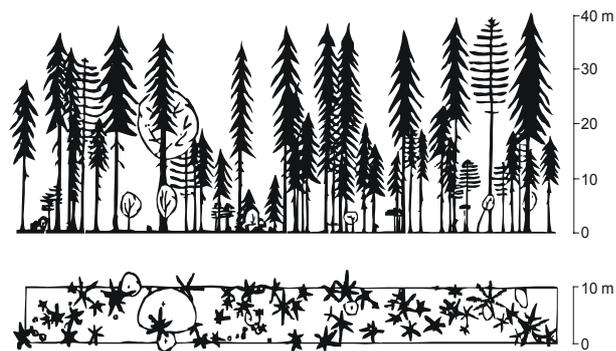


Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen

Skript zu Vorlesung Waldbau II und Waldbau IV

J.-Ph. Schütz

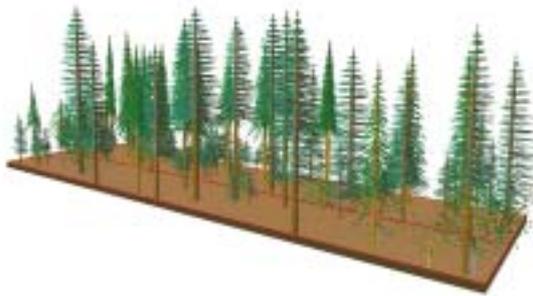


Professur Waldbau
ETH Zentrum
8092 Zürich
2002

Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen

Skript zu Vorlesung Waldbau II und Waldbau IV

J.-Ph. Schütz



Version Oktober 2002

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINFÜHRUNG	1
1.1 Die beiden Modelle der Sylvigenese.....	1
1.1.1 Unterschiede zwischen Plenterwald und gleichförmigem Hochwald	1
1.1.2 Steuerungsprinzipien im Plenterwald.....	3
1.1.3 Steuerungsprinzipien im gleichförmigen Hochwald	5
1.1.4 Unterscheidungskriterien	5
1.1.5 Minimalfläche	7
1.2 Veränderung der Rahmenbedingungen für die Wald-bewirtschaftung	10
1.2.1 Verschärfung des Konfliktes Ökonomie – Ökologie.....	10
1.2.2 Waldbauliche Grundsätze werden in Frage gestellt	12
1.2.3 Ungleichförmigkeit	13
1.2.5 Plenterung als Modell der Multifunktionalität	17
1.2.6 Artenvielfalt durch Biotopvielfalt.....	17
1.2.7 Komplementarität.....	18
2. FUNKTIONSWEISE UND VORKOMMEN DER PLENTERWÄLDER.....	20
2.1 Räumliche Verteilung der Plenterwälder.....	20
2.2 Systemsteuerung im Plenterwald.....	26
2.2.1 Grundsätze für die Steuerung im Plenterwald	26
2.2.2 Erfassung der vertikalen Konkurrenz in Plenterwaldsystemen.....	27
2.2.3 Nachhaltigkeit des Nachwuchses und Berechnung des Gleichgewichts.....	29
2.3 Baumartenunterschiede	36
2.3.1 Baumartenmischung in Plenterwäldern der Bergstufe.....	36
2.3.2 Die Rolle der Buche	37
2.3.3 Bedeutung des Verhältnisses von Tanne zu Fichte.....	40
2.3.4 Bedeutung sonstiger Baumarten bei der vertikalen Mischung.....	42
2.3.5 Plenterung mit fremdländischen Baumarten.....	43
3. DIE KLASSISCHE PLENTERUNG	45
3.1 Merkmale des klassischen Plenterwaldsystems	45
3.1.1 Definitionen und Begriffe.....	45
3.1.2 Merkmale des Wachstums im Plenterwald	47
3.1.3 Wachstum in der frühen Jugend und Unterdrückungseffekt.....	49
3.1.4 Stabilität im Plenterwald.....	51
3.1.5 Ökophysiologische Voraussetzungen	56
3.2 Plenterwald und gleichförmiger Hochwald im Leistungsvergleich	56
3.2.1 Volumenleistung	56
3.2.2 Wertleistung	58
3.3 Standörtliche Voraussetzungen für die Plenterung.....	64
3.3.1 Allgemeine Standortbedingungen	64
3.3.2 Wild als problematischer Faktor bei der Umsetzung.....	64
3.4 Strategische Betrachtungen bei der Plenterung	65
3.4.1 Allgemeine Grundsätze.....	65
3.4.2 Strukturanalyse	66
3.4.3 Starkholzanteil und Zieldurchmesser.....	69
3.4.4 Gleichgewichtsvorrat.....	71
3.5 Die Plenterung als waldbaulicher Eingriff	73

3.5.1	Definition und Beschreibung der Eingriffe bei der Plenterung	73
3.5.2	Das Anzeichnen der Bäume	74
3.5.3	Der Eingriffsturnus im Plenterwald (Umlaufzeit)	78
3.5.4	Die Nachwuchspflege im Plenterwald	78
4.	ANDERE PLENTERWALDFORMEN	82
4.1	Buchen-Plenterwälder in Thüringen	82
4.1.1	Die besondere Bedeutung der Plenterung in Buchenwäldern	82
4.1.2	Vergleich mit der natürlichen Entwicklung in zentraleuropäischen Urwäldern	82
4.1.3	Die Abhängigkeit des Nachwuchses vom Kronenschlussgrad als zentrales Problem der Buchen-Plenterwälder	83
4.1.4	Gleichgewichtsbedingungen in Buchen-Plenterwäldern	86
4.1.5	Plentergleichgewicht und Wachstumsbedingungen	90
4.1.6	Formen der räumlichen Anordnung von Bäumen	92
4.1.7	Das Problem des starken Holzes	93
4.1.8	Folgerungen für die Plenterung mit Buchen	97
4.2	Die Plenterung mit lichtbedürftigen Laubbaumarten: Vom Mittelwald zum lichten Hochwald	97
4.2.1	Der Mittelwald als Vorläufer der Plenterung mit lichtbedürftigen Laubbaumarten	97
4.2.2	Das problematische Miteinander von Oberschicht und Hauschicht	99
4.2.3	Vom Mittelwald zum lichten Hochwald	101
4.3	Plenterwälder im Hochgebirge	104
4.3.1	Subalpine Fichtenwälder	104
4.3.2	Die Lärchen-Arvenwälder	106
5.	DIE ÜBERFÜHRUNG IN PLENTERWALD	107
5.1	Probleme bei der Überführung	107
5.2	Kennzeichen der Überführung	107
5.2.1	Kontinuität des Nachwuchses	107
5.2.2	Erhaltung des Kronenschirms	109
5.2.3	Hierarchie der Voraussetzungen für die Überführung	110
5.3	Massnahmen vor Beginn der Überführung	110
5.3.1	Massnahmen mit allgemeiner Wirkung	110
5.3.2	Spezielle Massnahmen in gepflanzten Beständen	111
5.4	Die Technik der Überführung	113
5.4.1	Formen der Überführung	113
5.4.2	Klassische Plenterdurchforstung	114
5.4.3	Direkte Überführung gleichförmiger Bestände	115
5.4.4	Überführung gleichförmiger Bestände mittels der Folgegeneration	118
Literatur	119

1. EINFÜHRUNG

1.1 DIE BEIDEN MODELLE DER SYLVIGENESE

In diesem Skript werden hauptsächlich ungleichförmige Wälder behandelt, die vom klassischen Plenterwaldmodell abgeleitet sind. Besonderen Wert wird dabei auf die Darstellung der multiplen Leistungen dieser Wälder gelegt. Die Probleme können aber nur dann umfassend begriffen werden, wenn die grundlegenden Unterschiede, die zwischen den beiden sylvigenesischen Strategietypen, d.h. dem Plenterwald und dem gleichförmigen Hochwald bestehen, ausreichend berücksichtigt werden. Es erscheint daher sinnvoll, zunächst die grundlegenden Unterschiede zwischen diesen beiden Urformen hervorzuheben. Anzuführen ist, dass der Begriff der Sylvigenese auf Oldeman (1990) zurückgeht, der damit die natürliche ontogenetische Entwicklung der Wälder bezeichnet.

1.1.1 Unterschiede zwischen Plenterwald und gleichförmigem Hochwald

Ähnlich dem Prinzip des Gleichgewichts der gegensätzlichen Kräfte von Yin und Yang in der taoistischen Religion findet man als Leitmotiv des Waldbaus den Gegensatz der beiden grundlegenden sylvigenesischen Systeme: einerseits der vollkommen ungleichförmige Wald, in dem auf kleinster Fläche eine vertikale und harmonische Anordnung von allen Baumgenerationen besteht, andererseits der aus einer kollektiven, flächenweisen Verjüngung hervorgegangene Hochwald, der von einer Abfolge von Generationen mit einer ganz klaren zeitlichen und räumlichen Zäsur beherrscht wird.

Diese beiden Systeme bilden ein hervorragendes Beispiel für den Dualismus im Waldbau: Hier der ungleichförmige Wald, der durch eine spontane und permanente Erneuerung gekennzeichnet ist, das Sinnbild der Beständigkeit darstellt und heute unter der Bezeichnung «Plenterwald» weitbekannt ist. Und dort der flächenweise erneuerte Hochwald mit seinem markanten Generationswechsel und mit seinem horizontalen Kronenschluss, wo das Prinzip der Konkurrenz innerhalb der eigenen Altersklasse vorherrscht, wo die Kollektivglieder eine Wettbewerbsgemeinschaft bilden, deren Zweck der Kampf um das Licht ist. Die Photosynthese, die an die Fähigkeit zur Biomasseakkumulation gekoppelt ist, stellt dabei einen starken Antrieb für die Eroberung des Wuchsräumens dar.

Im Fall des Plenterwaldes ermöglicht eine intensive Mischung aller Baumalter, dass die gesamte Sylvigenese (die zeitliche Entwicklung der Baumgemeinschaften) im Schutz der ältesten Bäume abläuft. Durch ein harmonisches Nebeneinander formen diese Bäume den Überbau, unter dem sich die jüngsten entwickeln können. Die Struktur ist so zusammengesetzt, dass sie eine kontinuierliche Erneuerung in einem demographisch autarken Verhältnis erlaubt und dadurch die Nachhaltigkeit sicherstellt (Abb. 1.1).

Der Plenterwald und im weiteren Sinne selbstverständlich auch die Plenterung werden vor allen anderen Kriterien durch die individualisierte Produktion gekennzeichnet. Dieses Kriterium überwiegt selbst gegenüber den klassischen und bekannten Kriterien wie der Mischung, welche im Regelfall eine Einzelmischung ist und deren räumliche Verteilung allein dem Zufall folgt.

Die Mischung aller Stärkeklassen und Entwicklungsstufen ist im Idealfall so innig, dass die strukturelle Nachhaltigkeit schon auf einer sehr kleinen Fläche garantiert ist.

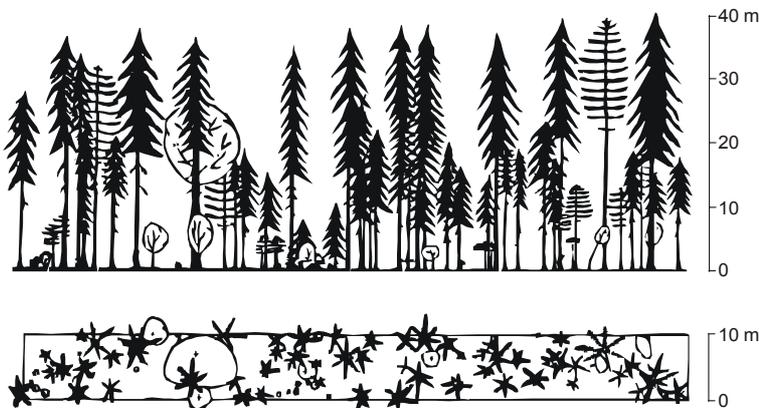


Abb. 1.1: Charakteristisches Profil eines klassischen Plenterwaldes.

Beim vorliegenden Beispiel handelt es sich um den Wald "La Grande Joux" (Abteilung 29), Gebiet der Gemeinde La Chaux-du-Milieu (Schweizer Jura), im Eigentum der Stadt Neuchâtel. Höhenlage: 1'100 m ü.M.

[Nach Schütz (1969)]

Eine solche Struktur wird als vollkommen ungleichförmig bezeichnet. Da keine zu starke gegenseitige Konkurrenz erfolgt, kann der ganze Wuchsraum von den Baumkronen genutzt werden. Für die Kompensation der Nutzungen setzt das Prinzip der Nachhaltigkeit zusätzlich eine permanente und autarke Verjüngung voraus, die in ihrem Ausmass den Nutzungen entsprechen muss. **Ein Plenterwald ist also ein ausserordentlich enger Zusammenschluss aller Entwicklungsstufen auf der kleinstmöglichen Fläche.** Diese Entwicklungsstufen werden in allen anderen Waldformen räumlich getrennt angetroffen. Die Plenterung (oder der Plenterhieb) ist somit eine Synthese aller waldbaulicher Eingriffe, die bei den übrigen Formen zeitlich und räumlich getrennt erfolgen.

Im Hochwald mit Generationswechsel herrscht mit Beginn der flächenweisen kollektiven Erneuerung des Bestandes ein starker und anhaltender Kampf um den zur Verfügung stehenden Kronenraum. Dieser Wettbewerb führt zu einer gewissen Gleichförmigkeit im Bestand, d.h. zu einem horizontalen Kronenschluss. Im Gegensatz dazu weist der Plenterwald einen vertikalen oder auch als stufig bezeichneten Kronenschluss auf. Im Kampf um das Licht verwenden die Bäume den Hauptteil ihrer Wuchskraft dafür, in die Oberschicht zu gelangen und dort zu verbleiben. Das Überleben eines Baumes hängt also davon ab, ob er eine genügend grosse Krone entwickeln kann, so dass sein Verbleiben in der führenden Schicht gesichert ist. Dies alles geschieht natürlich auf Kosten seiner unmittelbaren Nachbarn.

Diese Wettbewerbsgemeinschaft hat nicht nur negative Auswirkungen. Indem die wuchskräftigsten Bäume gewinnen, folgt sie einem grundlegenden Prinzip der Evolution. Sie hält die Ausbildung von groben Ästen in Grenzen im unteren Stammteil. Und schliesslich sorgt sie für die Bildung einer schlanken, zylindrischen und damit auch wirtschaftlich interessanten Stammform. Der gleichförmige Hochwald bietet somit für die Ausformung der Schäfte gewisse Vorteile. Er ist daher für einen Waldbau interessant, der auf dem Prinzip der Bestandeserziehung basiert.

