängen sollten hohe Stöcke belassen werden, um Gleitschneebewegungen zu reduzieren. Verbleibende grüne Äste können dafür sorgen, dass die hohen Stöcke einige Jahre länger leben und die Schneedecke stabilisieren können. Äste können sich manchmal jedoch auch aufrichten und eine neue Krone bilden, welche den Rottenrand wieder bedrängen kann. Dies geschieht an kleineren Bäumen, welche unterhalb des Fällschnittes auch tatsächlich noch grüne Äste haben. Es ist im Einzelfall und unter Einbezug der nachfolgend erwähnten Risiken abzuwägen, wie die Stöcke bearbeitet werden sollen.

Risiken: Bei späten Eingriffen sind die anfallende Holzmenge und damit der Aufwand grösser. Zudem kann das liegende Holz die Entwicklung von Borkenkäfer (Buchdrucker und Kupferstecher) begünstigen. Wenn der Eingriff im Spätsommer erfolgt, ist das Risiko für einen Käferbefall geringer. Bei hohem Käferrisiko kann mit der Säge auch die Rinde der Stöcke gestreifelt werden. Verschiedene Praktiker empfehlen das Zersägen stärkerer Bäume, damit sie schneller austrocknen. Zu diesen Fragen sollten vermehrt Erfahrungen aus der Praxis gesammelt werden.

Weiteres Vorgehen /Folgeeingriffe: Die Ausformung der Rotten erfolgt grundsätzlich mit einer einzigen Massnahme. Durch weitere Eingriffe würden ja die grünen Ränder wieder beeinträchtigt. Ein besonderes Vorgehen kann an sehr steilen Hängen zweckmässig sein, wenn das Öffnen der Gasse in einem einzigen Eingriff als zu risikoreich erachtet wird. In solchen Situationen kann in der Gasse ein Mittelstreifen belassen werden, der zu einem späteren Zeitpunkt entfernt werden muss.

Im Idealfall kann der Eingriff zur Schaffung der ersten Verjüngungsöffnungen erfolgen, wenn die anfallenden Sortimente einen Beitrag zur Kostendeckung erbringen.

Im Verlaufe der Zeit können sich in den Gassen andere Baumarten einstellen, die man fördern sollte, auch wenn das punktuell zu Lücken im Rottenmantel führen kann.

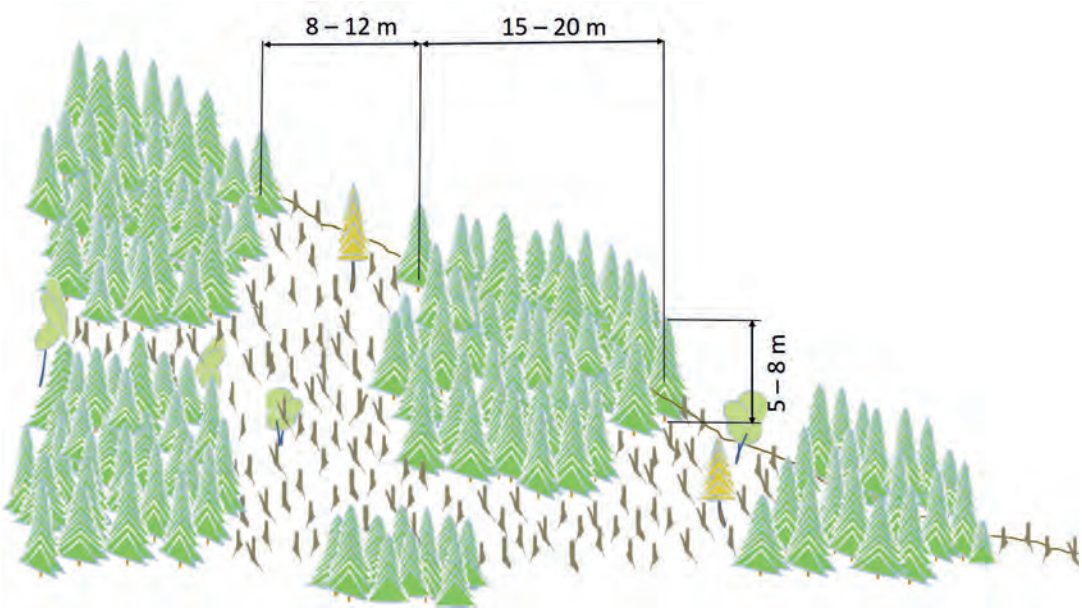

*Abb. 3/4a: **Zustand nach der Rottenpflege**. Zur Reduktion der Schneebewegungen werden hohe Stöcke belassen. In den Gassen bleiben nur vereinzelt Bäume stehen, die aus Sicht der Mischung von Bedeutung sind (z.B. Lärchen und Vogelbeeren).*

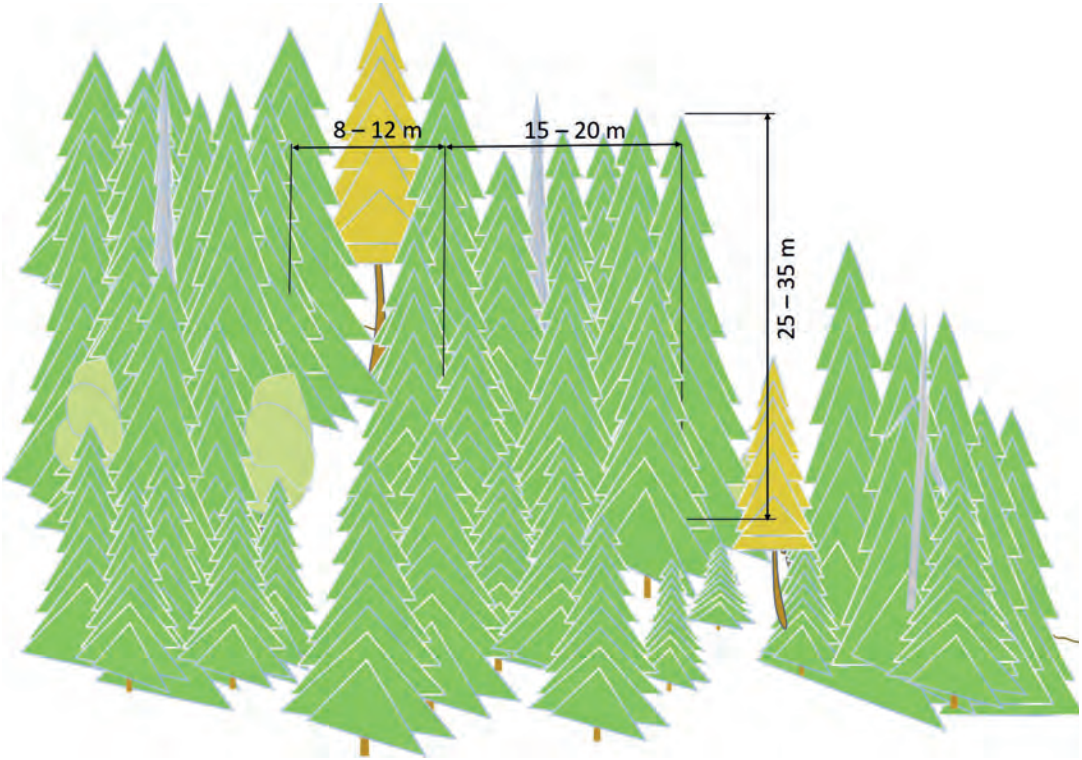

*Abb. 3/4b: **Zustand vor dem ersten Eingriff zur Verjüngung**. Durch das Wachstum der Bäume sind die Gassen nur noch schwach erkennbar. Die grünen Ränder der Rotten sind jedoch noch vorhanden. Auch die Lärchen in den Gassen konnten sich behaupten. Innerhalb der Rotten sind durch die Konkurrenz Bäume abgestorben. Die Rotte als Ganzes ist jedoch stabil. Die Rotte rechts im Bild wird zur Verjüngung in der Folge als Ganzes entnommen.*

*Abb. 3/4c: **Zustand nach dem ersten Eingriff zur Verjüngung**. Die Rotte rechts im Bild wurde als Ganzes entfernt.*

*Abb. 3/4d: **Zustand nach dem zweiten Eingriff zur Verjüngung**. Rechts im Bild wurde beim ersten Eingriff eine Rotte entnommen. Seither haben sich bereits Verjüngungsansätze eingestellt, die zu einer neuen Rotte heranwachsen können. Links oben wurde bei einem zweiten Eingriff eine weitere Rotte entnommen. Für die Verjüngung wurde Totholz zurückgelassen. Obwohl in den verbleibenden Rotten weitere Bäume abgestorben sind, sind sie insgesamt immer noch stabil. Langsam nähert sich der Zustand dem langfristigen Waldbauziel.*

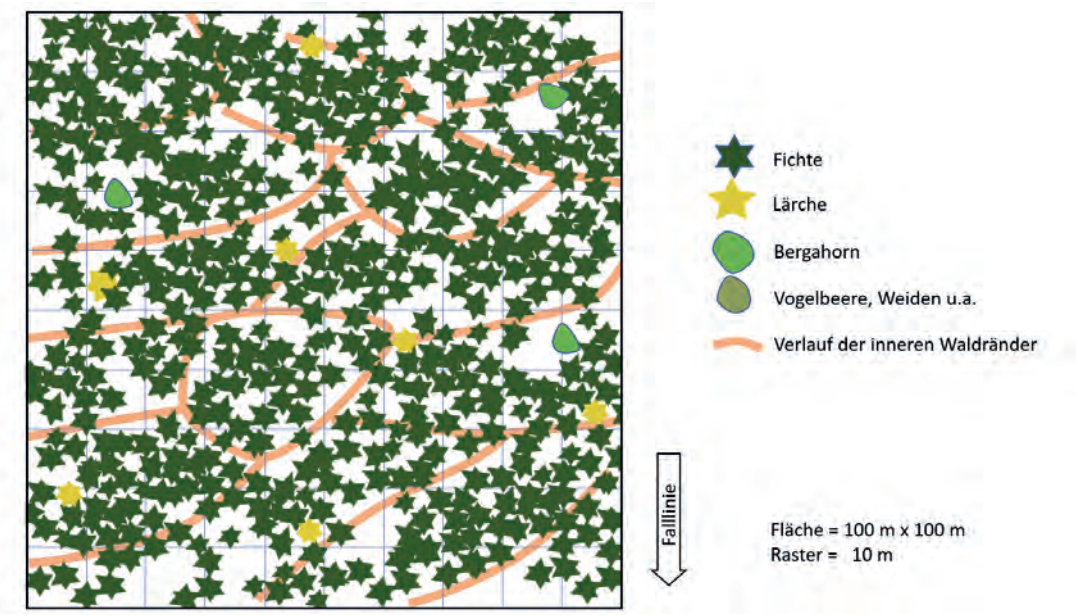

*Abb. 3/5a: **Unbehandelter Jungwald**. Die Dichte der Verjüngung variert je nach Kleinstandort. Die Markierung der Gassen für die Rottenpflege folgt so weit als möglich den natürlichen Lücken. Die Rotten sollen jedoch eine längliche Ausrichtung schräg zum Hang aufweisen.*

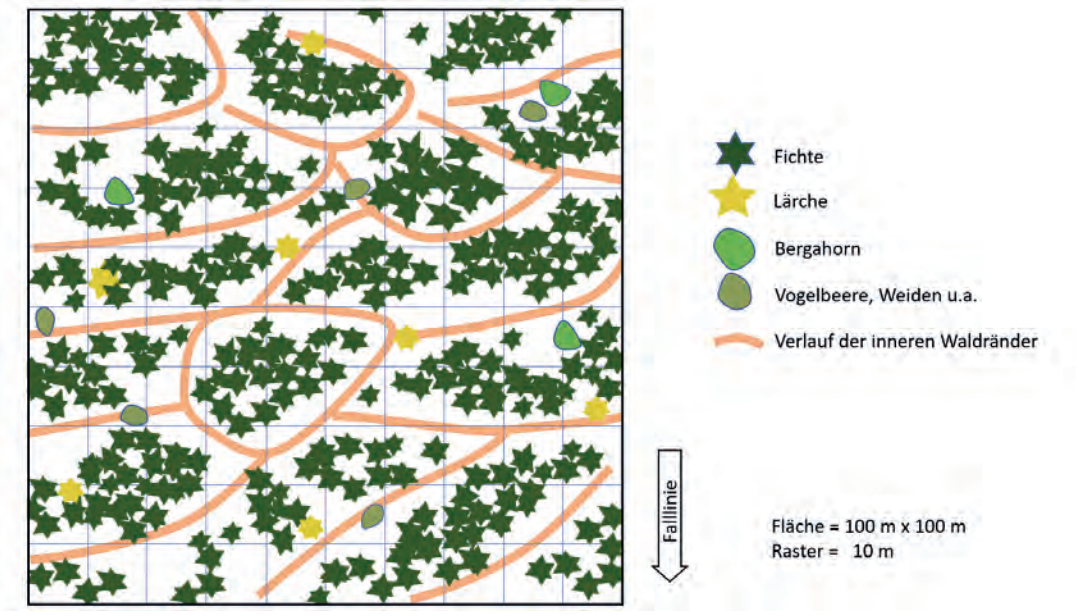

*Abb. 3/5b: **Zustand nach der Rottenpflege**. Lärchen und Laubbäume bleiben in den Gassen erhalten. Dieser Zustand entspricht der Abb. 3/4a.*