Hinsichtlich der Beastung bleibt festzuhalten, dass im Plenterwald ein anderes Erziehungsprinzip angewendet wird, nämlich die Erziehung im Halbschatten. In der Jugendphase lässt die Beschattung die Ausbildung feiner Äste zu. Dies fördert eine spätere natürliche Ästung, zumindest bei Laubholzarten. Die erwachsenen Plenterwaldbäume weisen dadurch zwei unterschiedliche Teile aus: Im unteren Teil zeichnet sich das Holz durch relativ

feine Äste aus, der obere Teil dagegen verfügt über viele und grobe Äste und ist stark abholzig. Dennoch erachtet Duc (2000) die Wertastung der auszulesenden Nachwuchsstangen, beim Studium der Nachwuchsbäume in Jura-Plenterwäldern (Couvét), auch im Plenterwald als eine notwendige Massnahmen der Wertschöpfung.

Mit anderen Worten gibt es in Wäldern, die vom Menschen gestaltet werden, zwei Urformen der Entwicklung, die sich in vielen Dingen diametral gegenüberstehen. Sie bilden zwei unterschiedliche Formen von sylvigeneischen Strategien. Diese Feststellung gilt sowohl bezüglich der Holzproduktion als auch bezüglich der Stabilität, ästhetischen Gesichtspunkten und der Bedeutung des Waldes als kulturellem Erbe (patrimonialer Wert). Wie wir zeigen werden, besteht zwischen Mischung und Ungleichförmigkeit nicht zwangsläufig Kongruenz. Harmonisch und einigermaßen kleinflächig gemischte Wälder kommen sowohl in der sylvigeneischen Form gleichförmiger Wälder als auch ungleichförmiger Waldtypen vor. Im ersten Fall besteht die Mischung eher als ein Mosaik von Mischungskollektiven (Patches), im anderen vollzieht sie sich in der Vertikale. So scheint es sinnvoll, zwei unterschiedliche Typen der Mischung, nämlich die vertikale von der horizontalen, zu unterscheiden. Im gleichförmigen Typ ist es letzten Endes sogar einfacher als im ungleichförmigen, eine reiche und vielfältige Mischung zu schaffen und zu bewahren. Der Grund ist, dass der ungleichförmige Wald den Lichtbaumarten keine günstigen Voraussetzungen bietet und somit nur in den Fällen ideal ist, in denen sich die Mischung allein aus schattenertragenden Baumarten zusammensetzt.

1.1.2 Steuerungsprinzipien im Plenterwald

Im Fall von Hochwäldern mit spontaner und kontinuierlicher Verjüngung (Plenterwälder) hat die Dosierung des einfallenden Lichtes einen entscheidenden Einfluss auf die Bedingungen für die selbsttätige Erneuerung des Waldes. **Die Steuerung des Systems erfolgt über die Lichtdosierung.** In der Tat ist der begrenzende Faktor des Systems die Fähigkeit der jungen Pflanzen, sich im dunkelsten Teil des Bestandes im Halbschatten zu verjüngen. Die Lichtdosierung ist auch verantwortlich, dass Bäume allmählich in höhere Schichten aufsteigen. Das Wachstum im Plenterwald wird hauptsächlich von den Lichtverhältnissen im Innern des Bestandes bestimmt. Da sich diese Verhältnisse vom Boden bis zu den Gipfeln beträchtlich verbessern, wird die Belichtungssituation mit zunehmender Höhe im Bestand günstiger und das Wachstum zunehmend stärker. Wir haben es mit einer Art von **Konkurrenz** zu tun, die primär durch die unterschiedliche Beschattung gekennzeichnet ist. Mit Ausnahme der Anwuchsphase (Stufe Jungwuchs bis schwaches Stangenholz), in der die Bäumchen in den meisten Fällen in kleinen Kollektiven und somit im gegenseitigen Schutz aufwachsen, berühren sich die einzelnen Bestandesglieder seitlich nicht. Ab der Stangenholzstufe haben die Kronen kaum mehr seitlichen Kontakt, sie überlagern sich nur noch.

Die Massnahmen zur Auslese beschränken sich auf einen kurzen Zeitraum. Ab dem Moment, in dem die Stämme ihr Höhenwachstum beschleunigen und in die Mittelschicht einzuwachsen beginnen, werden die Bäume selbständig. Diese **rasche Verselbständigung** ist ein sichtbares Zeichen für die ausgesprochen vorteilhafte **Produktionsökonomie**. In der Tat weist die nachhaltige Stammzahlabnahmekurve im Plenterwald einen sehr viel günstigeren Verlauf auf als diejenige im flächenweisen Hochwald. Ein Vergleich der Modelle Altersklassenwald und Plenterwald, welches einen Plenterwald im Gleichgewicht, d.h. mit einer autarken und nachhaltigen Erneuerung voraussetzt, führt zu beachtenswerten Ergebnissen. Die Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen (Abb. 1.2) zeigt, dass im Bereich der Brusthöhen-durchmesser (BHD-Bereich) bis 50 cm im Plenterwald ein Drittel weniger Stämme stehen als im Altersklassenwald. Im Gegenzug verfügt der Plenterwald im BHD-Bereich über 50 cm über rund 60 % mehr Stämme (Schütz 1994). Dabei ist jedoch zu beachten, dass für einen Vergleich der finanziellen Erträge weniger die Angaben der Stammzahlverteilung des stehenden Bestandes

als vielmehr die Durchmesserverteilung bei Nutzungen ausschlaggebend sind. Ein entsprechender Vergleich beweist, dass bei den Brusthöhdurchmessern der genutzten Stämme noch grössere Unterschiede zugunsten des Plenterwaldes bestehen (Abschnitt 3.2.2, Abb. 3.10).

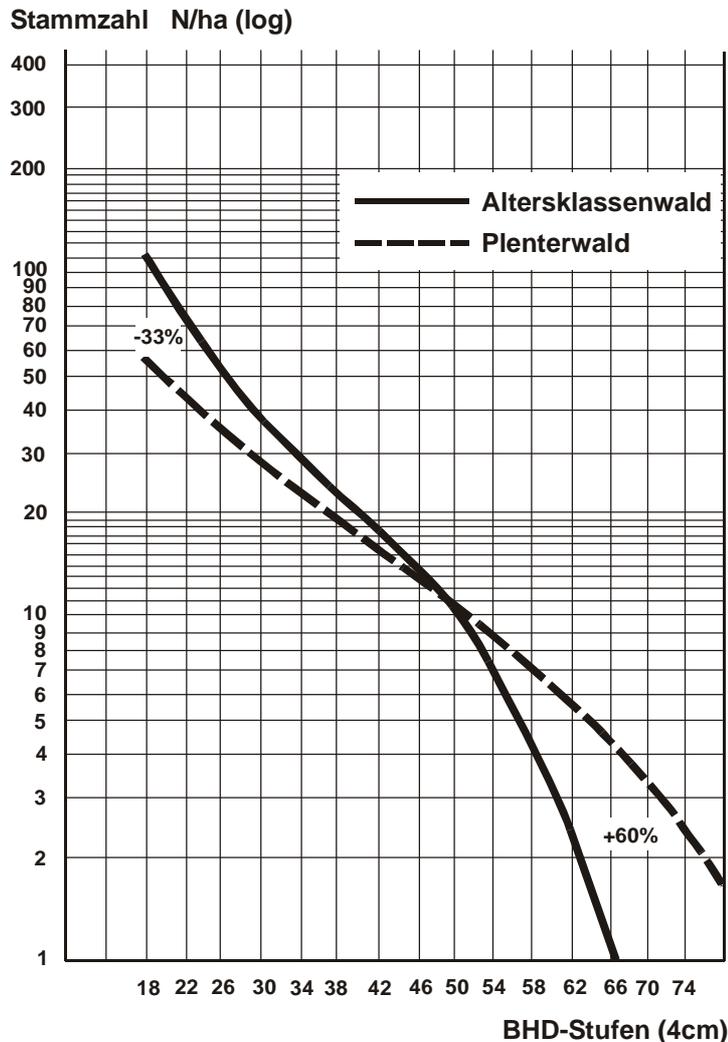


Abb. 1.2: Vergleich der Stammzahlverteilungen der Modelle "Altersklassenwald" und "Plenterwald".

Beide Modelle erfüllen die Nachhaltigkeitsanforderungen: d.h. nachhaltiger und autarker Nachwuchs im Plenterwald und ein ausgeglichenes Altersklassenverhältnis im gleichförmigen Hochwald.

Datengrundlagen:

Montaner, von Nadelbäumen dominierter Plenterwald (Tanne, Fichte), Gemeindewald Couvet (Schweizer Jura). Höhenlage: ca. 840 m ü.M; Waldgesellschaft: mesotropher Buchen-Tannenwald. Gleichgewichtskurve (nachhaltige Stammzahlverteilung) nach Schütz (1975); vgl. Abschnitt. 2.2.3.

Gleichförmiger Hochwald: Modell nach Schweizer Ertragstafeln für die Fichte (Badoux 1968), Bonität 22 (Oberhöhe im Alter 50 in m; im Alter 100: 35 m), starke Hochdurchforstung.

Die herausragenden ökonomischen Vorteile dieses Systems werden vor allem dann deutlich, wenn man das bei Bäumen geringer Durchmesser ungünstige Verhältnis von Holzerntekosten zu Verkaufserlösen kennt. Die Kehrseite dieser Medaille ist, dass der Spielraum bei der waldbaulichen Auslese im Plenterwald wesentlich enger ist. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass in der frühen Jugend sicherlich eine Anpassung an die Bedingungen im Schatten stattfindet, deren Auswirkungen noch weitgehend unbekannt sind. Insgesamt jedoch kann die beschriebene Stammzahlabnahme als ein gewichtiger Vorteil des Plenterwaldes betrachtet werden.

Plenterwaldbäume besitzen lange und, was die Oberschicht betrifft, auch gut entwickelte Kronen. Diese günstige Kronenform verleiht den Einzelbäumen eine hohe Stabilität und die Fähigkeit, während langer Zeit ein gleichmässiges und andauerndes Wachstum zu leisten. Mitscherlich (1963) hat die unterschiedlichen Kronenlängen in Plenterwäldern und gleichförmigen Hochwäldern sehr deutlich dargestellt. Am Beispiel von badischen Tannenwäldern

zeigt er, dass im Plenterwald die Bäume der Unterschicht schmalere Kronen besitzen als die entsprechenden Bäume im gleichförmigen Hochwald. Ihre durchschnittliche relative Länge beträgt rund 30 %. Ab der Mittelschicht jedoch sind es die Plenterwaldbäume, die über besser entwickelte Kronen verfügen. Auch wenn ihre Kronen noch exzentrisch sind, so erreichen sie doch relative Längen von 40 bis 50 %. Die Kronen von Bäumen der Oberschicht schliesslich sind vollkommen ausgeglichen und weisen mittlere Längen von 50 bis 60 % der Baumhöhe auf.

1.1.3 Steuerungsprinzipien im gleichförmigen Hochwald

Im gleichförmigen Hochwald spielt der Wettbewerb in der kompakten Schicht der Kronen eine entscheidende Rolle. Die Bestockung bildet ein mehr oder weniger homogenes Gebilde aus dicht gedrängten und horizontal geschlossenen Kronen (Schütz 1990). Da der Kronenraum des Einzelbaumes mit der Baumhöhe exponentiell zunimmt, ist die Konkurrenz umso ausgeprägter, je schneller das Wachstum und je dichter und lichtundurchlässiger die Kronen sind. In Beständen, die von Natur aus oder anthropogen bedingt nur aus einer Baumart bestehen, ist diese Konkurrenzsituation besonders gut sichtbar. Die Kronen befinden sich alle auf derselben Höhe, so dass der Kampf um Raum für die Entwicklung in einem sehr beschränkten Höhenbereich stattfindet. Diese Aussagen gelten aber nur für die seitliche Konkurrenz. In ungleichförmigen Hochwäldern, in denen sich die Bäume auf unterschiedliche Höhenbereiche verteilen, ergibt sich eine andere Art der Konkurrenz.

1.1.4 Unterscheidungskriterien

In der Natur findet man ab und zu Strukturen, die sich nur schwer der einen oder anderen der oben beschriebenen sylvigenesischen Urformen zuordnen lassen. In der Tat können sich diese beiden Formen gegenseitig durchdringen. Dies geschieht nur lokal und kann zufällig oder eine Folge besonderer Umstände sein. Für die praktische waldbauliche Umsetzung und vor allem für eine kohärente Betriebsführung erscheint es zweckdienlich, Kriterien für die gegenseitige Abgrenzung der beiden Systeme festzulegen. Es handelt sich hier nicht nur darum, Kriterien für eine typologische Unterscheidung zu finden, sondern auch festzuhalten, ab welchem Punkt sich die beiden Systeme konzeptionell unterscheiden.

Die **funktionalen Merkmale** des Plentersystems können wie folgt formuliert werden:

- System mit **ununterbrochenem Nachwuchs**, der auf einer begrenzten Fläche nachhaltig und autark ist (Anhalt: 1 ha).
- Im Mittelpunkt des Interesses steht die Verwirklichung einer Struktur, die geeignet ist, Beständigkeit zu gewährleisten. Diese Urform wird als **Plenterstruktur** oder als **Plenterverfassung** bezeichnet.
- Es gibt **keinen freiwilligen Unterbruch des Kronendachs**, der über die Grösse eines Lichtschachtes hinausgeht (ca. eine Baumlänge). Es gibt insbesondere **keine räumliche Ordnung** dieser Löcher, auch nicht aus Gründen der Verjüngung oder des Holztransportes.
- Daraus resultiert eine mehr oder weniger **individualisierte Produktion** im Schosse des Kollektivs sowie eine **vertikale Anordnung** der Bäume.
- Der **Zuwachs bleibt konstant**, zumindest innerhalb eines relativ weiten Vorratsbereichs.
- Auf den ganzen Bestand bezogen gibt es langfristig **keine Veränderungen der ökophysiologischen Bedingungen**, innerhalb des Bestandes jedoch besteht eine grosse Variabilität.