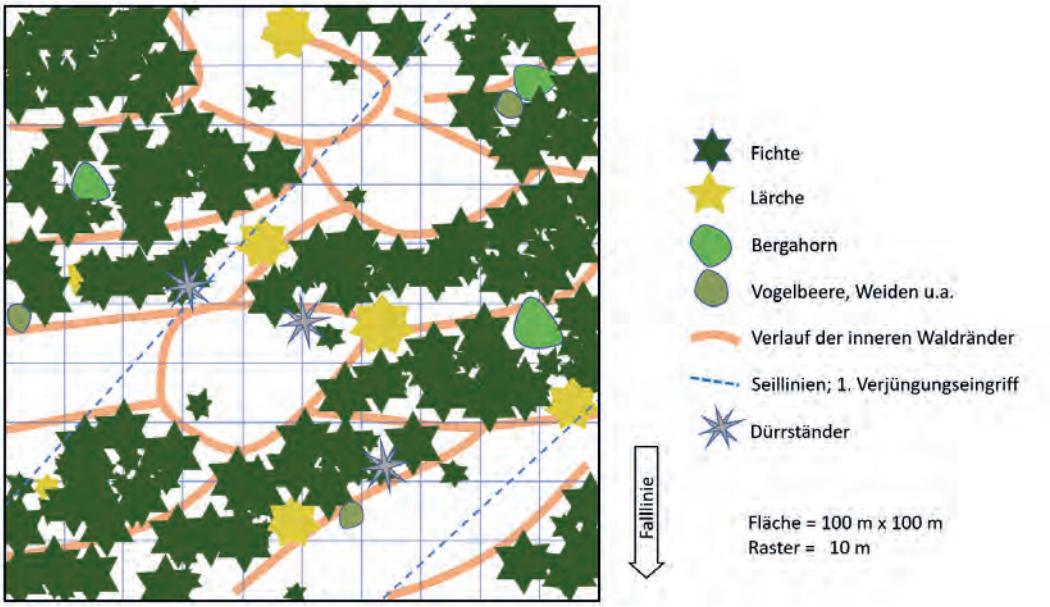

Abb. 3/5c: ***Zustand nach dem ersten Eingriff zur Verjüngung****. Einzelne Rotten entlang der Seillinie wurden entfernt. Die Rottenränder bleiben soweit als möglich unberührt.*

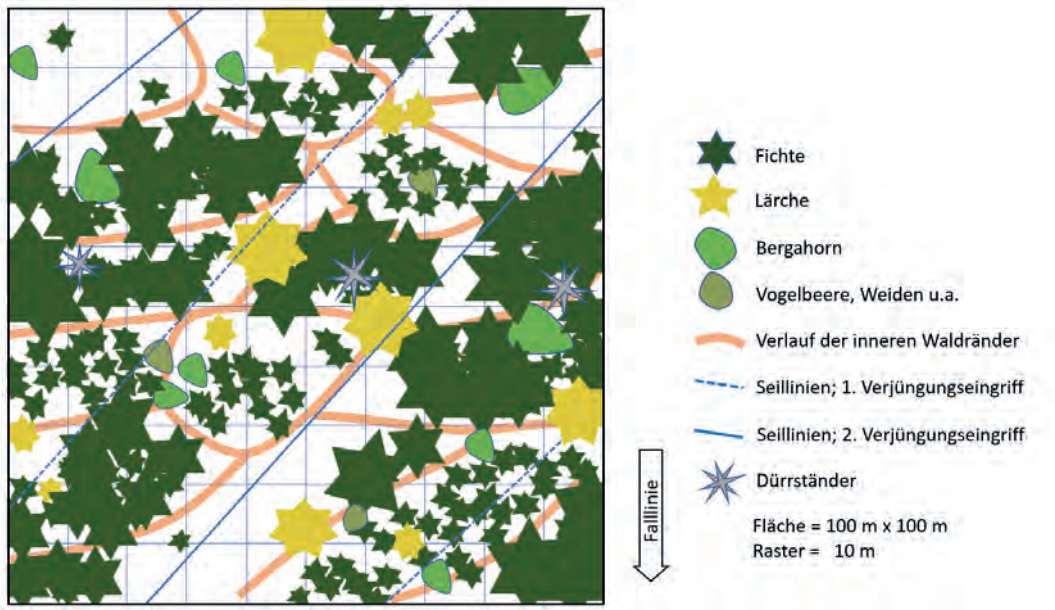

Abb. 3/5d: ***Zustand nach dem Zweiten Eingriff zur Verjüngung****. In den Öffnungen des ersten Eingriffs haben sich gesicherte Verjüngungsansätze entwickelt Damit konnte der zweite Eingriff ohne besondere Risiken vorgenommen werden. Die Ränder der verbleibenden Rotten sind immer noch erkennbar. Einzelne stabile Lärchen und Laubbäume sind vorhanden. Der Zustand entspricht der Abb. 3/4d.*

3.3.3 Rottenpflege in der hochmontanen Stufe

Mit der Rottenpflege wird in der subalpinen Stufe ein natürliches Strukturelement aufgenommen und gezielt gefördert. In den Nadelwäldern der hochmontanen Stufe sind jedoch die selektive Wirkung des Kleinstandortes und die Altersdifferenzierung zwischen den Verjüngungsansätzen nicht mehr so ausgeprägt wie in der subalpinen Stufe und deshalb ist auch selten eine natürliche Rottenstruktur vorhanden. Rottenähnliche Kollektive können in kleinen Bestandeslücken entstehen, wobei die Kegelform vor allem durch den Einfluss des umgebenden Bestandes geprägt wird.

Aufgrund der positiven Erfahrungen mit der Rottenpflege im subalpinen Fichtenwald stellt sich die Frage, wo es zweckmässig und notwendig ist, in den jungen Nadelholzbeständen auf den wüchsigeren hochmontanen Standorten analog zur subalpinen Stufe Rotten auszuformen. Das ist vor allem für die fichtendominierten Wälder der kontinentalen Hochalpen und andere mehr oder weniger reinen Fichtenbestände mit wichtiger Schutzfunktion zu empfehlen. Auch an sehr steilen Hängen, an denen die Schutzwirkung sehr wichtig ist, erleichtert die kleinflächige Rottenstruktur das Anlegen von Verjüngungsöffnungen. In den hochmontanen Wäldern, in denen neben der Fichte vermehrt andere Baumarten wie Tanne, Lärche oder auch Laubbäume auftreten und gefördert werden sollen, ist die eigentliche Ausformung von Rotten jedoch nicht mehr zweckmässig. Die Anforderungen an die Grösse und Ausrichtung der Öffnungen für eine erfolgreiche Verjüngung lassen zudem hochmontan mehr Spielraum offen als subalpin, so dass Rotten auch nicht mehr notwendig sind.

Abgesehen von den erwähnten Situationen besteht also keine Notwendigkeit, in den jungen Beständen der hochmontanen Stufe eine Rottenstruktur auszuformen. Wenn die durch baumfeindliche Kleinstandorte verursachte natürliche Strukturierung fehlt, kann das auch sehr aufwändig werden. In der Praxis wurden deshalb häufig grössere Einheiten ausgeformt. Daraus entstehen jedoch keine eigentlichen Rotten, sondern Bestandesteile, die sich durch ihren äusseren Kronenmantel voneinander abgrenzen. Die Randbäume wachsen den Bäumen im Inneren voraus, und im Innenbereich ist die Konkurrenz ohne Eingriffe sehr gross (Fillbrandt, 2000). Deshalb sollten die Rotten auch hochmontan nicht wesentlich grösser ausgeformt werden als in der subalpinen Stufe. Allenfalls andere auftretende Baumarten haben ohne weitere Eingriffe oft keine Chance. Wenn nun aber im Innern der Kollektive ohnehin mit einem Eingriff gerechnet werden muss, können diese auch noch etwas grösser ausgeformt werden. Der Begriff «Rotte» ist dafür aber nicht mehr zutreffend, man kann dabei eher von einer «Kammerung» der Bestände sprechen (siehe nachfolgendes Kapitel).

3.4 Die Kammerung von Beständen

3.4.1 Sinn und Zweck der Kammerung

Damit auch in den hochmontanen Wäldern, die keine natürliche Rottenstruktur aufweisen, das Waldbauziel einer ungleichaltrigen Struktur langfristig erreicht werden kann, muss das Vorgehen den veränderten Voraussetzungen angepasst werden. Es muss möglich sein, bereits im jungen Baumholz mit ersten Auflichtungen und Öffnungen unterschiedlicher Grösse die vorzeitige Verjüngung einzuleiten, ohne dabei den verbleibenden Bestand zu gefährden.

Abb. 3/6: Im oberen, nadelholzreichen Teil des Bestandes wurden Gassen geöffnet um «Kammern» auszuformen. Im unteren laubholzdominierten Teil wurden lediglich einige Z-Bäume gefördert.

Stabilität: Zur Einleitung der Verjüngung braucht es stabile innere Bestandesränder, damit beim Eingriff möglichst wenige anfällige Steilränder entstehen. Innere Bestandesränder können mithilfe von Gassen geschaffen werden, welche geschlossene Teilflächen an geeigneten Stellen unterbrechen (Abb. 3/6 und 3/7). Dabei entstehen unregelmässig geformte Kollektive von bis zu ¼ ha Ausdehnung. Die Anordnung und der Verlauf der Gassen sind je nach vorhandener Struktur und Laubholzanteil viel variabler als bei der Rottenpflege. Die Förderung von Einzelbäumen und Kleinkollektiven anderer Baumarten als Fichte wird vermehrt in das Vorgehen integriert. Je nach Bedarf und in Abhängigkeit der Grösse und Form der Kollektive werden in deren Inneren zusätzlich gezielt wenige Einzelbäume oder Kleinkollektive gefördert.

Hohe Lebenserwartung: Damit das Ziel einer ungleichförmigen Struktur erreicht wird, muss der Überführungszeitraum möglichst lang sein. Das bedeutet, dass einzelne Bestandesteile bis zum Ende dieses Zeitraumes, der je nach Standort 150 bis 200 Jahre dauern kann, überleben müssen. Dazu ist es wichtig, dass die grünen Kronenränder der Kollektive und die Stabilität der geförderten Bäume oder Kleinkollektive langfristig erhalten bleiben.

Gestaffelte Verjüngung: Im Unterschied zu den Rotten werden bei der Verjüngung in der Regel nicht ganze Kammern entnommen, sondern für Verjüngungsöffnungen nur Teile davon entfernt. Dabei helfen natürliche Strukturelemente oder die Stabilitätsträger im Inneren der Kollektive, stabile Ränder an den Öffnungen zu belassen.

Mit der Verjüngung sollte vorzeitig begonnen werden, sobald sich der verbleibende Bestand von der nachfolgenden Verjüngung abheben kann und damit zur vertikalen Struktur beiträgt.

Abb. 3/7: Naturverjüngung nach Vivian. In einem fichtendominierten Bestandesteil wurden in einer Gasse zur langfristigen Sicherung der grünen inneren Ränder alle Fichten entfernt. Andere Baumarten wurden in den Gassen belassen.

Annäherung an das langfristige Waldbauziel: In den nadelholzreicheren Wäldern der hochmontanen Stufe muss aufgrund des Klimawandels mit drastischen Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung gerechnet werden, besonders rasch nach flächigen Störungen. Die Gruppenplenterung bietet die Möglichkeit, bei jedem Eingriff zur Verjüngung die Baumartenmischung durch ergänzende Pflanzungen zu steuern. Die Kammerung bietet dafür mehr Flexibilität als die Rottenstruktur.

Pflegemethode: Das hier beschriebene Vorgehen wird in Anlehnung an die Kammerung eines Schiffsrumpfs als Massnahme zur Risikoverteilung so bezeichnet. Der Begriff wurde schon von Zeller (1996) verwendet, allerdings als Notmassnahme für Bestände, die bereits instabil sind. Die Unterteilung des Bestandes in Kammern soll dabei verhindern, dass bei Schadenereignissen ein Dominoeffekt entsteht.