- Der Begriff "Umtriebszeit" verliert seine Bedeutung. Im erweiterten Sinn **wirkt sich auch das Alter nicht direkt auf das Wachstum aus**. Der Begriff "Alter" kann durch den Begriff "Durchmesser" ersetzt werden.
- Ein Plenterwald im strengen Sinne ist **nicht vorstellbar ohne Eingriffe**. Im Urwald sind die Plenterstrukturen sehr selten zu finden und sie sind nie dauerhaft (Leibundgut, 1978). Dies gilt umso mehr, als die Bestockungen monospezifisch zusammengesetzt sind. So ist die Plenterstruktur in reinen Buchenurwäldern aus Gründen der Biomasseakkumulation nicht möglich (Schütz, 1997) bzw. nie nachweisbar (Reh, 1993), da die Bestockungen einen Vorrat von 400 m³/ha nie unterschreiten (Korpel, 1995). Sogar im für eine stufige Struktur günstigsten Fall der gemischten montanen Tannen-Buchen-(Fichten)-Waldformationen machen Plenterphasen zwischen null (Pintaric, 1978) und maximal 14 % der Waldfläche aus (Mayer et al. 1980, Schrempf, 1986).

Nicht die Art und Weise der Nutzung, und sei sie auch einzelstammweise, ist entscheidend für die Charakterisierung als Plenterwald, sondern **das Vorhandensein eines waldbaulichen Konzeptes** (Leibundgut 1946). Es ist durchaus möglich, hier und dort einzelne Bäume zu nutzen, ohne notwendigerweise Plenterung zu betreiben. Bei der Betriebsart Plenterung befasst sich das waldbauliche Vorgehen mehr mit dem verbleibenden als mit dem ausscheidenden Bestand. Das waldbauliche Vorgehen sorgt sich hauptsächlich um die Voraussetzungen für die Ausbildung derjenigen Struktur, die für das Funktionieren des Systems in Bezug auf eine **Erneuerung im Sinne einer Autarkie** erforderlich ist. Das Streben nach dem Gleichgewichtszustand, von Biolley (1901) als "étale" (Stillstand) bezeichnet, spielt in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle.

Im **Hochwald mit Generationswechsel** dagegen besteht zunächst eine **Trennung der waldbaulichen Massnahmen** entsprechend der Entwicklung der Bestockungen. Während hier die Verjüngungsphase von der Phase der Bestandeseziehung unterschieden wird, verfolgen die waldbaulichen Massnahmen im Plenterwald alle Aufgaben zur selben Zeit und am selben Ort. Namentlich sind dies: Verjüngung, Ausformung der Struktur, Erziehung, Auslese und Ernte (Leibundgut 1946).

In einem Hochwald mit flächenweiser Verjüngung werden während der Erziehungsphase vorzugsweise die **Konkurrenzbedingungen im Bereich der Kronen kontrolliert**. Dies geschieht aus Sorge um eine gute Kronenausbildung oder, allgemeiner formuliert, aus Sorge um das eingesetzte Produktionskapital. Im deutschen Sprachgebrauch existiert dafür der Begriff "Vorratspflege". Wir haben schon unterstrichen, dass dieses waldbauliche System den Vorteil hat, eine gewisse erzieherische Wirkung zu erzeugen. Dabei stehen während der Verjüngungsphase zwei Ziele im Vordergrund: zum einen die Wahl einer zur Erreichung des Bestockungszieles adäquaten Verjüngungstechnik und zum anderen die Rücksichtnahme auf eine durch Holzabfuhr und Windwurfisiko festgelegte räumliche Ordnung.

Anzufügen ist, dass die Begriffe "horstweise Plenterung" oder sogar "bestandesweise Plenterung", die insbesondere in Belgien (Roisin 1981) zuweilen verwendet werden, sowohl in semantischer wie in funktionaler Hinsicht nur Verwirrung stiften. Die Bedeutung dieser Begriffe scheint nicht mit der Art des Wachstums im Plenterwald kompatibel zu sein und auch nicht mit den Bedingungen für die Nachhaltigkeit des sylvigenesischen Systems der Plenterung. Eine Waldform, die aus sogenannten Horsten zusammengesetzt ist, die per Definition eine Fläche von mehr als 10 Aren einnehmen, muss hinsichtlich der Sylvigenese eindeutig den Kollektivsystemen zugeordnet werden. Wenn die Kollektive unterschiedlichen Alters zufällig und ohne räumliche Ordnung verteilt sind, kann man sie einer mosaikartigen Waldform zuordnen, welche funktional näher am Schweizerischen Femelschlag als an der Plenterung steht.

1.1.5 Minimalfläche

Zur Unterscheidung der Betriebsart Plenterung von jener mit flächenweiser Verjüngung kommt dem Begriff der minimalen Bezugsfläche oder Minimalfläche eine hohe Bedeutung zu. Auf dieser Fläche sollen die Voraussetzungen für einen nachhaltigen und autarken Nachwuchs erfüllt sein.

Die Nachhaltigkeitsbedingungen werden im allgemeinen durch jedes beliebige waldbauliche System erfüllt, sofern die Bezugsfläche gross genug gewählt wird. Selbst im Fall von Kahlschlägen, d.h. einer Betriebsart, die das absolute Gegenteil zur Plenterung darstellt, ist es durchaus möglich, einen nachhaltig aufgebauten Betrieb zu haben – sofern man dieses Kriterium auf Flächen von mehrere hundert Hektare bezieht! Im Fall des Schweizerischen Femelschlags, bei dem dezentral und kleinflächig verjüngt wird, kann die Bestandesverfassung zwar Ähnlichkeiten mit derjenigen zeigen, die aus der Praxis der Plenterung resultiert. Trotzdem ist der Femelschlag nach wie vor der anderen sylvigenesischen Waldform zuzuordnen, weil er einen Generationswechsel anstrebt. Er unterscheidet sich somit grundlegend von der Plenterung (Leibundgut 1946).

Das Problem der Minimalfläche besteht vor allem darin, sie objektiv und vernünftig zu definieren. Die Beantwortung der Frage, wie hoch die Auflösung bzw. wie klein die Bezugsfläche sein soll, setzt einige Kenntnisse voraus. Obwohl Plenterwald den Eindruck erweckt, er habe immer und überall das gleiche, unveränderliche Aussehen, weist sein Kronendach selbst im perfekten Gleichgewichtszustand eine starke Heterogenität auf. Dies führt zu beträchtlichen Unterschieden innerhalb eines Bestandes. Weidmann (1961) hat gezeigt, dass für Plenterwaldflächen von 1 ar der Variationskoeffizient (prozentuale Streuung) für den Vorrat rund 60 % beträgt. Im erwachsenen gleichförmigen Wald liegt dieser Wert mit rund 20 % wesentlich tiefer (Abb. 1.3). Die prozentuale Streuung im Plenterwald verringert sich mit zunehmender Grösse der Bezugsfläche, wobei ab 10 ar nur noch geringe Veränderungen stattfinden. Aber auch dann ist die prozentuale Streuung mit 15 bis 20 % noch deutlich höher als im gleichförmigen Hochwald (<5 %).

Die örtlich stark ausgeprägte Heterogenität im Plenterwald trifft auch für die Form von Öffnungen im Kronendach, für die Form von Verjüngungskollektiven und für die Textur der Oberschicht zu. Die Öffnung des Kronendachs geschieht zunächst zufällig, d.h. ohne besondere räumliche Ordnung. Sie führt meist zu Lichtschächten bzw. Löchern in der Breite eines ausgewachsenen Baumes. Öffnungen mit einem Durchmesser von mehr als einer Baumlänge sollten nicht entstehen, zumindest nicht absichtlich.

Die **Anordnung** der Bäume in der Oberschicht kann sehr **unterschiedliche Verteilungsmuster** aufweisen. Sie kann von einer **gleichmässigen Verteilung** (Einzelbaum neben Einzelbaum) bei der Einzelplenterung bis hin zu **geklumpten Verteilungen** bei der **geschonten Plenterung oder Gruppenplenterung** reichen. Wenn die räumliche Anordnung dieser Gruppen rein zufällig ist, darf von einer Gruppenplenterung gesprochen werden (Favre 1956, Leibundgut 1979). Wenn aber die Ausdehnung dieser Klumpen die Grösse einer Gruppe (10 ar) übersteigt, dürften die Kriterien für die Plenterung, z.B. bestimmte Strukturmerkmale oder die Art und Weise, wie die Bäume in gegenseitigen Beziehungen stehen, nicht mehr erfüllt sein. Es kommt hinzu, dass allein die Individualisierung der Bäume die plenterwaldeigenen Wachstumsgesetze zum Tragen kommen lässt. Dieses Wachstum ist mit der Ausformung einer grossen Krone verbunden, welches den erwachsenen Bäumen erlaubt, ein lang andauerndes Dickenwachstum aufrecht zu halten.

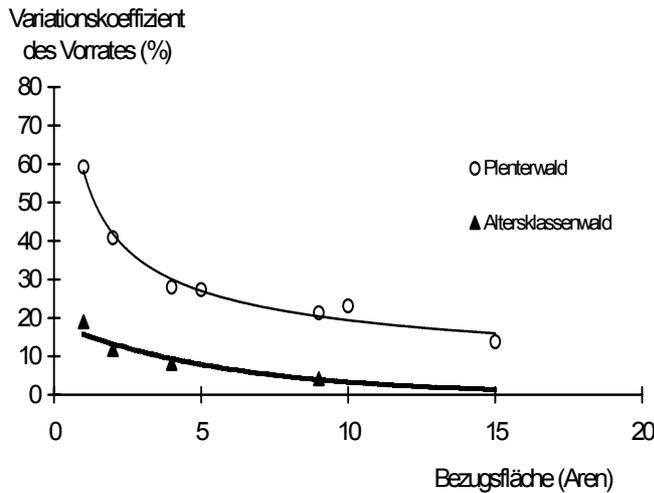


Abb. 1.3: Prozentuale Vorratsstreuung in Abhängigkeit von der Grösse der Bezugsfläche in einem Emmentaler Plenterbestand (Toppwald) und in einem gleichförmigen Fichten-Altholz (Chanéaz).

Angegeben ist der Variationskoeffizient (%) für den Vorrat. [Nach Weidmann, 1961]. Für Bezugsflächen über 9 ar wurde die Abbildung vom Verfasser unter Verwendung von Originaldaten ergänzt.

Demgegenüber stehen die Verjüngungs- und Nachwuchsgruppen (in den Entwicklungsstufen von Jungwuchs bis schwaches Stangenholz) meistens geklumpt in Kleinkollektiven gruppiert und asymmetrisch verteilt (Abbildung 1.4), wie die Beobachtungen von Duc (2000) in den Plenterwäldern von Couvet (Nord- und Südhang) zeigen. Die Nachwuchsgruppen weisen meistens Grössen zwischen 1 Are bis 3 Aren auf. Ihre Dichte bewegt sich zwischen 0 bis 13 Gruppen pro ha, d.h. es sind Abstände zwischen den Gruppen von 15 bis 50 m, mehrheitlich 20 Meter.

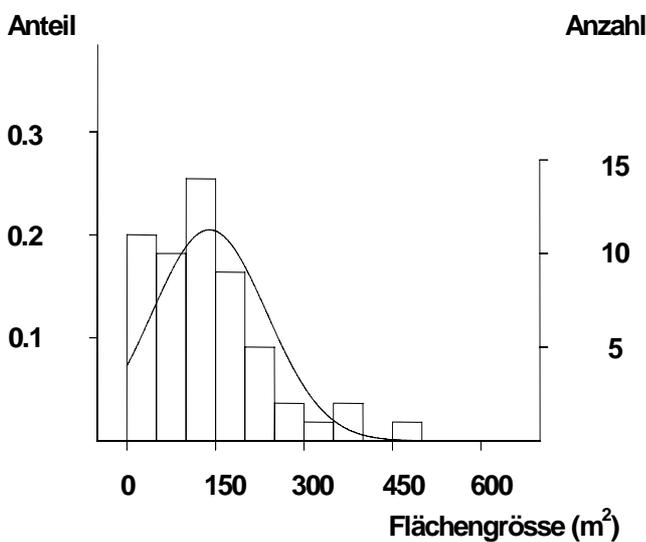


Abb. 1.4: Verteilung und Aggregierungsform der Nachwuchsgruppen in Tannen-Buchen-(Fichten)-Plenterwäldern.

Fallbeispiel der Wälder von Couvet [nach Duc, 2000]

So weist der Plenterwald zwei ineinander fließende Verteilungsmuster auf. Einerseits kommen die Jungbäume in einer geklumpten Anordnung in Kleinkollektiven vor, andererseits stehen sie ab Stangenholzstufe mehr oder weniger in einer Einzelvermischung. Dies muss bei einer Diskussion um die Frage der Verteilungsform berücksichtigt werden. Wenn von Gruppenplenterung die Rede ist, wird in der Regel die Verteilung der Bäume in der Oberschicht und nicht die Entwicklungsstufe der Verjüngung angesprochen.

Im Abschnitt 4.1.6 wird am Beispiel der Thüringer Buchen-Plenterwälder erläutert, warum im Fall von Laubbäumen, namentlich der Buche, eine Anordnung in Form von kleinen Kollektiven günstig ist. Durch ein solches Vorgehen können einige Nachteile des individualisierten Wachstums von Laubbäumen vermieden werden, z.B. die Schlechtformigkeit als Folge des

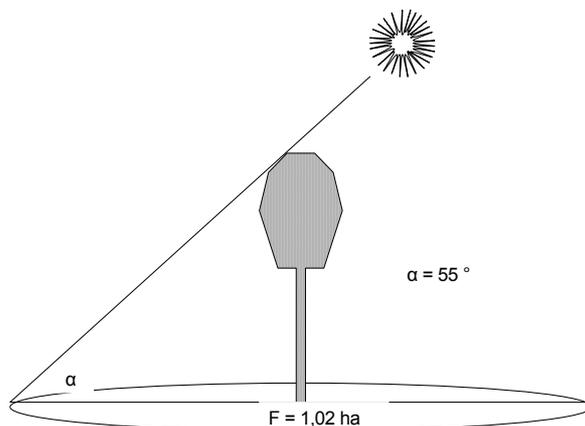
sympodialen Wachstums. Dadurch wird es möglich, einen Kompromiss zu finden zwischen der Notwendigkeit der Erziehung einer Baumart in Kollektiven aus mehr oder weniger gleichaltrigen Bäumen und den Bemühungen zur Förderung der Ungleichförmigkeit.

Für die praktische Anwendung der Plenterung als Betriebsform, d.h. auf der operationalen Ebene, ist es durchaus möglich, eine Minimalfläche festzulegen. Sie ist insbesondere für Bauernwälder geeignet, dient dort aber lediglich als Anhaltspunkt. Eine Schätzung kann z.B. von der gewünschten Nutzung ausgehen: Wenn im normalen Eingriffsturnus von 8 Jahren jeweils drei Bäume der Oberschicht entnommen und trotzdem die Nachhaltigkeitskriterien beachtet werden sollen, so erhält man eine Minimalfläche in der Grössenordnung von 1/3 ha.

Die Frage der minimalen Referenzfläche im Zusammenhang mit dem Plenterwald muss also nach den zu betrachtenden Grössen differenziert angegangen werden. Ist man z. B. an der Demographie interessiert, soll mit einem repräsentativen Stammzahlkollektiv bezüglich Verteilung und Wuchsgrössen gearbeitet werden. Für eine nach 4 cm-Stufen (oder 5 cm) vertretbare Verteilung braucht es eine Bezugsfläche von zumindest 1 bis 2 ha. Wenn man hingegen Verjüngungsfragen studieren will, bedarf es einer Ausrichtung auf einem biologisch minimalen Wirkungsbereich wie unten erläutert.

Biologisch minimaler Wirkungsbereich

Weil im Plenterwald das Eindringen diffuser Lichtverhältnisse bis ins Bestandesinnere die Hauptregelgrösse des Wuchssystems darstellt, können wir den **minimalen Wirkungsbereich** durch die Länge des Schattenwurfes der bestandesbildenden Elemente der Bestockung (d.h. der Bäume der Oberschicht) definieren.



Schattenwurf in Funktion der Baumhöhe:

Höhe:	Schattenlänge:	Fläche:
40 m	57,1 m	1,025 ha
35 m	50,0 m	0,785 ha
30 m	42,8 m	0,577 ha

Abb. 1.5: Biologisch wirksamer Wirkungsbereich im Plenterwald

Unter Annahme einer bezüglich Photosynthese repräsentativen Sonnenposition (zum Zeitpunkt der maximalen Photosynthese, also in etwa zwischen Anfang Juni und Mitte Juli) ergibt sich mit einem Einstrahlungswinkel von 55° (Schütz, 1999c) einen Schattenwurf am Boden von 57 m für Bäume von 40 m Höhe. Der diesem Radius entsprechende Umkreis weist eine Fläche von rund 1 ha auf. So lässt sich die Referenzfläche für Probleme der Beschattung der Verjüngung auf eine solche Fläche abgrenzen. (siehe Abb. 1.5).

Umgekehrt betrachtet wird der Einflussbereich der Beschattung einer Verjüngungsgruppe durch eine sog. Lichtkegel mit einem Winkel von 55° abgegrenzt.

1.2 VERÄNDERUNG DER RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE WALDBEWIRTSCHAFTUNG

1.2.1 Verschärfung des Konfliktes Ökonomie – Ökologie

Die immer breiter werdende Kluft zwischen Ökonomie und Ökologie beeinflusst die bestehenden Konzepte zur Waldbewirtschaftung sehr viel tiefgreifender als man sich bisher vorzustellen vermochte. Dieser Einfluss hat entscheidende Auswirkung auf die waldbaulichen Konzepte. Die erwähnte Kluft lässt sich einerseits durch betriebswirtschaftliche Schwierigkeiten (mangelnde Rentabilität) und andererseits durch das Auftreten neuer gesellschaftlicher Bedürfnisse und Wünsche, die sich immer mehr auf einer ideellen Ebene befinden, erklären.

Gewinn/Verlust im Holzproduktionsbetrieb (Fr/m³)

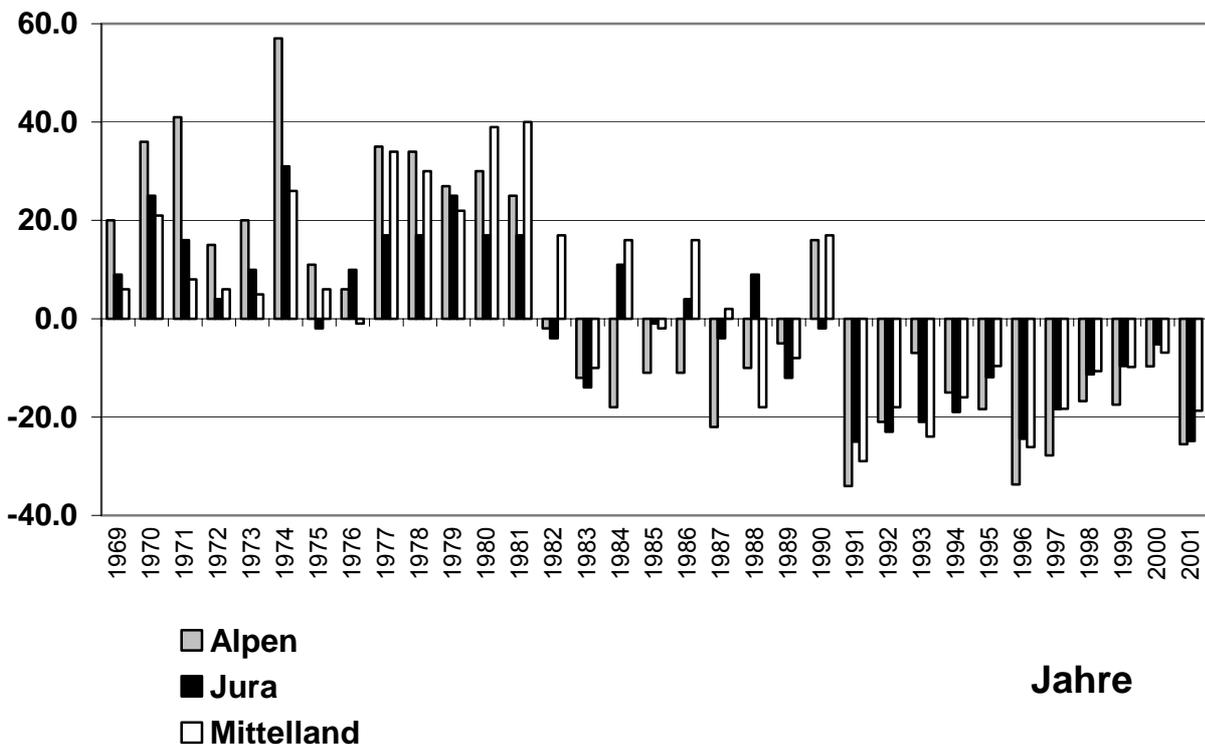


Abb. 1.6: Ertragsentwicklung in öffentlichen Forstbetrieben der Schweiz von 1969 bis 2001;

Finanzielle Ergebnisse aus Betriebsabrechnungen (BAR) repräsentativer Forstbetriebe des Verbandes Waldwirtschaft Schweiz für die drei Regionen Jura, Alpen und Mittelland.

In der Schweizer Forstwirtschaft wurde der kritische Punkt, an dem die Kosten für die Holzernte und die Bewirtschaftung der Wälder den Wert des verkauften Holzes übersteigen, um das Jahr 1985 erreicht. Dieser Vorgang geschah wenige Jahre, nachdem die Holzpreise ihren höchsten Stand erreicht hatten und lange Zeit, bevor ihr dramatisches Absinken begann (Abb. 1.6). Es erfolgte danach ein unvermeidliches Abgleiten ins Ungewisse. Bemerkenswert ist, dass dieser

kritische Punkt gleichzeitig von Forstbetrieben im Gebirge als auch von Betrieben in den Voralpen und in der Ebene (Schweizer Mittelland) erreicht worden war, und dies, obwohl bei den beiden zuletzt genannten Betriebskategorien nach wie vor sehr viel günstigere Bedingungen für die Holznutzung vorliegen. Dies unterstreicht die strukturelle Dimension der beschriebenen Entwicklung.

Für Deutschland stellt Spellmann (1996) seit den 60er und 70er Jahren eine identische Entwicklung der forstlichen Erträge fest, die nach und nach immer offenkundiger zu einer eigentlichen Krise führt. Kenk et al. (1989) berücksichtigen in ihrer Untersuchung die Kosten der biologischen Produktion. Mit ihrem Vergleich der Erntekosten und der Nettoerlöse nach Brusthöhendurchmessern zeigen sie, dass Ende der 80er Jahre der Grenzdurchmesser, ab welchem positive Nettoerlöse erwartet werden können, für Fichte 28 cm, für Eiche 25 cm und für Föhre und Buche 36 cm beträgt.

Dank dem Vormarsch der Grossmaschinen (Vollernter) hat sich die Situation mittlerweile etwas entschärft, zumindest bezüglich Erntekosten. Sofern die Voraussetzungen für den Maschineneinsatz erfüllt sind (d.h. genügend Bodentragbarkeit und Hangneigung kleiner als etwa 50%), so erlauben die Vollernter die Bereitstellungskosten um etwa 50 % zu senken (Thieme, 1999). Allerdings erlaubt die Harvestertechnologie momentan eher gute Kosteneinsparungen im Bereich der schwachen bis mittleren Holzdimensionen. Für Starkhölzer gibt es mittlerweile auch Grossharvester (zumindest für Dimensionen bis 80 - 90 cm BHD). Weil die Stammgewichte exponentiell zunehmen, kommen dann sehr schwere Maschinen (Last zw. 30 und 40 t) in Frage, deren Einsatz einer angepassten Arbeitstechnik bedarf, z.B. mit Entastung und Stückbildung bei liegenden Bäumen. Eine Kombination von motormanueller Arbeit mit Maschinenarbeit scheint ebenfalls denkbar und bedarf noch der Überprüfung. Abgesehen davon, dass die Bearbeitung sehr starker Bäume (> als 80-90 cm) aus geschonten Plenterwäldern teilweise nur motormanuell möglich ist (zumindest die Fällarbeiten), ist darüber hinaus der geeignete Flächenanteil für den Einsatz der Vollernter für ein Gebirgsland wie die Schweiz mit vielen schlecht tragfähigen Böden begrenzt. Eine Schätzung aufgrund der Informationen des Landesforstinventars ergibt im Durchschnitt einen Anteil von nur 32% der Wälder (Kaufmann, Mitt. BUWAL anlässlich Workshop über Starkholz, Lyss 13.-14.12.1999).

Zur gleichen Zeit werden die Ansprüche zum Schutz der Lebensqualität und des Lebensraumes so ausdrücklich wie niemals zuvor geäußert. Dies ist eine Folge der Tatsache, dass immer mehr Menschen die Umweltprobleme bewusst werden und sie die Werte, die mit dem Schutz und der Erhaltung des Lebens auf der Erde verbunden sind, erkennen. Seit der Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (Konferenz von Rio, 1992) haben die beiden Leitmotive 'Nachhaltigkeit' und 'Biodiversität' eine internationale Bedeutung erhalten. Der Bekanntheitsgrad und der Erfolg dieser Leitmotive kann nur mit ihrer aktuellen Bedeutung erklärt werden. Sie haben eine mächtige geistige Bewegung hervorgerufen, welche die tiefe Besorgnis um die Empfindlichkeit der natürlichen Umwelt spiegelt, um die Natur, die das Leben auf dieser Erde hervorbringt und gewährt.

Vom Waldbau wird somit verlangt, er solle zugleich und überall mehr Naturnähe gewährleisten, die Biodiversität erhalten, infolgedessen die Ungleichförmigkeit begünstigen und, indem er diese neuen Ziele verfolgt, gleichzeitig die bisherigen Leistungen erbringen (Holzproduktion, Schutz, Erholung). Und das alles, wohlverstanden, auf nachhaltige Art und Weise und ohne dass die Eigentümer finanziell darunter leiden. Da die Ansprüche auf unterschiedlichen Ebenen gelagert sind, stehen sich somit oft Interessen der Allgemeinheit, von Gruppen und von Einzelpersonen gegenüber.

1.2.2 Waldbauliche Grundsätze werden in Frage gestellt

Die oben beschriebene Entwicklung hat zur Folge, dass bestehende waldbauliche Grundsätze in Frage gestellt werden. In der Tat sind die verschiedenen Arten der Waldbewirtschaftung in einem Umfeld entwickelt worden, in dem Handarbeit sehr kostengünstig war und in dem die Reinerträge erlaubten, ohne grosse Schwierigkeiten so zu handeln, dass den unterschiedlichen Bedürfnissen entsprochen werden konnte. Die Multifunktionalität wurde somit, als ihre Grundsätze einmal allgemein bekannt waren, zu einem Konzept, welches verhältnismässig einfach zu verwirklichen war.

Bis heute basieren die waldbaulichen Konzepte im allgemeinen auf dem Streben nach biologisch optimalen Endzuständen und, was die praktische Umsetzung betrifft, auf dem Prinzip der Ausschliesslichkeit. Dieses Prinzip erfordert, dass allen Bäumen, die einen Bestand bilden (Behandlungseinheit), dieselbe Funktion zugewiesen wird. Natürlich gab und gibt es teilweise beträchtliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Konzepten, so zum Beispiel zwischen einem verfeinerten, naturnahen Waldbau und solchen Systemen, die mehr auf die technisch-rationelle Nutzung des Rohstoffes Holz ausgerichtet sind. Deutliche Unterschiede bestehen auch zwischen den beiden grundsätzlich unterschiedlichen sylvigenesischen Prinzipien bezüglich Wachstums- und Erneuerungsprozessen, nämlich der flächenweisen und der einzelstammweisen Produktion. Indessen zielen alle diese waldbaulichen Systeme, unabhängig davon, ob das Produktionsziel Wertholz oder Massenware lautet, darauf ab, Boden und Zeit optimal zu nutzen.

Bei dem Vorgehen bestätigt sich, dass die Plenterung als **waldbauliches System** oder **Betriebsart**, die im Hinblick auf das eher beschränkte Gebiet ihrer praktischen Anwendung (vgl. Abschnitt 2.1) von einigen Personen als marginal angesehen wird, aufgrund ihrer Produktionsprinzipien äusserst bemerkenswerte Vorteile bietet. Bei diesen Prinzipien handelt es sich um die ausserordentlich günstige Ökonomie bei der Produktion, die zugleich vollkommen ungleichförmige Struktur und schliesslich die spontane und unter bestimmten Rahmenbedingungen weitgehend selbsttätige Verjüngung. Die daraus erwachsenden Vorteile lassen sie in die Nähe der biologischen Rationalisierung rücken.