Vergleich der Rottenpflege mit der Kammerung:

Rottenpflege	**Kammerung**
• Anwendung hauptsächlich in der **subalpinen Stufe** • Grösse der Rotten bis zu **5 a**, möglichst viele Bäume sollen am äusseren Rand beteiligt sein • **Längliche Form** (15-20 m breit) - auf spätere Verjüngungsöffnungen ausgerichtet • Gassenbreite mind. 8 bis 12 m, horizontal gemessen	• Anwendung hauptsächlich in der **hochmontanen Stufe** • Grösse der Kammern bis zu **0.25 ha**, angestrebt werden grüne Ränder zur Unterbrechung homogener Strukturen • **Flexible Form** – angepasst an die Verteilung der Bäume • Gassenbreite mind. 10 bis 15 m, horizontal gemessen. Die Gassen umschliessen oft nicht die ganze Kammer

• Im Innern der Rotten wird i.d.R. nicht eingegriffen • Für die Verjüngung werden Rotten möglichst als Ganzes entfernt	• Im Innern werden bei Bedarf weitere Bäume gefördert (Stabilitätsträger, Mischbaumarten) • Die Verjüngungsöffnungen werden flexibel gestaltet unter Beachtung grüner Ränder und der Stabilitätsträger

Abb. 3/8 zeigt ein Baumholz, welches aus einer Aufforstung hervorgegangen ist. Es wurden nie Eingriffe zur Förderung der horizontalen Struktur ausgeführt, so dass heute kaum innere Bestandesränder zu finden sind, die für die Schaffung kleinflächiger Verjüngungsöffnungen genutzt werden könnten. Mit einer frühzeitigen Gliederung der Jungwaldfläche hätte dies verhindert werden und eine gute Ausgangslage für die Überführung in horizontal und vertikal strukturierte Bestände geschaffen werden können.

Abb. 3/8: Aufforstungsbestand ohne Kammerung. Die kleinflächige Verjüngung ist wegen fehlender innerer Ränder erschwert und sehr riskant.

3.4.2 Gestaltung der Kammerung

Ziel: Ähnlich wie bei der «Rottenpflege» in der subalpinen Stufe, geht es auch bei der «Kammerung» in der hochmontanen Stufe darum, günstige Voraussetzungen für die späteren Eingriffe zur Verjüngung zu schaffen. Die Methode kann auch in fichtenreichen Beständen der obermontanen Stufe angewendet werden. Durch das Anlegen von Gassen wird die horizontale Struktur von homogenen Beständen unterbrochen. Damit werden bereits im Jungwald innere Ränder geschaffen, die auch im Baumholzalter noch grüne Kronen aufweisen und für Verjüngungsöffnungen genutzt werden können (Abb. 3/10 und 3/11).

Grösse und Form der Kammern: Die Ausformung der Kammern richtet sich nach dem Gelände und den bereits vorhandenen Strukturelementen (z.B. Kuppen, Runsen, Blössen). Grössere Fichten-

(oder Tannen-) Partien werden durch Gassen unterbrochen. Die Grösse der Kammern ist variabel (bis zu 25 Aren), im Allgemeinen aber grösser als die Rotten in der subalpinen Stufe. Die Kammern sind oft nicht rundherum durch Gassen voneinander abgegrenzt, sondern je nachdem auch durch laubholzdominierte Partien oder natürlicherweise lückige Strukturen (Abb. 3/11b). Je stärker die Fichte dominiert, bzw. je weniger andere Baumarten gefördert werden, und je wichtiger die Schutzwirkung ist (insbesondere an steilen Hängen), desto kleiner sollten die Kammern tendenziell sein. Der Übergang zur Rottenpflege ist somit fliessend. Die Gassen sollten vorwiegend hangparallel oder diagonal angelegt werden, so dass in Hangrichtung keine langen Öffnungen entstehen. Die Kammern erhalten so ebenfalls eine längliche hangparallel ausgerichtete Form. Je steiler der Hang, desto schmaler müssen die Kollektive in Hangrichtung sein. Bei der Verjüngung wird auf diese Weise die Einhaltung der Anforderungen nach Nais erleichtert.

Breite der Gassen: Es gelten die gleichen Überlegungen wie bei den Rotten: mindestens doppelte Astausladung ausgewachsener Bäume. Da die Kammerung eher auf wüchsigeren Standorten praktiziert wird, betragen die Abstände von Stamm zu Stamm mindestens 10 -15 m (Abb.3/9).

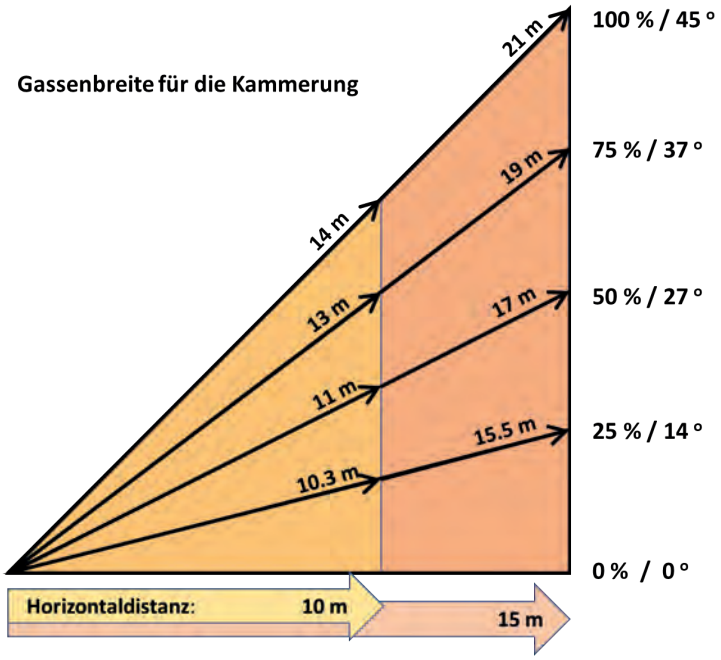

Abb. 3/9: Umrechnung von Horizontaldistanzen bei der Kammerung auf Schrägdistanzen für unterschiedliche Hangneigungen. (Zahlen gerundet)

Eingriffe im Innern der Kammern: Kammern sind grösser als Rotten, so dass viele Bäume nicht am Kronenrand beteiligt sind. Für die Gesamtstabilität und um Optionen für zukünftige Verjüngungsöffnungen zu schaffen, kann es deshalb notwendig werden, im Inneren der Kammern einzelne Stabilitätsträger zu fördern. Stabilitätsträger können sowohl Einzelbäume als auch Kleinkollektive (2-6 Bäume) sein. Ein weiterer wichtiger Grund für den Eingriff im Innern der Kammern ist die Sicherung wichtiger Mischbaumarten. Da der Kronenrand der Kammern ein wesentliches stabilisierendes Element ist, braucht es im Innern der Kollektive nur wenige zusätzliche Stabilitätsträger. Die hier erwähnte Möglichkeit zur Förderung ausgewählter Bäume orientiert sich an der Z-Baum-Pflege, wobei auch aufgrund des Gassenanteils generell eine deutlich geringere Anzahl Z-Bäume gefördert werden sollte als die maximal 60 Z-Bäume/ha bei der Z-Baumpflege im Schutzwald (vergl. Kap. 3.5).

Behandlung der Gassen: In den Gassen (und anderen Zwischenräumen) können andere Baumarten als Fichte belassen und gefördert werden. Strukturierende Elemente wie Pionierbaumarten oder

auch vorwüchsige «Protzen» sollen nicht entfernt werden. Einzelne Laubbäume in den Gassen gefährden den grünen Rand der Nadelbäume nicht.

Zeitpunkt des Eingriffs: Der Zeitpunkt muss durch die Beobachtung der Einzelfläche ermittelt werden. Solange die natürliche Entwicklung zielkonform verläuft, braucht es keine Massnahmen. Keinesfalls sollte man sich durch die Konkurrenz von Weiden oder Vogelbeeren und anderen Pioniergehölzen zu einem verfrühten Eingriff verleiten lassen. Sie tragen wesentlich zur erwünschten Strukturierung bei. Zu beachten ist hingegen die Konkurrenzierung der erwünschten Baumarten durch konkurrenzstarke Baumarten wie die Fichte. Wenn das Risiko besteht, dass in einer gegebenen Situation eine erwünschte Baumart verdrängt wird, kann dies durch einen punktuellen Eingriff vor der eigentlichen Kammerung verhindert werden (z.B. gezielte Freistellung der stärksten Lärchen eines Bestandes).

Der Eingriff zur Ausformung der Kammern sollte erfolgen, bevor der Kronenansatz höher als 2 m über Boden steigt. Analog zur Rottenpflege darf der Eingriff aber erst erfolgen, wenn der Jungwald durch Schneebewegungen nicht mehr gefährdet ist, und wenn er schutzwirksam ist. Das ist in der Regel der Fall, wenn die dominierenden Bäumchen eines Kollektivs eine Höhe von 5 bis 8 m bzw. einen BHD von 8 bis 12 cm erreicht haben. Bei späten Eingriffen muss mit mehr Aufwand für das Fällen und Zersägen der Bäume sowie mit einem höheren Befallsrisiko durch Borkenkäfer gerechnet werden.

Eine Kammerung ist nur zweckmässig, solange der Kronenmantel noch mind. 2/3 der zu erwartenden Baumlänge erreichen kann. Wenn das zweifelhaft erscheint, muss abgewogen werden, ob bereits erste Verjüngungsöffnungen angelegt werden sollen. Denkbar ist auch eine Kombination von beidem. Falls eine Kronenlänge von 2/3 nicht mehr erwartet werden kann, sollten, gestützt auf die noch auffindbaren inneren Ränder, direkt die ersten Verjüngungsöffnungen angelegt werden.

Die Z-Bäume innerhalb der Kammern können gleichzeitig mit dem Anlegen der Gassen gefördert werden oder je nach Zielsetzung und Bestandesentwicklung auch früher oder später. So ist beispielsweise ein Eingriff zugunsten von Lichtbaumarten wie der Lärche eventuell schon vor der Kammerung sinnvoll. Für gewisse Z-Bäume werden zudem – je nach Bestandesentwicklung und Zeitpunkt des Beginns der Verjüngungseinleitung – mehrere Eingriffe nötig sein. In anderen Fällen kann auf das Fördern von Z-Bäumen innerhalb der Kammern verzichtet werden.

Klimawandel: Unter dem Einfluss des Klimawandels werden sich in der hochmontanen Stufe vermehrt Laubbaumarten einstellen. Diese müssen unbedingt in ausreichendem Mass erhalten bleiben. Nach grösseren Störungen kann der Wechsel von nadelholzdominierten zu laubholzreichen Beständen auch sehr schnell erfolgen.

Risiken: In der hochmontanen Stufe ist das Risiko für Borkenkäferepidemien allgemein grösser als in der subalpinen Stufe. Bei grösseren Mengen an anfallendem Fichtenholz muss mit Borkenkäferbefall (Buchdrucker und Kupferstecher) gerechnet werden. Wenn der Eingriff im Spätsommer erfolgt, ist das Befallsrisiko geringer. Viele Praktiker empfehlen zudem, stärkere Bäume zu zersägen, damit sie schneller austrocknen.

Weiteres Vorgehen / Folgeeingriffe: Die Ausformung der Kammern ist wie bei der Rottenpflege ein einmaliger Eingriff. Die grünen Ränder bleiben bei ausreichender Gassenbreite langfristig erhalten. Hingegen ist es wahrscheinlich, dass die Z-Bäume wiederholt begünstigt werden müssen.

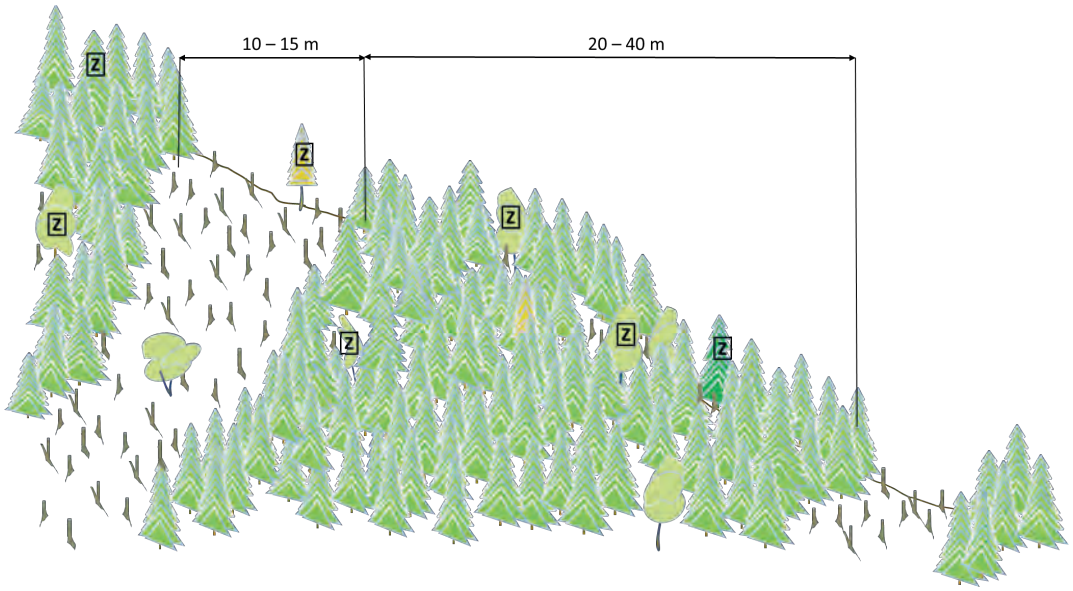

*Abb. 3/10a**: Zustand nach dem Pflegeeingriff**. Zum Schutz vor Schneebewegungen werden in den Gassen hohe Stöcke belassen. Je nach Bedarf werden im Innern der Kammern einzelne Z-Bäume gefördert, vor allem Lärchen, Tannen und Laubbäume.*

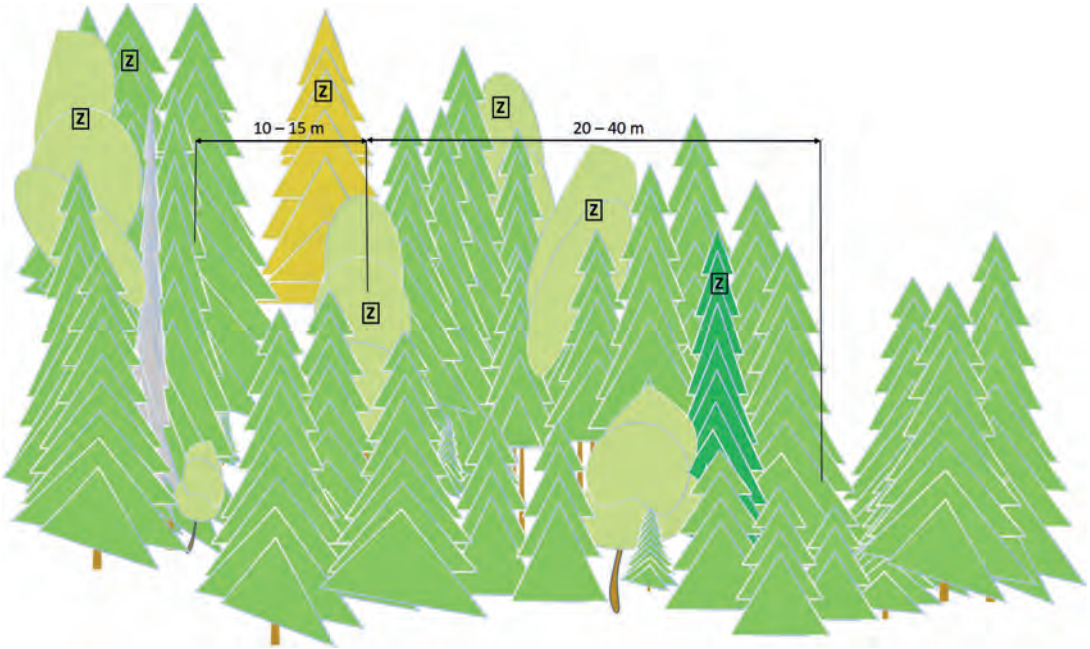

*Abb. 3/10b: **Zustand vor dem ersten Eingriff zur Verjüngung**. Durch das Wachstum der Bäume sind die Gassen nur noch schwach erkennbar. Die grünen Ränder der Kammern sind jedoch noch vorhanden. Auch die Z-Bäume können sich behaupten.*

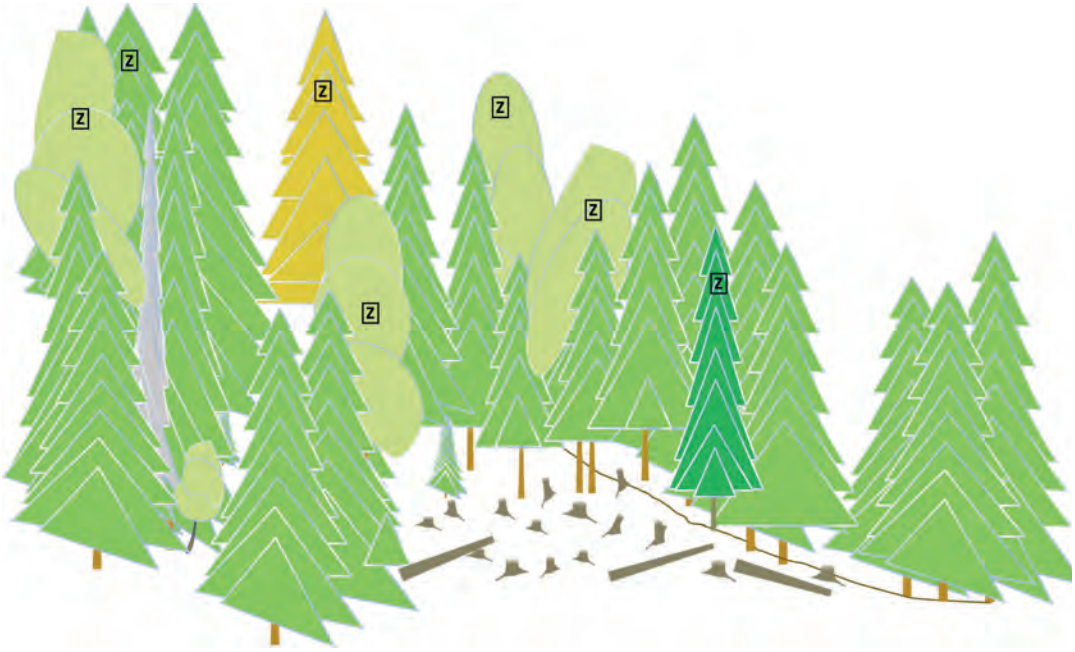

*Abb. 3/10c: **Zustand nach dem ersten Eingriff zur Verjüngung**. Im Vordergrund wurde eine Gruppe von Bäumen zur Einleitung der Verjüngung entfernt. Grüne Ränder und Z-Bäume blieben weitgehend erhalten. Am Öffnungsrand gibt es nur wenige Bäume mit einer vrekürzten Krone.*

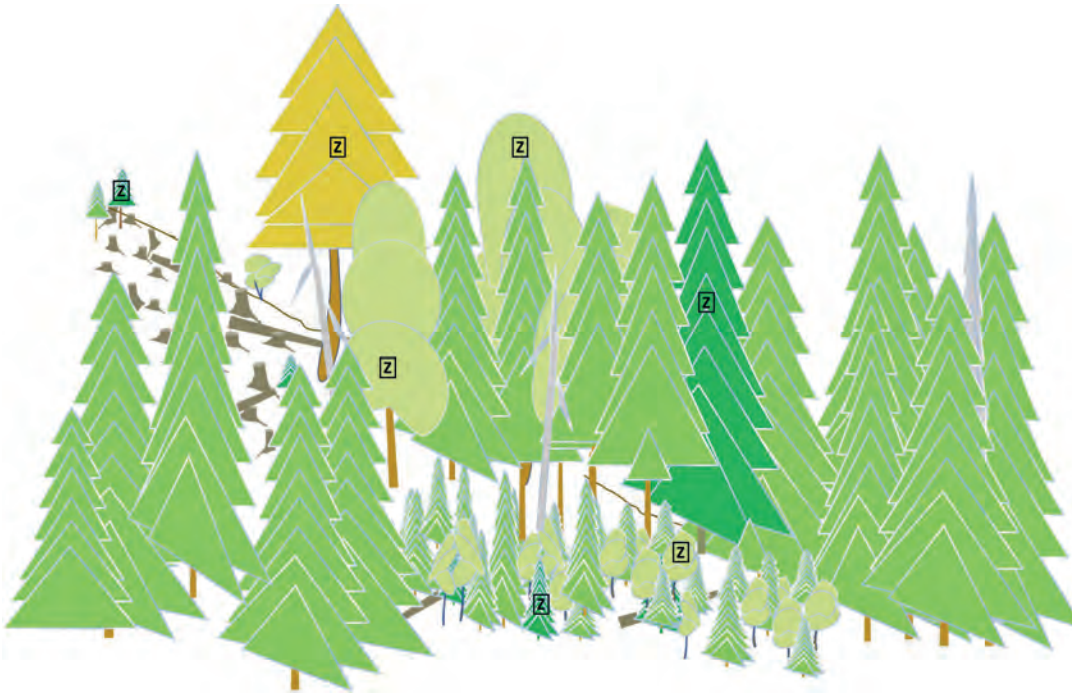

*Abb. 3/10d: **Zustand nach dem zweiten Eingriff zur Verjüngung**. In der Öffnung im Vordergrund hat sich bereits Verjüngung eingestellt. Durch punktuelle Eingriffe können hier Einzelbäume oder Kleinkollektive gefördert werden. Beim zweiten Eingriff wurde entlang der Gasse mit der Lärche ein Teil einer Kammer entfernt. Für die Verjüngung wurde Totholz zurück gelassen. Ein Teil der ursprünglichen Kammerränder ist immer noch vorhanden und erleichtert den weiteren Verjüngungsfortschritt. Der Zustand nähert sich langsam dem langfristigen Waldbauziel.*

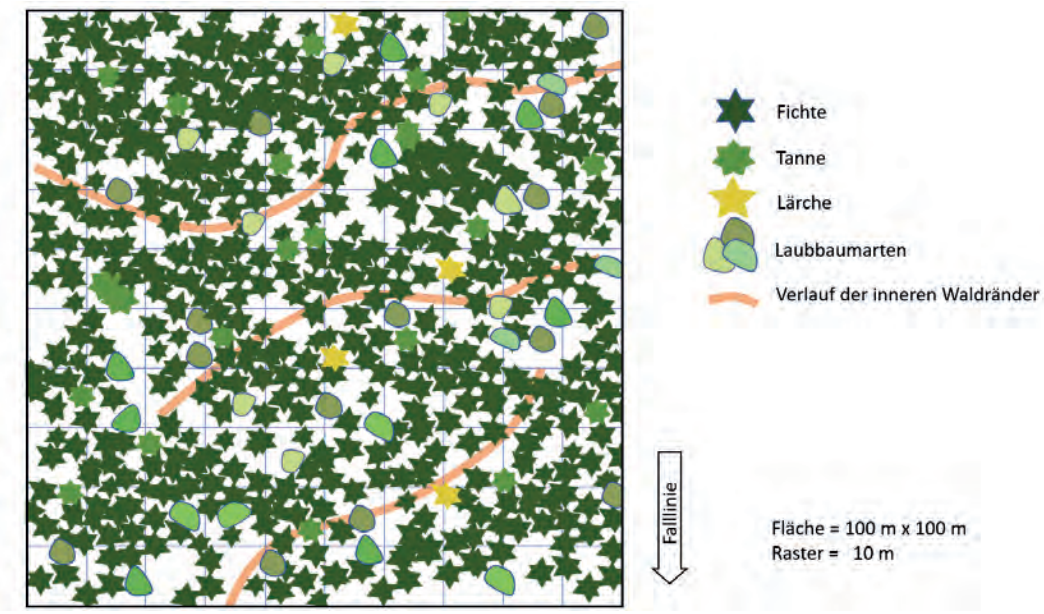

Abb. 3/11a: ***Unbehandelter Jungwald****. Die Dichte des Jungwaldesist unregelmässig. Die Markierung der Gassen für die Kammerung folgt so weit als möglich den natürlichen Lücken. Anzahl und Anordnung der Gassen sind flexibler als bei den Rotten.*

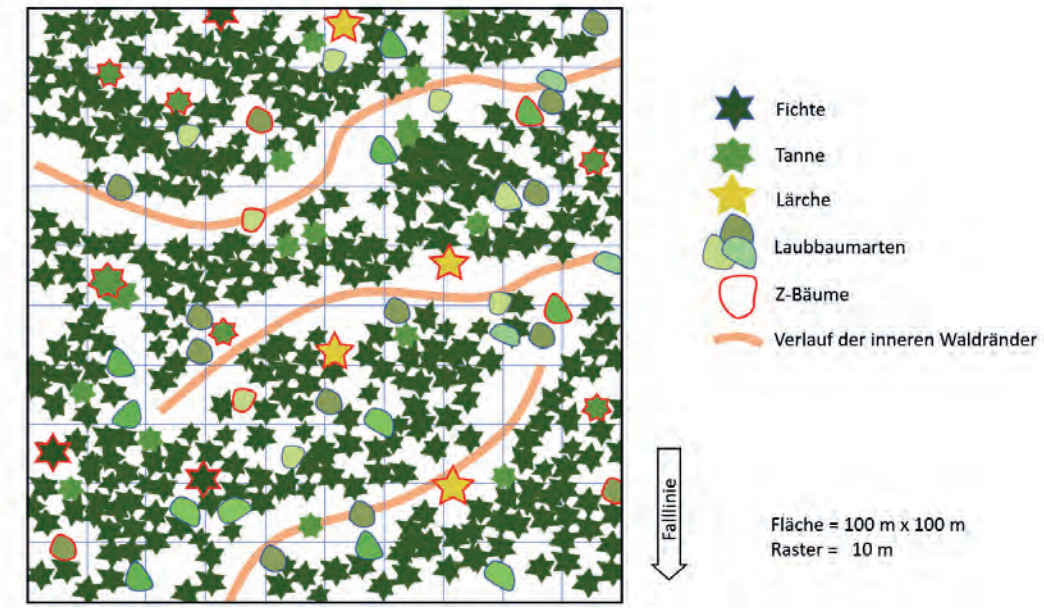

Abb. 3/11b: ***Zustand nach dem Pflegeeingriff****. Die Kammern wurden ausgeformt und innerhalb der Kammern wurden wenige ausgewählte Z-Bäume gefördert. Analog zur Rottenpflege bleiben in den Gassen erwünschte Baumarten stehen. Dieser Zustand entspricht der Abb. 3/10a.*