Geschichtlich entstammt der Plenterwald - im Sinne eines waldbaulichen Konzeptes - einem aus Laubbäumen zusammengesetzten Mischwald, dem sogenannten **Mittelwald**. Diese Betriebsart war in Europa und anderenorts vom Mittelalter bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts weit verbreitet. Der Mittelwald, über den sehr viele Kenntnisse vorhanden sind, ist somit eine zusätzliche Bezugsgrundlage. Diese Aufgabe kommt ihm zu trotz der notwendigen Vorbehalte bezüglich der aktuellen Gültigkeit des zugrundeliegenden waldbaulichen Systems; sein allmähliches Verschwinden geschieht nicht ohne Grund und kann durch die Unangepasstheit dieser Betriebsart an die derzeitigen Bedürfnisse erklärt werden.

Die Plenterung ist bislang praktisch nur im Bereich der Nadelmischwälder der Bergstufe, das heisst im natürlichen Verbreitungsgebiet der Weissstanne, mit Erfolg angewandt worden. Es erscheint daher zweckmässig zu prüfen, aus welchen Gründen diese so bemerkenswerte Art der Bewirtschaftung nicht weiter verbreitet ist. Auch stellt sich die Frage, warum das Konzept der **lichten Hochwälder**, welches das Gegenstück zur Plenterung für Laubwälder darstellt und in Frankreich zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelt worden war, in der Praxis niemals Bedeutung erlangt hat. Tatsächlich geht es darum, die Grenzen für die Anwendung solcher Systeme zu erforschen.

Der klassische Plenterwald, d.h. der Typ des Tannenmischwaldes der Bergstufe, wird wegen der Fülle an Wissen und Erfahrung als eine besondere Bezugsgrundlage gewählt. Zur Ausdehnung des Plenterwaldmodells auf andere Standortsverhältnisse muss jedoch das

Wissen und die Erfahrung über Plenterwälder erweitert werden. Die Plenterung stellt somit einen Ausgangspunkt für das Studium und für die Veranschaulichung anderer Behandlungsformen im ungleichförmigen Wald dar.

Die Prinzipien der Bestandserziehung, die das Entstehen und Werden eines Bestandes durch Generationswechsel charakterisieren und entscheidend beeinflussen, werden in den Skripten Waldbau I und II behandelt (siehe auch Schütz 1990). Im Zusammenhang mit der Suche nach weniger kostenintensiven waldbaulichen Systemen müssen heute unterschiedliche Formen der **biologischen Rationalisierung** (Schütz 1996) in Betracht gezogen werden.

1.2.3 Ungleichförmigkeit

Die Diskussion über die Biodiversität hat die Frage nach der tatsächlichen Bedeutung der Ungleichförmigkeit von Wäldern für die Biodiversität aufgeworfen. In Abschnitt 2.1 ist die marginale Bedeutung der wirklich und auch von der Funktion her ungleichförmigen Wälder dokumentiert. Die Ungleichförmigkeit dieser Wälder basiert nicht nur auf der mehr oder weniger visuellen Beurteilung der Struktur, sondern beinhaltet die Voraussetzungen für eine autarke, nachhaltige Erneuerung.

Es ist also notwendig, zwischen einer gewissen Ungleichförmigkeit im Kronenraum und einem Entwicklungsmodell zu unterscheiden, welches funktional (d.h. in demographischer Hinsicht) ausgewogen ist und in dem alle Baumalter vertreten sind. Eine eindeutige Definition der Ungleichförmigkeit nach anderen als funktionalen Kriterien ist nicht sehr nützlich. Auch dürfte es in der Realität schwierig sein, aufgrund einer visuellen Einschätzung zu einer absolut objektiven Beurteilung zu kommen. Visuelle Kriterien belassen bekanntlich einen Spielraum für unterschiedliche Interpretationen, was zu Fehlern bei der Beurteilung führen kann. Dies geschieht insbesondere dann, wenn die visuelle Einschätzung der Ungleichförmigkeit mehr von Wunschvorstellungen als von der Realität geprägt ist.

An dieser Stelle soll auch der Begriff "Struktur" diskutiert werden, ein Begriff, der teilweise mit unklaren Vorstellungen verbunden ist. Dabei geht es sowohl um die Definition von Struktur als auch um den Zusammenhang mit waldbaulichen Zielen (soll eine bestimmte Struktur erhalten werden, wie kann sie erhalten werden?). Die Frage, auf welche Art und Weise und durch welches waldbauliche Handeln eine bestimmte Struktur gefördert und schlussendlich erreicht werden kann, ist von besonderer Bedeutung. Der Grund ist, dass die gewünschten Strukturmerkmale sich in den seltensten Fällen auf natürlichem Wege ergeben; meist bedarf es menschlicher Einwirkungen.

Für die begriffliche Klarstellung unterscheidet Scherzinger (1996) zwei unterschiedliche Arten von Struktur:

- horizontale Struktur
- vertikale Struktur

Die horizontale Struktur, in der forstlichen Fachsprache als Textur bezeichnet, beschreibt die horizontale Verteilung der Bäume im Bestand. Sie unterscheidet z.B. zwischen einem grossflächigen Kollektiv und einer Einzelmischung im Plenterwald. Eine horizontale Strukturierung schafft innere Grenzen, die hinsichtlich Biodiversität und Erhaltung von Arten sehr günstig bewertet werden.

Eine vertikale Struktur ist in Naturwäldern selten und an bestimmte Entwicklungspasen gebunden. In Naturwäldern schliessen die jüngeren Bäume im Höhenwachstum rasch zu den

älteren auf, das Kronendach schliesst sich und die Baumkronen bilden eine homogene Schicht. Dies hat zur Folge, dass kleinflächig, d.h. einzelbaum-, gruppen- oder horstweise ungleichaltrige Teile eine sehr ähnliche vertikale Struktur aufweisen wie grossflächig gleichaltrige Teile. (siehe Abb. 1.7) Nur in Wäldern, deren Struktur durch eine Baumartenmischung bedingt ist, führt der damit verbundene anspruchsvollere Waldaufbau zu dauerhaft und hochgradig komplexen Lebensräumen für zahlreiche Organismen und schafft auf diese Weise die Voraussetzungen für eine erhöhte Biodiversität.

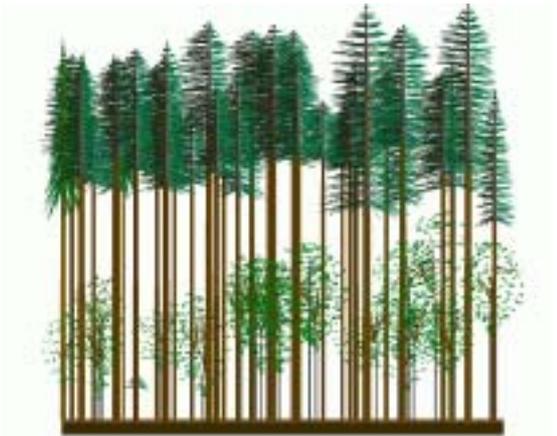


Abb. 1.7: Profil eines seit mehr als 50 Jahren nicht mehr genutzten Tannen-Buchen-Walds in der Nähe der schönsten Plenterwälder von Couvet (Parzelle Wepfler). Vorrat = 997 m³/ha; G = 78,9 m².

Die vorangehenden Feststellungen veranschaulichen, dass eine strukturelle Ungleichförmigkeit keineswegs mit den Prinzipien der natürlichen Biomasseakkumulation konform ist, welche den Waldökosystemen zugrunde liegen. Die Akkumulation von Biomasse führt im Gegenteil dazu, dass Waldstrukturen zunehmend homogener werden und das Kronendach sich schliesst. Während Plenterwald durch eine fortwährende und individuelle Erneuerung gekennzeichnet ist, weisen Urwälder in der Regel eine einigermaßen klare Generationenabfolge auf. Eine Tendenz zur Ungleichförmigkeit lässt sich daher im Urwald nur selten und nur während der fortgeschrittenen Altersphase infolge der beginnenden Walderneuerung erkennen. Da diese Erneuerung aber mehr Gemeinsamkeiten mit einer Verjüngung unter Schirm als mit der einzelbaumweisen Struktur der Plenterung hat, wird eine Plenterstruktur in Urwäldern nur selten angetroffen. Eine Plenterstruktur ergibt sich nur – und auch nur vorübergehend – in von Natur aus gemischten Waldgesellschaften (z.B. montaner Buchen-Tannenwald) oder in klimatischen Kampfzonen (z.B. subalpiner Fichtenwald, dessen Struktur sich grundlegend von der des montanen Fichtenwaldes unterscheidet; Korpel 1982b). In Tannen-Buchen-Urwäldern, die naturgemäss am besten strukturiert sind, macht die Plenterphase nur zwischen 0 und 14 % der Waldfläche aus (Pintaric 1978, Mayer et al. 1980, Schrempf 1986). In Buchen-Urwäldern ist die Plenterstruktur praktisch inexistent (Peters 1992; Reh 1993) oder zumindest selten (Korpel 1995).

Im Plenterwald von einer "natürlichen" Fähigkeit zur Strukturierung zu sprechen, ist deshalb kaum angebracht. Es kommt hinzu, dass die Produktionsform Plenterung jeglicher natürlicher Beständigkeit entbehrt: Ohne Eingriffe des Menschen kann sie nicht fortbestehen, sie geht verloren. Der Grund ist, dass eine Plenterstruktur nur in Verbindung mit einem mengenmässig begrenzten Holzvorrat denkbar ist, der den für die kontinuierliche Verjüngung notwendigen Lichteinfall und die nachhaltige Erneuerung sicherstellt. Diese Voraussetzungen für eine Erneuerung unter Schirm laufen den natürlichen Bestrebungen, die eine Biomasseakkumulation bewirken, zuwider.

Waldbaulich einfacher zu realisieren ist die horizontale Strukturierung (engl.: patchiness). Sie deckt sich relativ gut mit einer kleinflächigen, dezentralen Waldverjüngung. Zusätzlich erlaubt sie, das Problem des Einbringens von Licht auf den Waldboden einigermaßen effizient zu lösen (Schütz 1998a). Bezüglich des Faktors "Lichteinfall bis auf den Waldboden" bleibt festzuhalten, dass dieser Faktor nur während der Phase der aktiven flächigen Auflösung des Kronendachs und damit nur während einer relativ kurzen Zeit einen Einfluss besitzt. Weil im Urwald die abgestorbenen Bäume der alten Generation an Ort und Stelle bleiben und die Verjüngung meist schon vorinstalliert ist, gibt es praktisch keine kahlschlagsähnliche Blosslegung des Bodens. Aus ökologischer und biotopischer Sicht tritt daher auch bei dem eher seltenen Fall des grossflächigen Zerfalls niemals eine Situation auf, die mit der Blosslegung des Bodens im bewirtschafteten Wald vergleichbar wäre. Eine entscheidende Rolle spielt dabei das Vorhandensein von Bestockungslücken (Lichtungen) und ihre räumliche Verteilung.

Eine adäquate, kleinflächig dezentrale, aber klar erkennbare kollektivweise Verjüngung in Gruppen bis Horsten, wie sie im Femelschlag praktiziert wird, konzentriert den Lichteinfall auf die in Verjüngung begriffenen Waldpartien. Im Femelschlagsystem verschieben sich die dezentral entstehenden Verjüngungszentren zeitlich und örtlich immer weiter. Eine Waldverjüngung im Femelschlagsystem ist daher im Grunde nichts anderes als eine Anwendung der Mosaik-Zyklus-Erneuerung des Naturwaldes. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass im Wirtschaftswald der Boden längere Zeit blossgelegt bleibt und der Anteil an solchen lichten Stellen wesentlich höher ist als im Urwald (Schütz 1998a). Der in der Schweiz praktizierte Femelschlag scheint also für die Förderung eines hohen Lichteinfalls auf den Waldboden eine der günstigsten waldbaulichen Methoden zu sein. Er führt zu einer Vernetzung von kleinen dezentralen, in der Erweiterungsphase auch grösseren "Licht-Patches", auf die das Licht (zumindest vorübergehend) konzentriert einfällt. Diese günstigen Eigenschaften lassen namhafte Erhaltungsbiologen wie Scherzinger (1996) von einer idealen Form zur Förderung der Biodiversität sprechen.

Offen bleibt die Frage, ob die Anzahl und die Verteilung der "Licht-Patches" im Femelschlagwald für die Erhaltung von besonders lichtbedürftigen Pflanzen genügen. Ebenso ungeklärt ist, wie die Verjüngungspartien vernetzt sein müssen, damit die Erhaltung der betreffenden Pflanzenarten durch kontinuierliche Ansamung garantiert ist. Die entstehenden Lichtschächte ("Licht-Patches") sollten zeitlich und örtlich so vernetzt sein, dass das Resultat die minimalen Vermehrungsbedürfnisse befriedigt. Um diese aus erhaltungsbioogischer Sicht äusserst wichtige Frage beantworten zu können, sind genaue Kenntnisse über die Verbreitungsweise und -distanzen der Samen der lichtbedürftigen Pflanzen sowie über die Dauer der Dormanz notwendig.

1.2.4 Vereinbarkeit von Plenterung und Femelschlag

Es wäre falsch, die beiden Systeme der Sylvigenese, den gleichförmigen Hochwald einerseits und den Plenterwald andererseits, auf manichäische Weise mit ethischen Begriffen von gut und schlecht zu vergleichen. Eine solche Haltung dogmatisierte allzusehr die Analyse dieser beiden Systeme und würde die Gefahr des Festhaltens an ideologischen Positionen in sich bergen. In Wirklichkeit und gemessen an ihren Leistungen in den betreffenden Lebensräumen ist keines der beiden Systeme perfekt. Oder, etwas genauer ausgedrückt, beide verfügen über Vor- und Nachteile.

Auf der anderen Seite ist es bei der Festlegung waldbaulicher Ziele notwendig, die Aussichten zu ihrer Realisierung in die Überlegungen einzubeziehen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter waldbaulicher Typ verwirklicht wird, hängt von der biologischen Automatisierung des betreffenden Systems ab, d.h. davon, was die Natur ohne starke, korrigierende Eingriffe

von sich aus leistet. Dabei geht es nicht nur um die Erfolgsaussichten, sondern auch um die Kosten der waldbaulichen Massnahmen. Wenn zur Erreichung eines bestimmten Zieles voraussichtlich häufige und starke Eingriffe erforderlich sein werden, können die dadurch entstehenden hohen Kosten verbieten, das Ziel weiter zu verfolgen.