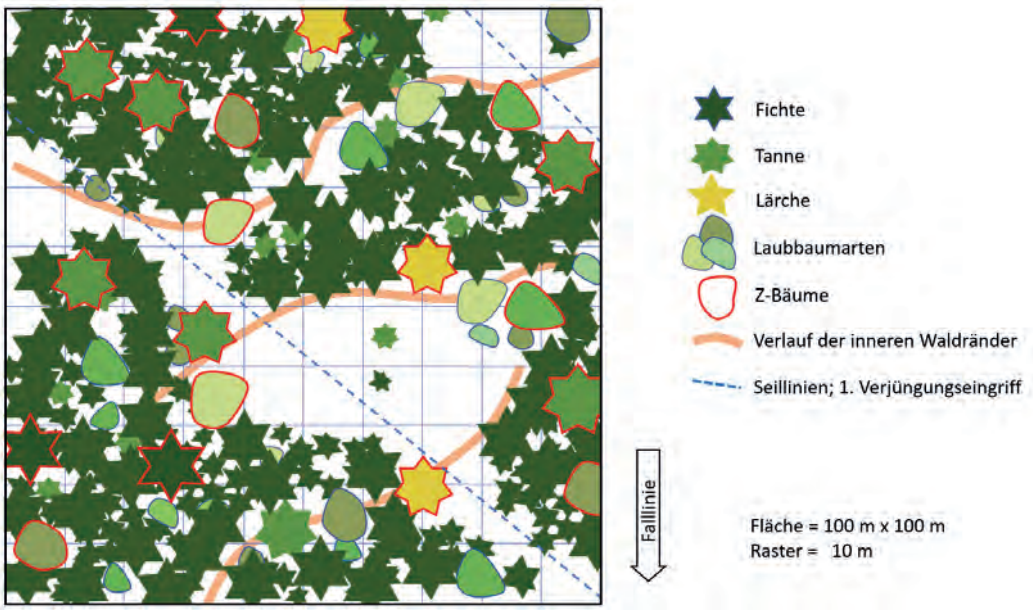

Abb. 3/11c: ***Zustand nach dem ersten Eingriff zur Verjüngung****. Im Gegensatz zur Rottenpflege wurden nicht ganze Kammern entfernt. Entlang der Seillinie werden Verjüngungsöffnungen so angelegt, dass möglichst viele innere Waldränder unberührt bleiben. Bei Bedarf können einzelne Z-Bäume wiederholt gefördert werden.*

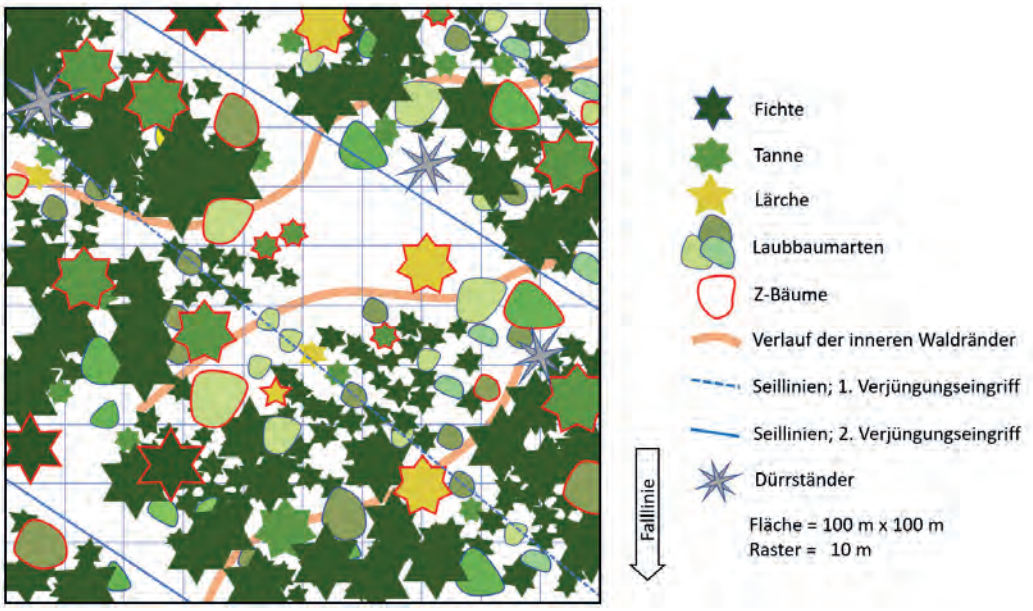

Abb. 3/11d: ***Zustand nach dem zweiten Eingriff zur Verjüngung****. In den Öffnungen des ersten Eingriffs ist gesicherte Verjüngung vorhanden. Damit konnte der zweite Eingriff ohne besondere Risiken vorgenommen werden. Die Ränder der verbleibenden Kammerteile sind immer noch erkennbar. Die Z-Bäume dominieren und sind vital. Innerhalb der Jungwaldgruppen können durch punktuelle Eingriffe Einzelbäume oder Kleinkollektive gefördert werden. Der Zustand entspricht der Abb. 3/10d.*

3.5 Die Z-Baum-Pflege

3.5.1 Die Überführung von grösseren Jungwaldflächen

Im Schutzwald besteht die Zielsetzung fast immer darin, eine gruppenweise ungleichaltrige Struktur zu erreichen. Im Laubwald haben Kollektive jedoch nicht mehr dieselbe Bedeutung wie in Nadelwäldern. Sie werden abgelöst durch Einzelbäume und allenfalls Kleinkollektive (2 bis 6 Bäume). Grössere Jungwaldbestände können durch frühzeitige kleinflächige Verjüngungseingriffe etappenweise in eine ungleichaltrige Struktur überführt werden. Im Folgenden geht es darum darzulegen, wie ein junger Laubwaldbestand auf diese Überführung vorbereitet werden kann.

Stabilität: Für die mechanische Stabilität des Bestandes braucht es ein Gerüst aus Stabilitätsträgern (Einzelbäume, allenfalls Kleinkollektive). Die Stabilitätsträger sichern dabei die Stabilität des verbleibenden Bestandes während des Überführungszeitraumes, insbesondere wenn sie an Rändern von Verjüngungsöffnungen stehen.

Hohe Lebenserwartung: Je höher die Lebenserwartung der Stabilitätsträger ist, umso länger ist der verfügbare Überführungszeitraum bzw. umso grösser ist die altersmässige Differenzierung des zukünftigen Bestandes. Konkret muss dieser Zeitraum an die Wuchsverhältnisse und die dominierenden Baumarten angepasst werden. Dabei soll gegebenenfalls auch das wirtschaftliche Interesse an der Holzproduktion berücksichtigt werden.

Gestaffelte Verjüngung: Die Verjüngung erfolgt durch Öffnungen in Gruppengrösse. Die Platzierung der Öffnungen orientiert sich am Gerüst der Stabilitätsträger und an bestehenden Lücken und inneren Waldrändern, damit der verbleibende Bestand durch die Öffnungen möglichst wenig destabilisiert wird. Kleine Lücken (z.B. aufgrund Schneedruck) und Elemente wie Pioniergehölze sind dabei sehr wertvoll, da sie Ansatzstellen für die Bildung stabiler Ränder bieten. Im Hinblick auf die erwünschte Struktur erfolgt die Verjüngung gestaffelt durch drei bis vier Eingriffe in zeitlichen Abständen, die zu deutlichen Strukturunterschieden führen (oft 20 bis 30 Jahre). Mit der Verjüngung muss daher frühzeitig begonnen werden, weil mehrere Verjüngungseingriffe stattfinden sollen, bevor die Stabilitätsträger deutlich an Stabilität verlieren.

Annäherung an das langfristige Waldbauziel: Wenn die Verjüngung zu schnell fortschreitet, kann sich die erwünschte Struktur nicht ausbilden. Wird mit der Verjüngung zu spät begonnen, wird der verfügbare Verjüngungszeitraum zu kurz. Die konkreten Zeiträume müssen dabei den örtlichen Wuchsverhältnissen angepasst werden. Die räumliche Staffelung der Verjüngung erlaubt es, eine unterschiedliche Entwicklung der Stabilität der verbleibenden Stabilitätsträger zu berücksichtigen. Nur wenige Bestandesteile müssen bis zum Ende des Überführungsprozesses stabil bleiben. Die Eingriffe zur Verjüngung bieten zudem die Gelegenheit, die Baumartenmischung zu beeinflussen, insbesondere auch im Hinblick auf den Klimawandel. Gegebenenfalls müssen auch ergänzende Pflanzungen in Betracht gezogen werden.

Pflegemethode: Die Jungwaldpflege hat somit die Aufgabe, den Jungwald auf solche gestaffelte Verjüngungseingriffe für die schrittweise Annäherung an das langfristige Waldbauziel vorzubereiten. Dazu gehört einerseits das Sichern eines Netzes von Stabilitätsträgern, welche zumindest teilweise die langen Überführungszeiträume überdauern. Andererseits sollen eine langfristig zielkonforme Mischung erreicht und zumindest Samenbäume wichtiger zukunftsfähiger Baumarten gesichert werden. Dies geschieht im Schutzwald gemäss den NaiS-Anforderungsprofilen und generell unter Berücksich-

tigung des Klimawandels. Zur Förderung der Stabilitätsträger und von Bäumen zukunftsfähiger Mischbaumarten wird empfohlen, sich an der Z-Baum Methode zu orientieren und diese an die besonderen Verhältnisse im Schutzwald anzupassen.

3.5.2 Die Z-Baum-Pflege im Schutzwald

Die Z-Baum Methode wurde ursprünglich für den Wirtschaftswald entwickelt (Abetz, 1975 und Ammann, 2005). Im Wirtschaftswald besteht die Zielsetzung darin, die Holzproduktion zu optimieren, gestützt auf eine optimale Anzahl von Z-Bäumen, die möglichst rasch einen erwünschten Zieldurchmesser erreichen sollen (Ammann, 2014). Nach Erreichen des Zieldurchmessers, am Ende einer im Verhältnis zur natürlichen Lebenserwartung kurzen Umtriebszeit, werden die Bäume geerntet. Davor sind in mehreren Durchforstungseingriffen nach und nach sämtliche Bäume des Füllbestandes entfernt worden. Dies führt zwar vorerst zu einer ausgeprägten Höhen- und Durchmesserdifferenzierung, indem nur die vitalsten Bäume gefördert und im Füllbestand nicht eingegriffen wird. Bis zum Ende des Produktionszeitraumes entstehen jedoch homogene, stammzahlarme Bestände aus Z-Bäumen plus Nebenbestand. Bei der Endnutzung können im Wirtschaftswald dann auch je nach Zielsetzung entsprechend grössere Flächen geräumt werden.

Die Stabilitätsträger und die erwünschten Mischbaumarten können im Schutzwald grundsätzlich analog zu den Z-Bäumen im Wirtschaftswald ausgewählt und gefördert werden. Deshalb wird hierfür auch der Begriff Z-Baum-Pflege übernommen. Im Folgenden sollen die spezifischen Anforderungen an die Z-Bäume und die Massnahmen zu deren Förderung im Schutzwald dargestellt werden. Ziel ist es dabei, die im vorangehenden Kapitel definierten Zielsetzungen für die Überführung eines Jungwaldes in strukturierte Bestände zu erreichen.

Bestandesstabilität: Bei der Einleitung der Verjüngung müssen genügend Optionen von stabilen Rändern vorhanden sein, damit die maximalen Öffnungsgrössen seitens der Naturgefahren-Anforderungsprofile eingehalten werden können. Beim Steinschlag sind dies idealerweise 20 m in Hangfalllinie (bis - falls nötig - maximal 40 m mit liegendem Holz und hohen Stöcken). Um diese Anforderungen langfristig gewährleisten zu können, wird nebst der kollektiven Stabilität ein Gerüst von herausragenden Stabilitätsträgern benötigt. Diese Stabilitätsträger sichern bei der gestaffelten Verjüngung die Stabilität des verbleibenden Bestandes, insbesondere an den Rändern der Öffnungen. Damit die hohen Anforderungen an die Stabilitätsträger erfüllt werden können, muss deren Anzahl pro Hektare begrenzt werden. Deshalb werden für die Überführung im Schutzwald deutlich weniger Z-Bäume angestrebt als für die Holzproduktion im Wirtschaftswald. In NaiS werden Anforderungskriterien für die Stabilitätsträger formuliert, es gibt jedoch keine Angaben zur erforderlichen Anzahl. Gestützt auf Beobachtungen in verschiedenen konkreten Situationen wird hier ein Gerüst von mindestens 40 Stabilitätsträgern pro Hektare empfohlen, was einem durchschnittlichen minimalen horizontalen Abstand von 17 m im Dreiecksverband entspricht (Abb. 3/12). Auch Schütz (2002) empfiehlt für die Überführung im Plenterwald die Förderung von 40 bis 60 «Deckungsträger» zur Sicherung der mechanischen Stabilität.

Oft hat es in einem Bestand deutlich mehr Bäume, welche die Kriterien eines Stabilitätsträger erfüllen, und in bereits stufig aufgebauten Wäldern ist dies ohnehin meist der Fall. In den seltenen Fällen, in denen weniger als 40 zukünftige Stabilitätsträger zu finden sind, muss allenfalls die Überführung beschleunigt und möglichst bald mit der etappenweisen Verjüngung begonnen werden.

Baumartenmischung: Die gewünschte Baumartenmischung soll in erster Linie über die Wahl geeigneter Stabilitätsträger gesteuert werden. Jedoch wird es zumindest teilweise der Fall sein, dass auch Z-Bäume zukunftsfähiger Baumarten bestimmt werden, welche zwar die Anforderungen an einen Stabilitätsträger nicht erfüllen, jedoch mindestens zu einem zukünftigen Samenbaum heranwachsen sollen (Abb. 3/14 und 3/15). Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit dem Klimawandel nötig, manchmal aber auch zur Erfüllung der NaiS-Anforderungsprofile bezüglich des Standortes.

Z-Baum: Ziel-Baum oder Zukunftsbaum, der entsprechend der waldbaulichen Zielsetzung gefördert wird. Im Schutzwald können neben Einzelbäumen auch Kleinkollektive (2 – 6 eng zusammenstehende, voneinander abhängige Bäume) als Z-Bäume betrachtet werden. Es werden somit bei Bedarf diejenigen Bäume gefördert, die zur Erreichung des Waldbauziels besonders wichtig sind. Im Schutzwald umfassen die Z-Bäume somit:

1) **Stabilitätsträger** mit hoher Lebenserwartung – Einzelbäume oder Kleinkollektive
2) **Zukunftsfähige Mischbaumarten** für eine möglichst zielkonforme Mischung, unter anderem auch im Zusammenhang mit dem Klimawandel

Die Unterscheidung ist notwendig, damit sowohl der erforderlichen Stabilität als auch der allenfalls notwendigen Anpassung der Baumartenmischung Rechnung getragen wird. Nicht alle Stabilitätsträger entsprechen der erwünschten Mischung und nicht alle zukünftigen Samenbäume erwünschter Baumarten erfüllen die Anforderungen bezüglich Stabilität und sozialer Stellung.

Es werden sich immer auch gewisse (v.a. vorherrschende und herrschende) Bäume ohne Förderung zu Stabilitätsträgern entwickeln. So werden sich beispielsweise mit einer Förderung von 40 Z-Bäumen normalerweise deutlich mehr stabile Bäume entwickeln als nur die Anzahl der begünstigten Bäume. In gewissen Fällen können dadurch auch noch weniger oder müssen stellenweise gar keine Z-Bäume gefördert werden.

Auswahlkriterien: Für die zukünftigen Stabilitätsträger sind die Vitalität und Stabilität, jedoch weniger die Qualität massgebend. Oft sind die «Protzen» die Stabilitätsträger. Als Z-Bäume für Stabilitätsträger eignen sich somit gesunde vorherrschende bis herrschende Bäume mit guter Verankerung und lotrechtem Wuchs und möglichst langer und allseits ausgebildeter Krone. Wenn die gewünschte Mischung nicht allein über die Wahl der Stabilitätsträger gesteuert werden kann, sollen Z-Bäume zukunftsfähiger Baumarten bestimmt werden, welche mindestens das Potenzial haben, zu Samenbäumen heran zu wachsen. Im Zeichen des Klimawandels kann es sinnvoll sein, gezielt auch Individuen von heute noch konkurrenzschwachen Baumarten entsprechend zu fördern; dies ist wesentlich kostengünstiger als deren zukünftige Pflanzung. Der Entscheid zwischen den Argumenten Stabilität und Mischung kann unter Umständen zu einem Zielkonflikt führen und muss situationsgerecht gefällt werden. Wenn Mischbaumarten selten oder schwierig einzubringen sind, sollten sie im Zweifelsfall den Vorzug bekommen.

Die Erfahrung zeigt zudem, dass in laubholzdominierten Beständen an steilen Hängen ein Nadelholzanteil von etwa 10 -20 % den lotrechten Wuchs der Laubbäume fördert. Geeignete Nadelbäume können deshalb auch als Z- Bäume gewählt werden, wobei die Weisstanne gegenüber der Fichte bevorzugt werden sollte. Bei der Auswahl der Z-Bäume sind die erwähnten Kriterien wichtiger als der Abstand und die Verteilung der Bäume. Die Abb. 3/14 und 3/15 zeigen eine schematische Darstellung der Z-Baum-Pflege.

Anzahl Z-Bäume: Sind der aktuelle Zustand sowie die zukünftig zu erwartende Entwicklung zielkonform, müssen grundsätzlich keine Z-Bäume gefördert werden. Besteht nur punktuell Handlungsbedarf, kann eine gezielte Förderung weniger Z-Bäume genügen. Falls nötig dürfte das Anlegen eines Netzes von bis zu 60 Z-Bäumen pro Hektare zielführend sein. Dies entspricht einem durchschnittlichen horizontalen Abstand von 15 m oder grösser, wobei die Z-Bäume unregelmässig verteilt sind. Vor allem in der Falllinie müssen die Z- Baumabstände genügend gross sein, damit auch wiederholte Eingriffe möglich werden, ohne dass dem bergseitig benachbarten Z-Baum alle talseitigen Stützbäume entfernt werden. Nebst den Auswahlkriterien des Einzelbaumes soll auch die Nachbarschaft möglicher Z-Bäume beachtet werden. So können beispielsweise Z-Bäume konkurrenzschwacher Baumarten dort gewählt werden, wo die Konkurrenz durch Nachbarbäume vergleichsweise gering ist. Das erhöht die Erfolgschancen bei der Förderung solcher Z-Bäume. Je grösser der Anteil langfristig gesicherter stabiler Ränder im Bestand ist (durch Gassen und Blössen), desto weniger zusätzliche Stabilitätsträger (Z-Bäume) können notwendig sein.

Es ist davon abzuraten, zu viele Stabilitätsträger und Baumarten auszuwählen. Bei einer Förderung von mehr als 60 Z-Bäumen pro Hektare ist zunehmend mit folgenden waldbaulich unerwünschten Wirkungen zu rechnen:

- Langfristig zu schwache Stabilitätsträger infolge der zu kleinen Abstände zwischen ihnen. Denn starke Stabilitätsträger mit langer Lebensdauer brauchen viel Kronenraum, insbesondere auch bergseits, und müssen daher i.d.R. (mehrere Male) stark gefördert werden
- Zu wenig dominante Stabilitätsträger, weil deren Förderung auch gleichzeitig die erwünschte Konkurrenz unter den Nicht-Z-Bäumen reduziert, deren Wachstum fördert und sie zu Konkurrenten macht, was bei geringer Ausdehnung des «Füllbestandes» zunehmend auftritt; als Folge davon ist die relative Dominanz der Z-Bäume gering
- Eher schiefe oder hängende Z-Bäume, weil talseitig wichtige Stützbäume im «Füllbestand» fehlen, wenn diese bei Folgeeingriffen als bergseitige Konkurrenten des talwärts nächsten Z-Baumes entfernt werden
- Zunehmende Homogenisierung des Bestandes, was der angestrebten Strukturierung entgegenwirkt
- Die flächige Behandlung erhöht die Eingriffsstärke, destabilisiert den Bestand stärker und erhöht damit die Risiken nach dem Eingriff
- Stammzahl und Grundfläche werden stärker reduziert, was im Steinschlagschutzwald unerwünscht ist.
- Verhinderung der möglichen Ausbildung von stabilen Kleinkollektiven des Z-Baumes mit talseitigen Nicht-Z-Baum-Nachbarn
- Bei einer höheren Anzahl Z-Bäume müssen zusätzlich zu den allerbesten Bäumen auch weniger starke und geeignete Z-Bäume gewählt werden, was das Risiko für Misserfolge und den Aufwand pro Z-Baum erhöht
- Noch nähere Abstände zwischen den Z-Bäumen, falls es sich dabei teilweise um Kleinkollektive anstatt nur um Einzelbäume handelt

Zudem werden später durch die frühzeitigen Verjüngungsöffnungen zusätzliche Einzelbäume und Ränder mit längeren Kronen gefördert, und es kann immer zusätzlich zu den Z-Bäumen mit relativ stabilen Einzelbäumen und/oder Kleinkollektiven gerechnet werden, insbesondere bei frühen Verjüngungseingriffen.

Theoretisch ist die optimale Anzahl der Z-Bäume auch vom Standort und der Naturgefahr abhängig. Da dazu aber keine konkreten Hinweise verfügbar sind, ist zurzeit eine weitere Differenzierung nicht zweckmässig. Grundsätzlich gilt, dass auf schlechtwüchsigen Standorten Stabilitätsprobleme eher abnehmen.

Im Steinschlagschutzwald ist es bei sehr kurzen Transitstrecken unter Umständen zielführender, an Stelle der Gruppenplenterung mit der Niederwaldbewirtschaftung zu arbeiten, womit sich die Z-Baum-Pflege natürlich erübrigt.

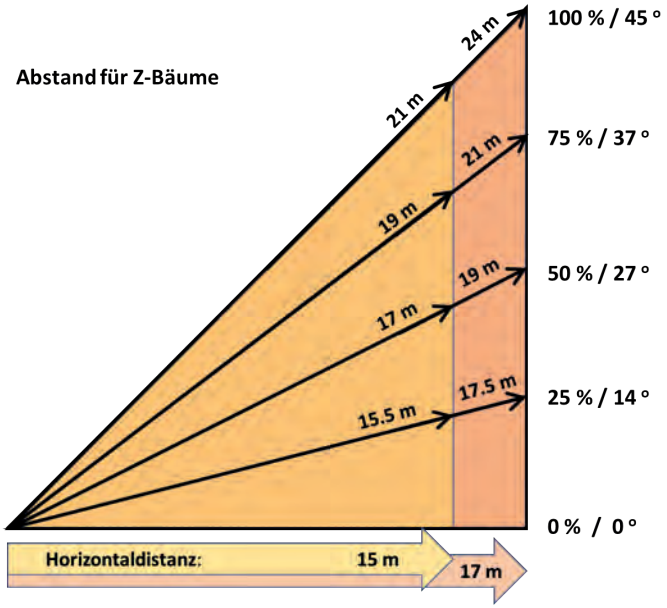

Abb. 3/12: Umrechnung der Horizontaldistanzen (15 bis 17 m) auf schiefe Längen für unterschiedliche Hangneigungen (Beträge gerundet)

3.5.3 Eingriffsart und zeitliche Aspekte

Eingriffszeitpunkt: Jungwaldflächen sollten den positiven Effekten der Selbstdifferenzierung solange als sinnvoll überlassen werden. Der Eingriffszeitpunkt ist abhängig von der Bestandesentwicklung und den Zielbaumarten zu wählen, wobei ein zeitlich gestaffelter Eingriffsbeginn je nach Baumart sinnvoll sein kann (siehe Checkkarte nach Ammann, 2014). So müssen Z-Bäume von Lichtbaumarten oft eher früh gefördert werden, während diejenigen der konkurrenzstarken Baumarten noch der Selbstdifferenzierung überlassen werden können. Zu beachten ist auch, dass aus Sicht der Mischung erwünschte Baumarten so stark bedrängt werden können, besonders durch die Buche, dass sie nicht mehr entwicklungsfähig sind. In solchen Situationen ist je nach Zielsetzung bereits früher eine punktuelle Förderung von konkurrenzschwachen Baumarten erforderlich, wobei auch hier bewusst eine beschränkte Anzahl Bäume gefördert werden soll. Die Z- Bäume in einem Bestand können auch aufgrund räumlicher Unterschiede in der Bestandesentwicklung zu unterschiedlichen Zeitpunkten ausgewählt und gefördert werden, d.h. auf einer Teilfläche, wo sie schon als solche erkennbar sind, zuerst, und dort, wo sie sich erst zielkonform entwickeln sollen, später.

An Steilhängen, besonders an Südhängen, sollte tendenziell früher als an anderen Expositionen eingegriffen werden, bevor die Kronen alle einseitig ausgebildet sind.