Im Grunde entspricht dies den Prinzipien effizienter naturoportuner Ökosystembewirtschaftung, die vorschreiben, mit so geringen Kosten wie nur möglich und nur dort einzugreifen, wo die Natur nicht von sich aus auf das angestrebte Ziel zusteuert. Diese Denkweise eines um die Wirksamkeit seiner Eingriffe besorgten Waldbaus kann nichts treffender charakterisieren als ein Aphorismus von Bacon (1620): «Nature to be commanded must be obeyed» (Wer der Natur befehlen möchte, muss sich von ihr leiten lassen). Um die Möglichkeiten und Leistungen von Waldbausystemen besser bestimmen zu können, müssen ihre Grenzen sorgfältig abgeschätzt werden. Auch dürfte es notwendig sein, sich mit den komplementären Bestandteilen anderer waldbaulicher Systeme zu befassen.

Die Vorteile, die eine weite Verbreitung der Ungleichförmigkeit mit sich bringt, sind keineswegs so offenbar, zumal sich eine Ungleichförmigkeit nicht einfach verwirklichen lässt. Die Vorteile werden oft überschätzt und sind bei näherer Betrachtung häufig nur von den Nachteilen abgeleitet, die extremen waldbaulichen Systemen wie Monokulturen oder Kahlschlägen zugeschrieben werden. In Wirklichkeit steht deshalb nicht so sehr das Streben nach Ungleichförmigkeit im Mittelpunkt des Interesses als vielmehr die Überführung ausgeprägt gleichförmiger Wälder in gemischte. Aber allein schon dies erfordert eine gründliche und sorgfältige waldbauliche Arbeit, die mit einem beträchtlichen Einsatz von Personal und vor allem waldbaulicher Kompetenz verbunden ist.

Eine Ungleichförmigkeit, und damit wird eines der grössten Probleme bei der Einführung des Plentersystems angesprochen, lässt sich nur durch erhebliche Anstrengungen sowie starke, gezielte und wiederholte Eingriffe erreichen. Diese dienen dazu, die natürliche Entwicklung in Richtung Gleichförmigkeit häufig zu unterbrechen. Angesichts dessen kann man sich fragen, ob das Streben nach Ungleichförmigkeit, d.h. das Handeln wider natürliche Entwicklungstendenzen, auch anderswo und auf andere Art gerechtfertigt ist als nur an solchen Orten, an denen sich eine Plenterstruktur von Natur aus annähernd einstellt oder wo sie sich leicht verwirklichen lässt (z.B. an Waldrändern). In diesem Zusammenhang sei der Hinweis erlaubt, dass in den Aussagen einiger Naturschützer, welche die Ungleichförmigkeit fördern und gleichzeitig den Wald sich selbst überlassen möchten, ein offenkundiger Widerspruch enthalten ist. Zumindest lassen solche Aussagen vermuten, dass bislang nicht hinreichend erkannt worden ist, dass die Ungleichförmigkeit ein charakteristisches Merkmal des genutzten Waldes ist.

Insgesamt gesehen hat die Ungleichförmigkeit sicherlich einen positiven Einfluss auf die Vielfalt z.B. der Avifauna (Lebreton et al. 1991, Müller 1991), auch wenn dies nicht in allen Fällen oder für alle Arten zutrifft. Bezüglich einer guten Habitatgestaltung ist die horizontale Strukturierung (Patchiness) noch günstiger als die vertikale Strukturierung zu beurteilen. Einige Vogelarten z.B. sind an das Vorkommen besonderer Baumarten gebunden (v.a. Eiche; Naef-Denzer et al. 1989). Die vogelreichsten Umgebungen übrigens sind Eichenwälder und Auenwälder (Müller 1991), die von Natur aus beide – auch wenn sie mehrschichtig sind – einen eher gleichförmigen Aufbau zeigen.

Abschliessend soll festhalten werden, dass es insbesondere in Laubwäldern weder einfach noch besonders wirkungsvoll ist, dauerhaft ungleichförmige, vertikale Strukturen zu schaffen. Die Gründe, warum an einem Ort eine Ungleichförmigkeit unbedingt erforderlich ist, müssen sorgfältig abgewogen werden. Sinnvoller und realistischer dürfte es oft sein, zunächst an denjenigen Orten auf eine Ungleichförmigkeit hin zu wirken, an denen bereits beste Aussichten

zu ihrer Verwirklichung bestehen und an denen sie sich von Natur aus erhalten kann. Als ein ideales Beispiel dienen Waldränder, bei denen das Licht auf einfachste Weise dosiert werden kann. Wenn die Bemühungen um eine Ungleichförmigkeit mit der Absicht erfolgen, ökologische Wirkungen hervorzurufen, sollten sie zunächst auf die oben genannten Orte, die dafür prädestiniert sind, konzentriert werden. Die Frage, welche Kosten solche Eingriffe verursachen und wer sie übernimmt, bleibt offen. Vorzuziehen sind solche Konzepte, die sich an Überführungstechniken anlehnen, die auf allmähliche Veränderungen abzielen und auf dem Einbezug der Kräfte der Natur basieren.

1.2.5 Plenterung als Modell der Multifunktionalität

Die Plenterung ist ein herausragendes Konzept und kann in vielen Fällen als Vorbild herangezogen werden. Historisch gesehen leitet sich diese Form des Waldaufbaus zwar aus der unregelmäßigen einzelstammweisen Nutzung ab (frz.: furetage), ihre **funktionale Grundlage** aber ist die **Idee der nachhaltigen Erneuerung im Mittelwald**. Ein Sinn und vor allem ein Wert kommt der Plenterung daher nur in dem Masse zu, wie sie auf deren Grundsätze zur Nachhaltigkeit aufbaut.

Der Plenterwald ist aufgrund seiner besonderen Eigenschaften besonders geeignet, vielfältige Leistungen zu erbringen. Da praktisch keine sichtbaren Unterbrechungen der Beschirmung auftreten, stellt er ein interessantes Modell dar. Zu beachten ist aber, dass der Plenterwald nur dort von Natur aus entsteht, wo immer wiederkehrende Störungen auf das Waldgefüge einwirken, d.h. in der Kampfzone exponierter subalpiner Wälder. Anderswo ist die Plenterstruktur einzig und allein dort zu verwirklichen, wo waldbauliche Eingriffe konsequent zur Anwendung kommen. Unter diesen Voraussetzungen ist der Plenterwald selbsterneuernd und stabil und er genügt hohen ästhetischen Anforderungen – zumindest im Vergleich mit einem geschlossenen Hochwald aus denselben Baumarten. Auch wirtschaftlich ist diese Produktionsform sehr interessant, weil sie dem Grundsatz der Konzentration entspricht.

Dies bedeutet nicht, dass ein gleichförmiger, aus mehreren Baumarten zusammengesetzter Wald, der nach dem Beispiel des "**Schweizerischen Femelschlags**" kleinflächig dezentral verjüngt wird, keine vergleichbaren Leistungen liefert. Eine solche Hiebs- oder Verjüngungsart ist unbestritten Teil des waldbaulichen Instrumentariums für eine naturnahe Forstwirtschaft. Für bestimmte Zwecke, **insbesondere für die Bewirtschaftung von Wäldern aus lichtbedürftigen Baumarten**, ist ein solches Vorgehen sogar ausgesprochen zweckdienlich (Leibundgut 1946). Das gleiche gilt für Bestände, die aus vielen Baumarten zusammengesetzt sind und in denen die Bestandserziehung von hoher Bedeutung ist.

1.2.6 Artenvielfalt durch Biotopvielfalt

Da klare und schlüssige Konzepte zur Erhaltung der Biodiversität noch ausstehen, kann die Forstwirtschaft, anstatt sich einzelnen Tier- oder Pflanzenarten zuzuwenden, der **waldbaulichen Arbeit auf der Ebene forstlicher Ökosysteme den Vorzug geben**.

Die Vielfalt von Arten hängt stark von den Biotopen ab, in denen diese Arten auftreten. Da genaue Kenntnisse über Prioritäten für den Schutz und für die Erhaltung von Arten fehlen, sollte der Waldbau danach streben, **eine möglichst grosse Vielfalt an forstlichen Biotopen zu schaffen bzw. zu erhalten**. Ein entsprechender Waldbau wird sich also nicht nur auf eine einzige Behandlungsweise beschränken, sondern **das ganze Angebot an in Frage kommenden waldbaulichen Instrumenten sinnvoll benutzen und kombinieren**. Bei einem solchen Vorgehen werden mit Absicht unterschiedliche Behandlungsweisen angewendet, was

im Endergebnis zu einem Nebeneinander von Beständen führt, die licht und dicht geschlossen sind, gleich- und ungleichförmig, buntgemischt und rein, gross- und kleinflächige Texturen aufweisen und sowohl grossflächiger als auch punktueller oder sogar einer kontinuierlichen Verjüngung wie im Plenterwald entspringen.

Das allgemeine Ziel sollte lauten, so vielfältige Waldstrukturen wie nur möglich zu verwirklichen. Daneben sind jedoch gezielte und punktuelle Massnahmen erforderlich, z.B. für die Waldrandpflege, für die Erhaltung der Biotope von seltenen Arten oder zur Entwicklung oder Schaffung von bestimmten Gestaltungselementen (Requisiten), von denen eine vorteilhafte Wirkung ausgeht. Die Bedeutung des Begriffs "Vielfalt" wird somit um die "**Vielfalt der Prozesse**" erweitert.

Ein solches Konzept kann natürlich nicht rasch umgesetzt werden. Die waldbauliche Praxis geht mit dem von den Vorfahren übernommenen Wald und dem waldbaulichen Wissen sehr sorgsam um, und die Verantwortlichen vor Ort haben die lokalen Besonderheiten und Ansprüche zu berücksichtigen. Für Änderungen müssen immer die Geschichte und die zukünftige Entwicklungsdynamik eines Bestandes beachtet werden. Diese besonderen Umstände führen zu einem grundlegenden Prinzip, dem **Prinzip der Veränderung in der Kontinuität**, welchem z.B. die Überführung folgt.

1.2.7 Komplementarität

In den letzten Jahren ist deutlich geworden, dass das Interesse am Wald als Teil des kulturellen Erbes wächst. Dabei kann an erster Stelle sicherlich der Begriff Biodiversität genannt werden. Es erscheint daher notwendig zu untersuchen, auf welche Art und Weise sich die verschiedenen waldbaulichen Systeme bei diesem Thema ergänzen können. Eine blosse Gegenüberstellung dagegen dürfte keine neuen Erkenntnisse zu Tage fördern. Die in diesem Zusammenhang angestrebte Mehrzwecknutzung beinhaltet mehrere Komponenten, die keineswegs immer gleichgerichtet sind, sondern auch voneinander abweichen oder gegenläufig sein können. Eine Berücksichtigung der sich daraus ergebenden komplexen Wirkungen erfordert deshalb sehr unterschiedliche Lösungen, d.h. sie setzt die Kombination verschiedener waldbaulicher Grundformen voraus. So erfordert zum Beispiel eine Begünstigung der Artenvielfalt nicht dasselbe Vorgehen wie eine Begünstigung der Strukturvielfalt. Im Sinne der Komplementarität ist es sinnvoll, sowohl waldbauliche Mischformen als auch reine Formen zu verwirklichen. Am Schluss bleibt lediglich die Frage, mit welchen Anteilen dies erfolgen soll.

Jedes waldbauliche System, welches zu schematisch ist, schadet dem Prinzip "**Artenvielfalt durch Biotopvielfalt**". Diese Erkenntnis verhilft dem Waldbau gerade zu einem bemerkenswerten Entwicklungsschub. Dabei sollte die sinnvolle Kombination waldbaulicher Systeme stärker als in der Vergangenheit angestrebt werden. Dies darf jedoch nicht dazu führen, dass der notwendige Zusammenhang der waldbaulichen Handlungen verloren geht. Dort, wo Plenterwald überwiegt, stellt sich die Frage, wie dessen Vorteile ausgebaut und Nachteile verringert werden können. Als ein Beispiel sei hier der Mangel an lückigen Waldpartien genannt, der sich unter anderem nachteilig auf den Schutz von Arten auswirkt, die auf lichte und gut besonnte Stellen angewiesen sind (z.B. Auerwild). In der Tat finden Lichtbaumarten im klassischen Plenterwald ungünstige Lebensbedingungen vor. Dies trifft übrigens auch für die gesamte Gruppe der Laubbaumarten zu. Dort, wo der gleichförmige, vorratsreiche Wald dominiert, müssen die Bemühungen darauf abzielen, ungleichförmigere Strukturen sowie genügend offene oder lichte Stellen zu schaffen, die beide für die Biodiversität von hoher Bedeutung sind. Hierzu eignet sich z.B. eine Waldbautechnik, die mit dezentralisierter und zeitlich gestaffelter Verjüngung arbeitet.

Zukünftig bietet sich die Chance, waldbauliche Systeme, die zuweilen aus geschichtlichen Gründen räumlich getrennt sind, vermehrt zu kombinieren. Dabei dürfen die handelnden Personen aber nicht in "waldbauliche Anarchie" verfallen. Das Plentersystem kann aufgrund seiner hervorragenden Stabilität, der nur periodisch notwendigen Eingriffe und seiner Unabhängigkeit von Zwängen der räumlichen Ordnung ohne weiteres in bestehende Waldkomplexe mit flächenhafter Verjüngung integriert werden. Voraussetzungen sind allerdings, dass die Fläche nicht zu klein ist und der Standort sich dafür eignet.

Die Plenterung kann als alleinige Bewirtschaftungsform gewählt werden. Sie ist in diesem Fall **Betriebsart** und wird systematisch angewendet. Diese Auffassung wurde bislang in den traditionellen Plenterwaldgebieten vertreten. Heutzutage, im Sinne der "Artenvielfalt durch Biotopvielfalt", kann die Plenterung relativ problemlos und mit hervorragenden Ergebnissen mit solchen Waldformen kombiniert werden, in denen eine flächenhafte und damit für Licht- und insbesondere Laubbaumarten günstigere Verjüngung praktiziert wird. Für die Festlegung der Flächengröße und für die räumliche Verteilung der gleichförmigen Inseln im ungleichförmigen Umfeld bedarf es – gesunder Menschenverstand vorausgesetzt – keiner festen Regeln. Einzige Ausnahme ist die Forderung nach einer sinnvollen und logischen Anordnung. Aus organisatorischen Gründen und für einen optimalen Betriebsablauf bietet sich an, Planung und Kontrolle auf der Ebene Abteilung vorzusehen. Die auf kleineren Einheiten eventuell auftretenden Probleme hinsichtlich der Kontrolle der Bewirtschaftung können mit Hilfe moderner, computergestützter Planungs- und Kontrollverfahren vollumfänglich gelöst werden. In Wäldern mit topographisch und vor allem standörtlich sehr unterschiedlichen Verhältnissen kann eine solche Strategie ein ausgesprochen sinnvolles Modell für eine kombinierte Bewirtschaftung darstellen.

Die Auflösung, d.h. die kleinste Flächeneinheit, auf der ein Wald alle Leistungen erbringen kann, **hängt davon ab, ob die Bewirtschaftung durch Plenterung oder im Femelschlag erfolgt**. Im Plenterwald kann bereits bei kleinen Flächen von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ ha (Linder 1974) bzw. von 2 bis 4 ha (Leibundgut 1946, 1991) von einem autarken, sich selbst erneuernden System gesprochen werden. Im Femelschlagwald dagegen ist eine waldbauliche Autarkie selbst unter günstigsten Bedingungen, d.h. bei dezentralisierter Verjüngung, einem langen Verjüngungszeitraum und schattenertragenden Baumarten, erst bei grösseren Flächen von rund 5 bis 20 ha möglich (Leibundgut 1979). Für Lichtbaumarten gibt Bosshard (1954) Werte von 7 bis 16 ha an.

Im Zusammenhang mit der Plenterung bleibt allerdings die Frage unbeantwortet, ob die Realisierung eines nachhaltigen Waldaufbaus auf so kleinen Flächen nicht etwas utopisch ist. Tatsache ist, dass allein schon die Schaffung einer funktionsfähigen ungleichförmigen Plenterstruktur erhebliche Anstrengungen mit sich bringt. Es kommt hinzu, dass der Vollzug der Pflegeeingriffe gewährleistet sein muss und das Personal eine adäquate Ausbildung benötigt.

2. FUNKTIONSWEISE UND VORKOMMEN DER PLENTERWÄLDER

2.1 RÄUMLICHE VERTEILUNG DER PLENTERWÄLDER

Um die im Zusammenhang mit Plenterwaldsystemen wichtige Frage nach der räumlichen Verteilung dieser Systeme beantworten zu können, ist es zweckdienlich, zunächst ihre gegenwärtige Bedeutung zu untersuchen. Ein solches Unterfangen erfordert in einem ersten Schritt, sich mit der Definition des Plenterwaldes zu befassen. Dabei zeigt sich, dass wir in der Realität zwischen den jeweils perfekten und typischen Strukturen des gleichförmigen Hochwaldes einerseits und des Plenterwaldes andererseits intermediäre Strukturtypen antreffen.

Da Plenterwald in den mitteleuropäischen Wäldern selten vorkommt - in den plenterwaldreichsten Ländern (Schweiz, Slowenien) handelt es sich um 10 % der bewaldeten Fläche - wird in den nationalen Waldinventuren diese Waldform nicht immer unterschieden. Dies ist namentlich der Fall beim nationalen Forstinventar Frankreichs, welches alle mehr oder weniger ungleichförmige Wälder unter einer Rubrik aufführt. Das österreichische Inventar gibt über den Typ keine Auskunft. Nach Wissen des Verfassers weisen allein die regionalen Inventurstatistiken Deutschlands und der Schweiz Plenterwald getrennt aus, was eine objektive Bestimmung der flächenmässigen Ausdehnung erlaubt.

Für andere Länder beinhaltet Tabelle 2.1 eine Schätzung der flächenmässigen Bedeutung von Plenterwäldern in Zentraleuropa. Sie wurde vom Verfasser auf der Basis von bestehenden grossräumigen Waldinventuren sowie von Befragungen kompetenter Bezugspersonen erstellt.

Tabelle 2.1: Aktuelle flächenmässige Bedeutung des Plenterwaldes in verschiedenen europäischen Ländern

Land	in 1'000 ha	% der bewaldeten Fläche
- Frankreich	~ 150	1,1 %
- Deutschland	~ 60	< 2 %
- Österreich	~ 60	< 2 %
- Schweiz	100	8,4 %*)
- Slowenien	~ 70	~ 6 %
Summe	~ 440	

Grundlage:

F: ONF Regionaldirektion Rhône-Alpes (pers. Mitt. M. G. Rodts) sowie nach IFN.
Französischer Jura: Schätzung von F. Rebeiro (pers. Mitt.).

- D: Allgäu: nach Köstler (1956);
 Schwarzwald: nach Forsteinrichtungsstatistik Baden-Württemberg (pers. Mitt. P. Weidenbach);
 Deutschland gesamt: nach Spellmann (1999);
 Thüringen: Schätzung des Verfassers auf der Grundlage von Biehl (1991).
- A: Bregenzerwald: Forstdienst Bregenz, S. Tschann (pers. Mitt.);
 übrige Landesteile: gesamthafte Schätzung durch den Verfasser.
- SLO: Bončina und Mikulič (2001) geben auf Grund der Forsteinrichtungspläne einen Plenteranteil von 4,1 % der Waldfläche an. Dies ergibt etwa 45'000 ha Wald, wo absichtlich geplentert wird. In Wirklichkeit dürften die Plenterwälder etwas mehr ausmachen. Der geschätzte Anteil von 70'000 ha dürfte realistisch sein.
- CH*): Daten des Ersten Landesforstinventars (pers. Mitt. U. Brändli, WSL; Mahrer 1988).
 Bei der Zweitinventur für das Schweizerische Landesforstinventar 1993-1995 (Brändli und Brassel 1999) sind rund 74'000 ha Plenterwälder mit einzelstammweiser Struktur (=6,2 %) ausgewiesen. Darüber hinaus kommen 26'000 ha Gebirgsplenterwälder mit Rottenstruktur vor.

Bemerkung: Die Vertrauenswürdigkeit der Angaben differiert stark und hängt von der Art der Information (Statistik, Daten aus dem Wirtschaftsplan bzw. Forsteinrichtungswerk, gesamthafte Schätzung) sowie von der Zuverlässigkeit der Kriterien für die Ausscheidung als Plenterwald ab.

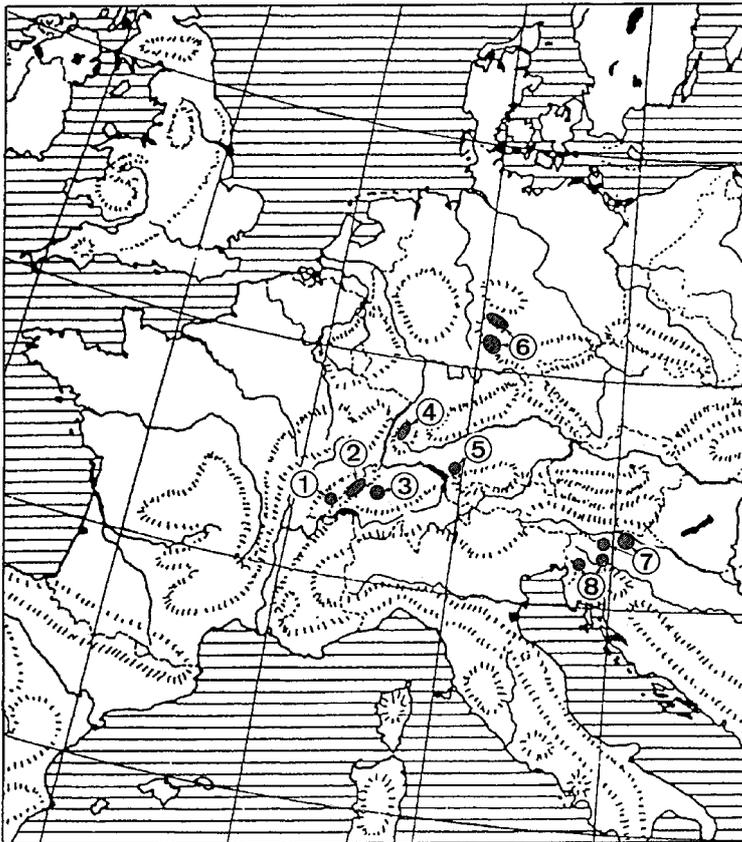


Abb. 2.2: Geographische Verteilung von Gebieten mit langjähriger Plenterwaldtradition

1. Französischer Jura
2. Kanton Neuenburg (Schweizer Jura)
3. Emmental
4. Schwarzwald (badischer Teil)
5. Wälder des Bezirks Bregenz (A) und Allgäu (D)
6. Buchenplenterwälder des Thüringer Beckens (D)
7. Bacher-Berge und Karawanken Nordsloweniens
8. Dinarisches Hochplateau (Karst) in Zentralslowenien (ehemals Krain)

Für manche Gebiete, in denen die Plenterstruktur mit der Einzelbaumnutzung verwechselt wird (was keinesfalls identisch, sondern weit voneinander entfernt ist), ist die Schätzung zweifellos zu hoch ausgefallen. Gleichwohl dürften die obenstehenden Ergebnisse einigermaßen glaubwürdig sein. Bereits auf Länderebene lassen die Zahlen einige Eigenheiten bezüglich der Verteilung des Plenterwaldes erkennen. Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- Mit insgesamt höchstens 440'000 ha, darin inbegriffen einige Plenterwälder in Italien, namentlich in den Ostalpen, in einigen kleinen Gebieten im Trentino und in den Apeninnen (Piuissi 1994), kann die Plenterung als eine seltene oder marginale Bewirtschaftungsform bezeichnet werden.
- Weitere Plenterwälder bestehen in den Karpaten und in Rumänien, auf dem Balkan (3.000 ha in Bulgarien), in Griechenland und sicherlich in Kroatien und Bosnien (einige zehntausend Hektar), wo grossflächig Tannenwaldgesellschaften vorhanden sind. Für die Slowakei werden 3'000 bis 4'000 ha genannt (Korpel, pers. Mitt.).
- Die traditionelle Plenterung wird mit einer Ausnahme (Thüringen) nur in den Tannenwaldgesellschaften des Berglandes und in Gebirgswäldern (subalpine Höhenstufe) angetroffen. Die geographische Verteilung entspricht diesen Waldformationen (Abb. 2.2).
- Nur in zwei Ländern (Slowenien, Schweiz) nehmen Plenterwälder eine verhältnismässig grosse Fläche ein. Der Grund ist, dass in den genannten Ländern die Plenterung für ganze Gebiete als Regelbetriebsart angewendet wird. In anderen Ländern mit langjähriger Plentertradition blieben die Flächen verhältnismässig gering (Tab. 2.3), so z.B. in der Franche-Comté, in den Bauernwaldungen im Bezirk Bregenz (A), im benachbarten Allgäu (D) und in den Buchenplenterwäldern des Thüringer Beckens (D). Gleiches gilt auch für den Schwarzwald, in dem im vergangenen Jahrhundert die gegensätzlichen Ansichten und Interessen bezüglich der Plenterung sehr deutlich hervortraten. Heute wird der Plentertyp dort nur auf wenig mehr als 8% der bewaldeten Fläche angetroffen.

Tabelle 2.3: Aktuelle flächenmässige Bedeutung des Plenterwaldes in traditionellen Plenterwaldgebieten

Gebiet	in 1000 ha	in % der bewaldeten Fläche
- Emmental (Forstkreise 5, 6, 8)	8,4	32,5 %
- Kanton Neuenburg	5,9	20,6 %
- Schwarzwald	29,7	8 %*
- Franche-Comté	~ 65	
- Bregenz (Distrikt)	12	
- Allgäu	3	
- Thüringer Becken	~ 5	
- Slowenien	~ 70	

[Quelle: s. Tab. 2.1]

*) Abetz (1955) berichtet, dass im badischen Teil des Schwarzwaldes in den 50er Jahren auf rund 11% der privaten Waldfläche Plenterwirtschaft betrieben wird. Dabei bestehen je nach Regelung der Erbfolge deutliche Unterschiede: In Gebieten mit grossen geschlossenen Hofgütern (ohne Erbteilung) mit mehr als 50 ha Wald hat der Plenterwald mit 16% Anteil an der Waldfläche eine wesentlich grössere Bedeutung als in Gebieten mit überwiegend realgeteilten Kleinprivatwäldern (7%).

Tabelle 2.4 gibt auf Grund der Ergebnisse des zweiten Landesforstinventars der Schweiz die Verteilung der klassischen (d.h. einzelstammweisen) Plenterwälder sowie der kleinkollektivweise (Rotten) strukturierten Gebirgsplenterwälder nach Regionen in der Schweiz an. Danach

machen die Gebirgsplenterwälder etwa einen Viertel der gesamten Plenterwälder aus. Dieser Anteil variiert je nach Region von 2 % im Mittelland bis 21 % in den Voralpen und 35 % in den Alpenregionen. Nach Höhenlagen gegliedert machen die Plenterwälder in tieferen Lagen (<600 m.ü.M.) 1 % aus, 3 % im Bereich zwischen 600-800 m, 8 % zw. 800-1'000 m, 9 % zw. 1'000-1'200 m, 14 % zw. 1'200-1'400 m, 16 % zw. 1'400-1'600 m, 21 % zw. 1'600-1'800 m und 24 % über 1'800 m.

Tabelle 2.4: Anteil der einzelstammweisen Plenterwälder und der kleinkollektivförmigen (Rotten) Gebirgsplenterwälder nach Regionen in der Schweiz sowie innerhalb der zwei Regionen mit Plentertradition (Emmental und Neuenburger Jura).

1. Aufgliederung nach Regionen

Region →	Mittelland		Jura		Voralpen		Alpen		Schweiz	
	in 1'000 ha	in % der Waldfl.	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
einzelstammweise Plenterwälder	4,5	2,0	12,1	6,2	18,6	8,6	38,6	7,1	73,8	6,2
Gebirgsplenterwälder (%)*	0,1 (2,2)	0,0	0,6 (4,7)	0,3	4,9 (20,9)	2,3	20,7 (34,9)	3,8	26,3 (26,3)	2,2
Total	4,6	2,0	12,7	6,5	23,5	10,8	59,3	10,9	100,1	8,4

(%)* Anteil der gesamten Plenterwälder in der Region.

2. Vergleichsdaten aus den beiden traditionellen Plenterwaldgebieten

Vegetationshöhenstufe	Mittleres Emmental * (%)	Kanton Neuenburg (%)
kolline Stufe	20,7	-
montane Stufe	28,9	18,5
hochmontane Stufe	38,7	25,9
subalpine Stufe	26,1	25,0
Gesamt	32,5	20,6 **

Nach Daten des Ersten Schweizerischen Landesforstinventars (pers. Mitt. U. Brändli, Mahrer 1988).