Bei zu späten Eingriffen muss der Nutzen der Förderung gegenüber dem Risiko der Destabilisierung abgewogen werden. In einer solcher Situation sollten eher weniger Z-Bäume gefördert werden und die Z-Baum-Förderung allenfalls mit dem ersten Verjüngungseingriff kombiniert werden.

Eingriffsart: Die Z-Bäume werden grundsätzlich nur bergseitig begünstigt, insbesondere an Südhängen. Talseitige Bäume können, solange sie die Kronenentwicklung des Z- Baums nicht wesentlich beeinträchtigen, stehen bleiben oder gar als Stütze dienen. Dies ist nur möglich, wenn der übrige Bestand unbehandelt bleibt und die Abstände zwischen den Z-Bäumen genügend gross sind (Abb. 3/15b). Es ist davon auszugehen, dass sich durch die natürliche Ausdifferenzierung mit talseits stehenden Bäumen teilweise auch vorteilhafte Kleinkollektive herausbilden werden. Durch Folgeeingriffe können diese gefördert werden.

Eingriffsstärke: Die Eingriffsstärke wird individuell je nach Baumart, Vitalität, Konkurrenzstärke und Eingriffsturnus gewählt. Bergseits brauchen die Z-Bäume bis zum nächsten Eingriff Kronenfreiheit. Talseits sind Konkurrenten erwünscht, denn sie vermindern Schiefstand und die Ausbildung einseitiger Kronen der Z-Bäume (vergl. Eingriffsart).

Wenn aus Sicht des Klimawandels konkurrenzschwache Baumarten gefördert werden müssen, ist allenfalls nach wenigen Jahren ein weiterer punktueller Eingriff erforderlich.

Bei der gegenüber dem Wirtschaftswald kleineren Anzahl von Z-Bäumen ist der Eingriff pro Z- Baum stark, die Eingriffsstärke insgesamt jedoch schwach. Grundsätzlich muss die Eingriffsstärke jedoch an die lokale Situation angepasst werden. Wenige stärkere Eingriffe sind – vorausgesetzt sie sind erfolgreich - wirtschaftlicher, insbesondere bezüglich der Effektivität der Schutzwaldbeiträge. Bei starken Eingriffen steigt das Risiko der Destabilisierung, was vor allem in Nassschneelagen und an Hängen zu beachten ist.

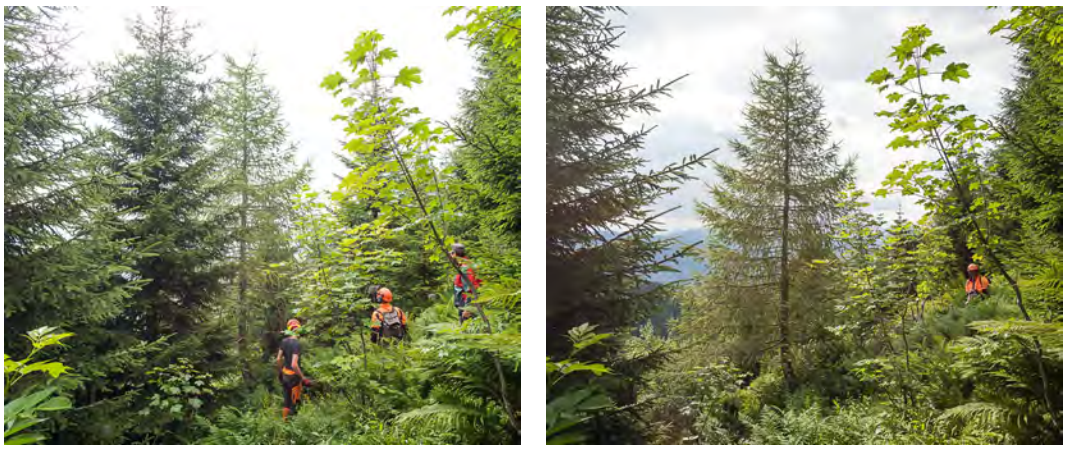

Abb. 3/13: Eine vitale Lärche wurde als Z-Baum bestimmt (links) und stark gefördert (rechts).

Eingriffsturnus: Im Idealfall können beim zweiten Eingriff bereits Verjüngungsöffnungen angelegt werden. Für einzelne Baumarten ist evtl. ein früherer separater Eingriff notwendig (siehe Eingriffsstärke). Zudem ist damit zu rechnen, dass zusätzlich zu den weiteren Eingriffen zur Verjüngung die verbleibenden Z-Bäume auch im Baumholz-Alter nochmals gefördert werden müssen. Dies kann allenfalls durch Ringeln oder kombiniert mit der Verwendung des anfallenden Holzes an Ort und Stelle erfolgen, insbesondere als zusätzlicher Steinschlagschutz.

Abb. 3/14a: ***Zustand nach der Z-Baum-Pflege****. Die ausgewählten Z-Baume wurden bergseitig stark gefördert. In den Zwischenräumen wurde nicht eingegriffen.*

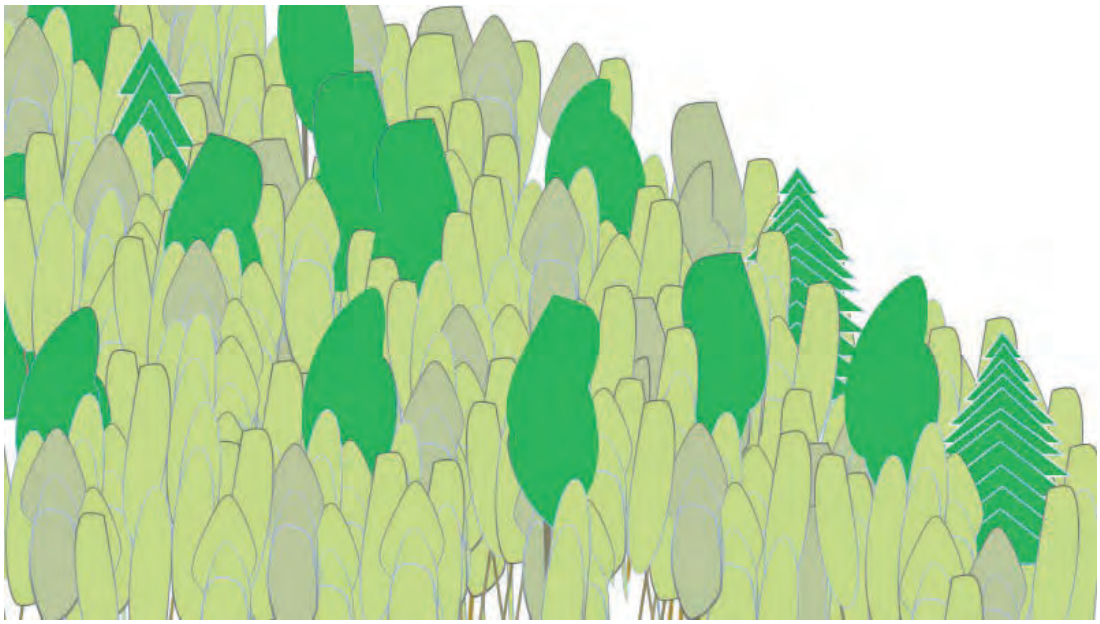

Abb. 3/14b: ***Zustand vor dem ersten Eingriff zur Verjüngung****. Die Z-Bäume dominieren und ermöglichen das Anlegen von Verjüngungsöffnungen.*

*Abb. 3/14c: **Zustand nach dem ersten Eingriff zur Verjüngung**. Die Öffnung wurde so angelegt, dass an den Rändern (vor allem bergseits) einzelne Stabilitätsträger stehen.*

*Abb. 3/14d: **Zustand nach dem zweiten Eingriff zur Verjüngung**. In der Öffnung rechts im Bild hat sich bereits Verjüngung eingerstellt. Durch punktuelle Eingriffe können hier wieder einzelne Z-Bäume gefördert werden. Links oben wurde eine zweite Öffnung geschaffen. Die verbleibenden Z-Bäume sind vital und erleichtern den weiteren Verjüngungsfortschritt. Der Zustand nähert sich allmählich dem langfristigen Waldbauziel.*

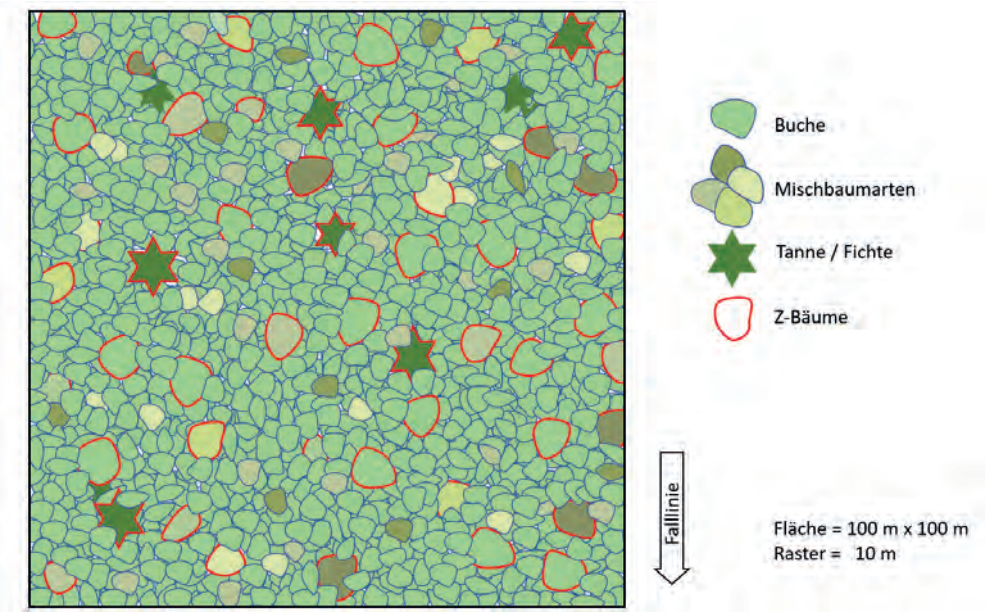

*Abb. 3/15a: **Zustand vor der Z-Baum-Pflege**. Als Z-Bäume wurden vor allem die stärksten Bäume und einige wichtige Mischbaumarten ausgewählt.*

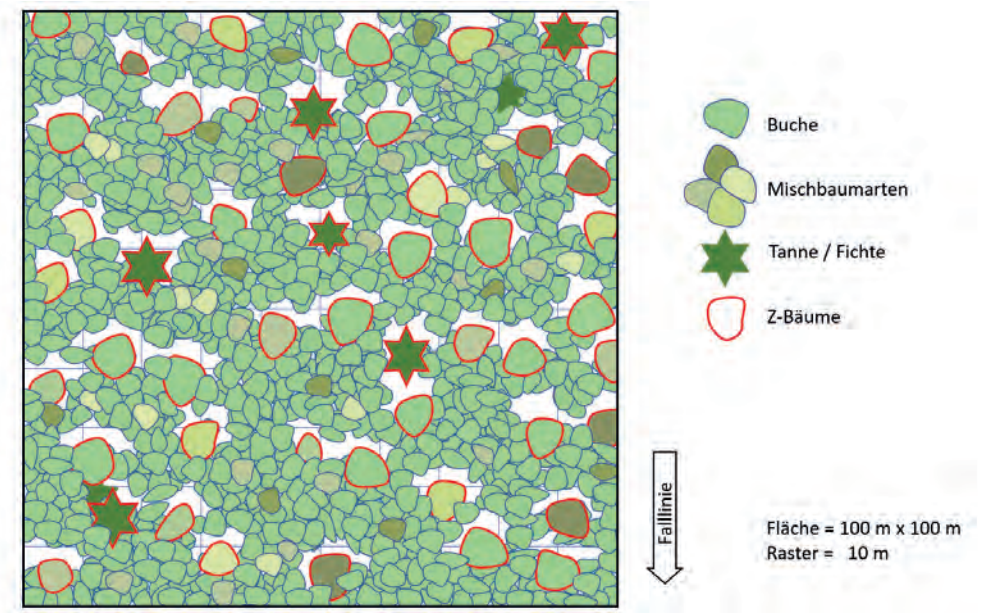

*Abb. 3/15b**: Zustand nach der Z-Baum-Pflege**. Die Z-Bäume wurden bergseitig stark gefördert. In den Zwischenräumen wurde nicht eingegriffen. Der Zustand entspricht der Abb. 3/14a.*

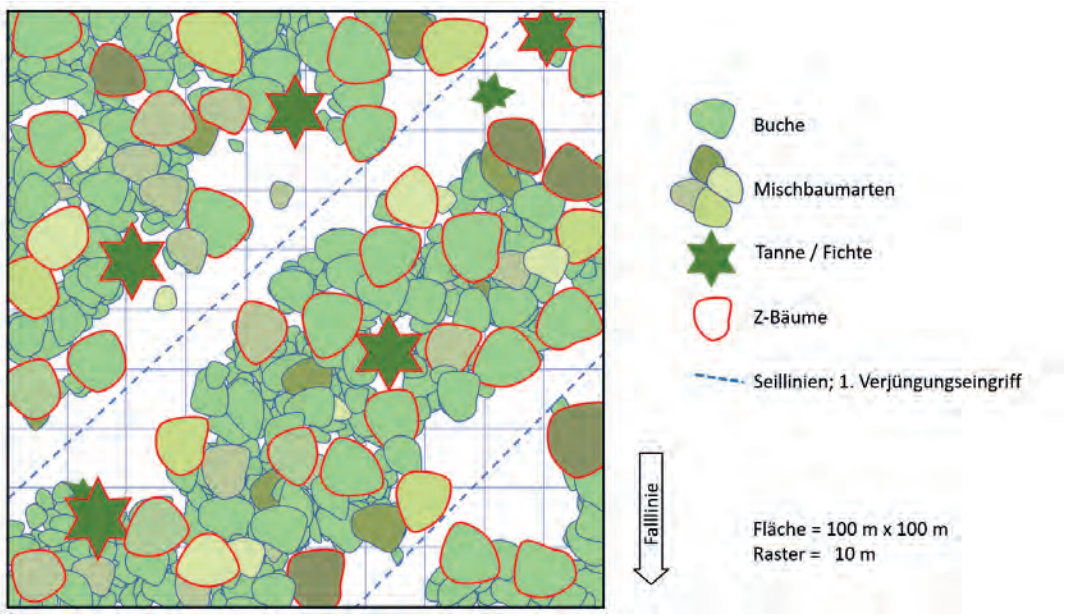

Abb. 3/15c: ***Zustand nach dem ersten Eingriff zur Verjüngung****. Entlang der Seillinien wurden Verjüngungsöffnungen angelegt, wobei darauf geachtet wurde, dass die Öffnungen in der Falllinie nicht zu lang wurden. Die Z-Bäume dienen als stabile «Anker» und wurden nur entfernt, wenn es wegen der Seillinie oder zur Erreichung der Öffnungsgrösse notwendig war. Wo nötig, wurden die verbleibenden Z-Bäume nochmals gefördert.*

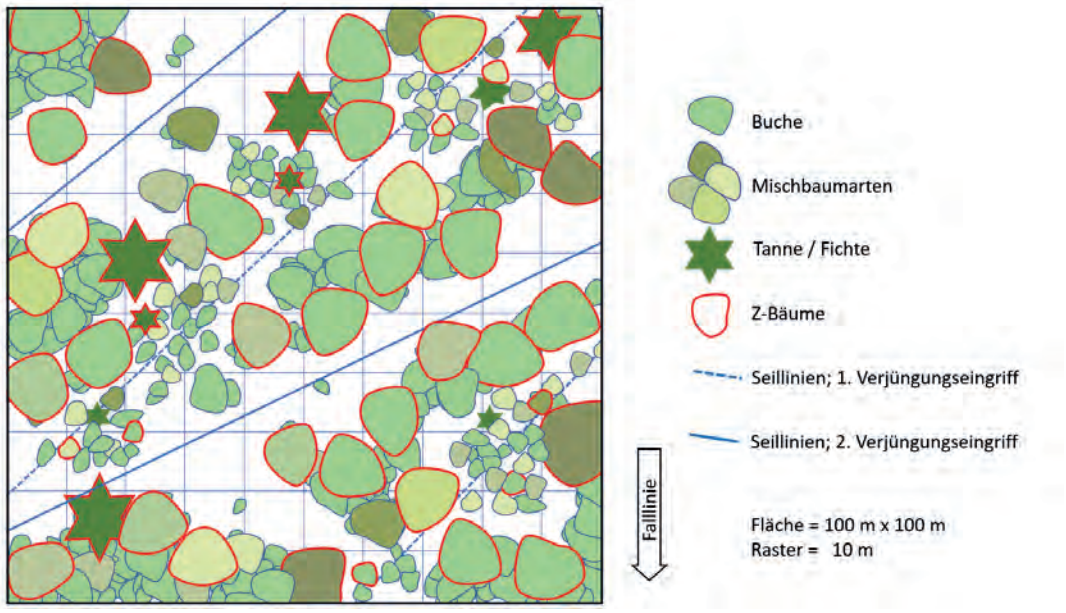

Abb. 3/15d: ***Zustand nach dem zweiten Eingriff zur Verjüngung****. In den Öffnungen des ersten Eingriffs hat sich bereits Verjüngung eingestellt. Dank der stabilen Z-Bäume konnten weitere Öffnungen angelegt werden. Durch diesen weiteren Eingriff profitiert stellenweise auch die bereits vorhandene Verjüngung, was zur Differenzierung beiträgt. Durch punktuelle Eingriffe können hier wieder einzelne Z-Bäume gefördert werden. Die vitalen Z-Bäume, teilweise noch umgeben von mitherrschenden und unterdrückten Bäumen, ermöglichen den weiteren Verjüngungsfortschritt ohne besondere Risiken. Der Zustand nähert sich allmählich dem langfristigen Waldbauziel. Dieser Zustand entspricht der Abb. 3/14d.*

Risiken: In Laubholzbeständen mit beigemischter Fichte ist das Risiko von Borkenkäferbefall in der Regel gering. Hingegen erfordern naturferne Fichtenbestände in den tieferen Lagen besondere Vorsicht. Hier soll auch die «Kammerung» in Betracht gezogen werden, in Kombination mit konsequenter Förderung vorhandener Laubbäume.
Laubbäume sind bei Nassschneefällen in belaubten Zustand besonders gefährdet. In Hanglagen können talseitige Bäume als Stütze oder als «Erzieher» für lotrechten Wuchs und gleichmässigere Kronen dienen (vergl. Eingriffsart).
Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Risiken von natürlichen Störungen aufgrund des Klimawandels steigen, und die Baumartenmischung generell sowie eine Beteiligung zukunftsfähiger Baumarten noch wichtiger wird als heute.

Weiteres Vorgehen: Wie in Kap. 3.5.1 erwähnt, sollen gleichförmige Bestände durch Verjüngungsöffnungen in Gruppengrösse verjüngt werden (Abb. 3/14c und 3/14d). In darin heranwachsenden Jungwaldgruppen können durch punktuelle Eingriffe einzelne Z-Bäume gefördert werden, analog zu den Nachrückern im Dauerwald.

4. Literatur

Abetz, P., 1975: Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allg. Forstz. 30: 666-667.

Ammann P., 2004: Untersuchung der natürlichen Entwicklungsdynamik in Jungwaldbeständen. Biologische Rationalisierung der waldbaulichen Produktion bei Fichte, Esche, Bergahorn und Buche. Zürich: ETH Zürich, Dissertation 15761. 343 p. doi: 10.3929/ethz-a-004947183.

Ammann P., 2005: Biologische Rationalisierung, Wald und Holz 1/2005: 42-45.

Ammann P., 2012: Jungwaldpflegekonzepte mit biologischer Rationalisierung. Zürcher Wald 44 (2): 12–15.

Ammann P., 2013: Erfolg der Jungwaldpflege im Schweizer Mittelland? Analyse und Folgerungen (Essay). Schweiz Z Forstwesen 164: 262–270.

Ammann P. 2014: Jungwaldpflege / Biologische Rationalisierung. Checkkarte. http://waldbau-sylviculture.ch/publica/2014_FWB_Checkkarte_BR_d.pdf.

Ammann P., Arnet, A., und Felder U. 2014: Biologische Rationalisierung auch im Bergwald? Natürliche Abläufe nutzen. Wald und Holz 11/2014: 34-36.

Ammann P., Glanzmann L., Junod P., Zürcher S., 2019: Der waldbauliche Pflegeauftrag in überarbeiteter Version. Wald und Holz 5/2019: 30-32.

Bischof N., 1987: Pflege des Gebirgswaldes. Leitfaden für die Begründung und forstliche Nutzung von Gebirgswäldern.

Brang P., Heiri C., Bugmann H. (Red.) 2011: Waldreservate. 50 Jahre natürliche Waldentwicklung in der Schweiz. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL; Zürich. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt.

Fillbrandt T., 2000: Strukturentwicklung gepflanzter Fichtenkollektive (Rotten) in der hochmontanen und subalpinen Stufe. Dissertation ETH Zürich. Beiheft Z. Schweiz. Forstverein Nr.87.

Frehner M., Wasser B., Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald - NaiS. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Vollzug Umwelt, Bern.

GWG, 1998: Dokumentation der 14. Arbeitstagung der schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe gemeinsam durchgeführt mit der Forstlichen Arbeitsgruppe für Naturgefahren Waldwirkungen und Steinschlag. Grafenort / Engelberg Kt. OW.

GWG, 2004: Dokumentation der 20. Arbeitstagung der schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe. Einfluss der Eingriffsstärke im Schutzwald auf die Waldentwicklung und die Kosten der Holzernte. Val Morobbia, Kanton Tessin Sta. Maria in Calanca, Kanton Graubünden.

GWG, 2005: Dokumentation der 21. Arbeitstagung der schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe. Auerhuhn. Amden, Kanton St. Gallen.

GWG, 2006: Dokumentation der 22. Arbeitstagung der schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe. Behandlung von Jungwaldbeständen auf Sturmflächen im Schutzwald unter Berücksichtigung der langfristigen Entwicklung. Riemenstaldnertal, Kanton Schwyz.

GWG, 2018: Dokumentation der Wintertagung 2018 der schweizerischen Gebirgswaldpflegegruppe. Thema: Behandlung von Buchen-Schutzwäldern in der unter- und submontanen Stufe. ETH Zürich.

GWP, Fachstelle für Gebirgswaldbau 2009: Waldbauliche Eingriffsstärke Unterlagen zu den Kursen 2009 in GR.

Hatt S., 2018: Checkkarten Dauerwald, 2. Auflage, ProSilva Schweiz.

Hürlimann M, 2016: Massnahmen der Waldpflege – Die Rottenstruktur. Lehrmittel ibW Maienfeld.

Korpel S., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, New York.

Kuoch R., Amiet R. 1970: Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen mit Berücksichtigung von Vegetation und Ablegerbildung. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Mitteilung 46 (4).

Kraft G., 1884: Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichtungshieben. Hannover.

Mayer H., Ott E., 1991: Gebirgswaldbau – Schutzwaldpflege. Ein waldbaulicher Beitrag zur Landschaftsökologie und zum Umweltschutz. 2. vollständig neu bearbeitete Auflage. Stuttgart, New York, Fischer.

Messmer C., 2014: Grundflächen im Steinschlagschutzwald. Ein Vergleich mit LFI3 Daten. Masterarbeit ETH Zürich.

Ott E., Frehner M., Freu H.-U., Lüscher P., 1997: Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.

Plüss A.R., Augustin S., Brang P. (Red.), 2016: Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptationsstrategien. Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern; Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf; Haupt, Bern, Stuttgart, Wien.

Schönenberger W., 1986: Rottenaufforstung im Gebirge. Berichte, Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen: Vol. 279.

Schütz J.-P., 1996: Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz Z Forstwesen 147:315–349.

Schütz J.-Ph. 2002: Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen. Skript zu Vorlesung Waldbau II und Waldbau IV.

Schütz J.-Ph. 2003: Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung. Skript zur Vorlesung Waldbau I.

Schwitter R., 1999: Zur Verjüngung der Lärche in den Waldgesellschaften der kontinentalen Hochalpen – eine Zusammenfassung aus der Literatur.

Schwitter R, 2005: Einfluss der Eingriffsstärke im Schutzwald auf die Waldentwicklung und die Kosten der Holzernte.

Schwitter R., Wasser B., Zürcher S., 2018: Projekt Waldbauliche Wirkungsanalyse. Schlussbericht Tei2: Synthese und Empfehlungen für die Praxis.

Strobel G., 1995: Rottenstruktur und Konkurrenz im subalpinen Fichtenwald. Dissertation ETH Zürich. Beiheft Z. Schweiz. Forstverein Nr.81.

Trepp W., 1974: Die Plenterung — ein Lichtwuchsbetrieb bester Schutz- und Wohlfahrtswirkungen und höchster nachhaltiger Erträge. HESPA Mitteilungen 24. Jahrgang, Nr. 66.

Trepp W., 1981: Das Besondere des Plenterns im Gebirgswald. Schweiz. Z. Forstwesen, 132. 10.

Wunder J., Brang P., 2003: Fichtenverjüngung im Gebirgswald: Erfolgskontrolle in Schlitzen. Informationsblatt Forschungsbereich Wald Nr.13. WSL Birmensdorf.

Zeller E, 1993: Die Rottenpflege. Bericht Gebirgswaldpflegeprojekt II, Nr.3A, Interkantonale Försterschule Maienfeld.

Zeller E., 1994: Stabilitätspflege im Gebirgswald. Bericht Gebirgswaldpflegeprojekt II, Nr.4A, Interkantonale Försterschule Maienfeld.