* Aus statistischen Gründen (Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Regionen) handelt es sich bei den Angaben zum Emmental um Anteile aus den Forstkreisen 5 und 6. Der Forstkreis 8, in dem die Plenterung ebenfalls Tradition hat, bleibt unberücksichtigt.

** Für das Kerngebiet der Plenterung im Kanton Neuenburg, das Val-de-Travers (5'900 ha), ergibt die Stichprobeninventur von Schneider (1994) einen Plenterwaldanteil von 44 %.

- Die Hälfte der inventarisierten Plenterwälder befindet sich in Höhenlagen oberhalb 1400 m ü.M. Bei 26 % aller Plenterwälder kann die Plenterstruktur mit den Begriffen "Kleinkollektiv" oder "Rotten" beschrieben werden. Eine solche Plenterstruktur ist charakteristisch für die ausgesprochen schwierigen Wachstumsbedingungen im Hochgebirge. Korpel (1982b) hat gezeigt, dass unter solchen Bedingungen ein Teil der Wälder von Natur aus offen ist und über eine ausgeprägt ungleichförmige Struktur verfügt. Im Gegensatz dazu weisen die Fichtenwaldgesellschaften der montanen Stufe eine sehr gleichmässige Struktur auf, sie sind dicht und geschlossen. Das zahlenmässig unerwartete Ergebnis ist insgesamt gesehen jedoch richtig und eine Folge des Umstandes, dass sich im Hochgebirge die Plenterstruktur von Natur aus einstellen und erhalten kann.
- Lediglich 74'000 ha Plenterwald sind aus der wohlüberlegten Absicht heraus entstanden, diesen Strukturtyp zu verwirklichen.
- Relativ hoch ist der Plenterwaldanteil in den beiden Schweizer Gebieten mit langjähriger Plenterwaldtradition. Dabei handelt es sich um das Emmental und um den Kanton Neuenburg, in dem die Plenterung auf Veranlassung von Henry Biolley eingeführt wurde. Dies ermöglicht, detailliertere Untersuchungen mit folgenden Ergebnissen durchzuführen (Tab. 2.4, unterer Teil):
 - Die Höhenlage hat einen deutlichen Einfluss. Es bestätigt sich, dass Plenterwälder hauptsächlich in der montanen und hochmontanen Höhenstufe angetroffen werden.
 - Wälder mit einer mehr oder weniger gut ausgeprägten Plenterstruktur besitzen kaum mehr als 30 bis 45 % Anteil an der bewaldeten Fläche. Dieser Anteil ist zwar 3 bis 4 mal höher als in den entsprechenden Höhenstufen und Standorten benachbarter Gebiete ohne Plentertradition, gleichwohl handelt es sich um ein enttäuschendes Ergebnis, wenn man bedenkt, mit welcher Zielstrebigkeit und mit welcher Überzeugung die Betriebsart dort praktiziert wird.

Für die Schweiz kann festgehalten werden, dass von rund 100'000 ha Plenterwald 25'000 ha zur Gebirgsform mit Kleinkollektivstruktur gehören und die übrigen 75'000 ha klassische Plenterwälder mit einzelstammweiser, stufiger Struktur sind. Dies ist verhältnismässig wenig!

Interessant ist im Vergleich zu diesen Zahlen eine Schätzung des standörtlich geeigneten Flächenanteiles, d.h. des potentiellen Vorkommens für die Plenterbewirtschaftung. Die folgende Schätzung basiert auf einer Hochrechnung der in der Schweiz vorkommenden pflanzensoziologischen Einheiten (Kuhn 1998). Danach scheinen 33 % der schweizerischen Waldfläche für die klassische, d.h. einzelstammweise Plenterung potentiell geeignet zu sein (Tab. 2.5). Nimmt man den Flächenanteil der Gebirgsplenterwälder dazu (24 %), ergibt sich ein Wert von 57 % der Waldfläche. In Wirklichkeit aber findet man die Betriebsform Plenterung nur auf 100'000 ha von insgesamt 700'000 ha Wald, d.h. nur auf 14 % der potentiell geeigneten Standorte.

Tabelle 2.5: Schätzung der für die Plenterung standörtlich geeigneten Waldfläche aufgrund des Vorkommens von pflanzensoziologischen Einheiten

für die Plenterung geeignete pflanzensoziologische Einheiten (nach Ellenberg und Klötzli 1972)	Hochrechnung nach Kuhn (1'000 ha)	Schätzung nach Steiger (1'000 ha)	für die Plenterung Geeignet (1'000 ha)
<u>1. traditionelle Plenterung (montane Stufe)</u>			
- Abieti-Fagetum (EK 18, 19, 20)	78		78
- Milio-Fagetum (EK 8, nur montan)		> 50	50
- Cardamino-Fagetum (EK 12)		> 50	50
- montane Tannenwälder (EK 48, 49, 50, 51)	118		118
- Vaccinio-Abietetum (EK 46, 47, 52 und weitere, ohne EK 58, 59, 70)	132	- 7	125
<u>2. Hochgebirgsplenterung (subalpine Stufe)</u>	303		
- Heidelbeer-Fichtenwälder (EK 55, 57 und weitere, ohne EK 56, 60)		- 6	297
montane Stufe gesamt			421 (33,6 %)*
subalpine Stufe gesamt			297 (23,7 %)
Summe			718 (57,3 %)

* = in % der Waldfläche

Die Schätzung der Waldflächen der grossräumigen Waldformationen erfolgte nach Kuhn (1998). Es handelt sich um eine Hochrechnung auf der Basis bestehender regionaler Kartierungen sowie bekannter Vegetationskarten. Für die feinere Unterteilung nach pflanzensoziologischen Einheiten wurde die Schätzung von Steiger (1994) übernommen, wobei in der Regel der untere Rahmenwert eingesetzt wurde.

Folgende Gründe können den Sachverhalt erklären:

- Probleme bei der Einführung der Plenterung auf Standorten mit starker Konkurrenz durch die Bodenvegetation (kolline Stufe),
- die Natur zeigt eine Tendenz zur Bildung gleichförmiger Bestockungen,
- Probleme bei der Überführung, welche der natürlichen Tendenz zu geschlossenen und gleichmässigen Beständen entgegenwirken muss. Hierzu ist mutiges, aber nicht unbesonnenes Handeln erforderlich, auch auf die Gefahr einer Destabilisierung hin.

Die vorangehenden Aussagen machen verständlich, warum die praktische Anwendung der Plenterung – sofern man sich keinen naiven Vorstellungen hingeben möchte - auch weiterhin nur innerhalb bestimmter Grenzen wird erfolgen können. Diese Grenzen werden durch die Schwierigkeiten vorgegeben, das waldbauliche System in Funktion zu setzen und auf lange Sicht funktionsfähig zu erhalten.

2.2 SYSTEMSTEUERUNG IM PLENTERWALD

2.2.1 Grundsätze für die Steuerung im Plenterwald

Bei Wachstumsabläufen im Plenterwald und in ähnlichen waldbaulichen Systemen mit spontaner Erneuerung (z.B. im lichten Hochwald, frz.: *futaie claire*), d.h. in Systemen, in denen es zu keinem Zeitpunkt zu einer beabsichtigten und vollständigen Öffnung des Kronendachs kommt, spielen zwei Beziehungen eine entscheidende Rolle. Die eine und bereits erwähnte Beziehung ist, dass das Wachstum sehr stark vom Belichtungsniveau, d.h. von der erreichten Baumhöhe oder – in allgemeiner Form – von der Baumdimension abhängt. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit kann eine Struktur aber nur dann befriedigen, wenn sie auch einen demographisch genügenden Nachwuchs gewährleistet. Diese zuletzt genannte Nachhaltigkeitsbedingung folgt aus der bestandesweisen Betrachtung im schlagweisen Hochwald auf einem anderen Niveau, nämlich dem eines ganzen Waldes oder einer ganzen Betriebsklasse. Dort ist das Problem der ausgewogenen Verteilung der Altersklassen zu lösen. Im Plenterwald dagegen ist ein gesicherter Nachwuchs ein wichtiger Bestandteil des Produktionssystems und muss daher auf der Bestandesebene erreicht werden.

Im Plenterwald wechseln die Standortbedingungen meist auf kleinerer Fläche und stärker als vermutet. Zwischen dem in der Regel überall ununterbrochenen Kronendach und den auf kleinen Flächen stark unterschiedlichen Strukturen besteht ein scheinbarer Widerspruch (vgl. Aussagen zur Variation des Vorrats in Abschnitt 1.1.5 u. Abb. 1.3). Diese Unterschiede in der Struktur werden aber umso geringer, je grösser die Bezugsfläche ist. Oberhalb von 10 ar sind nur noch geringe Veränderungen feststellbar. Ein weiterer und entscheidender Faktor ist die unterschiedliche Abnahme des zur Verfügung stehenden Lichts vom Kronendach bis zum Boden. Für einen subalpinen Plenterwald in Italien zum Beispiel zeigt Cescatti (1996) anhand eines Belichtungsmodells, dass die photosynthetisch wirksame Strahlung (PAR, *photo-synthetic active radiation*) auf Bodenhöhe zwischen 5 und 35 % der Freilandstrahlung beträgt (Abb. 2.6). Zusammen mit den oben beschriebenen Strukturunterschieden führt diese Belichtungssituation zu einer beachtlichen Variation innerhalb einer bestimmten Fläche.

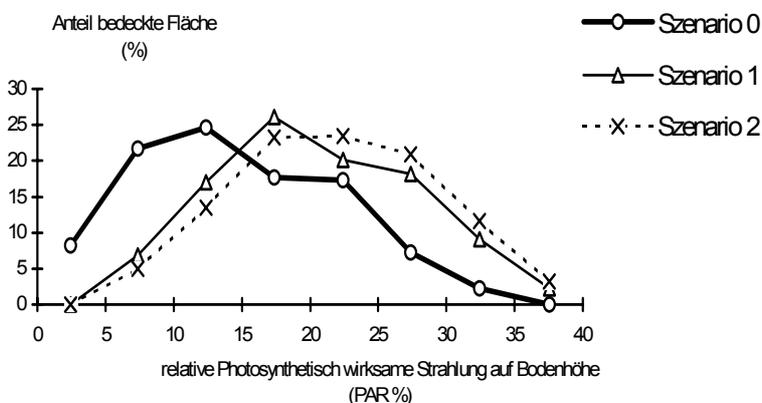


Abb. 2.6: Verteilung der Strahlung auf Bodenhöhe in einem subalpinen Plenterwald.

Dargestellt ist die Variation der photosynthetisch wirksamen Strahlung (PAR) innerhalb eines Bestandes. Die Daten stammen aus Modellberechnungen und geben den prozentualen Anteil der auf den Boden auftreffenden Strahlung in Relation zu Freilandbedingungen an.

Datengrundlage: subalpiner Fichten-Plenterwald am Nordhang des M^t Paganella im Nordosten der italienischen Alpen, Höhenlage 1630 m ü.M.

- Szenario 0: Plenterwald vor dem Eingriff
(Grundfläche: 27,8 m²)
- Szenario 1: nach mässigem Plenterhieb
(Entnahme: 11 % der Grundfläche)
- Szenario 2: nach starkem Plenterhieb
(Entnahme: 22 % der Grundfläche)

[Nach Cescatti (1996)]

Für Studien der Waldstruktur und somit der Nachhaltigkeit im Plenterwald bedarf es eines genügend grossen Umfangs bezüglich Stammzahlen. Für Wachstumsuntersuchungen hat es sich als sinnvoll erwiesen, das Baumkollektiv nach Durchmesserstufen von 4 oder 5 cm zu stratifizieren. Die Stratifizierung ermöglicht zugleich quantitative Aussagen über den Nachwuchs und über die entsprechenden Zuwachsbedingungen. Die obengenannten Aussagen machen verständlich, warum im forstlichen Versuchswesen mit Flächen von mindestens 1 bis 2 ha gearbeitet wird.

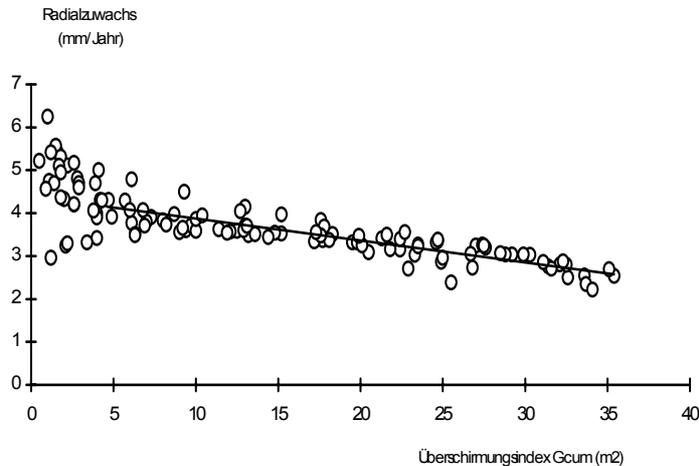
2.2.2 Erfassung der vertikalen Konkurrenz in Plenterwaldsystemen

Studien zum Thema Baumartenmischung haben stets zu berücksichtigen, dass im Plenterwald ein Wettbewerb um das Licht stattfindet, im gleichförmigen Hochwald dagegen mehr eine seitliche Konkurrenz der Kronen und der Wurzelwerke herrscht.

Der Plenterwald ist durch vertikale Konkurrenz gekennzeichnet. Bei der Suche nach geeigneten Kennzahlen für die Beschreibung dieser Konkurrenz erscheint es logisch, Variablen zu verwenden, welche die vertikale Abnahme der Überschirmung ausdrücken. Eine Studie über den Durchmesserzuwachs (Schütz 1975) in zehn Plenterwald-Abteilungen auf Schattenhängen der Region Couvet (Kanton Neuenburg/CH) zeigte, dass ein einziger und zudem relativ einfacher Indikator den Radialzuwachs der Bäume mit guter Aussagekraft erklärt (Bestimmtheitsmass $R^2 = 83\%$). Bei dieser Variablen handelt es sich um die Summe der Grundflächen aller Bäume aus allen höheren als der jeweils untersuchten Durchmesserstufe (G_{cum} oder Überschirmungsindex). Diese Variable ist äusserst einfach zu erfassen, da nur die Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen bekannt sein muss.

Der Index der vertikalen Konkurrenz G_{cum} ist also für jede Durchmesserstufe ein Mass für die Überschirmung durch alle diejenigen Bäume, die höheren Durchmesserstufen. Unter der Annahme einer engen linearen Beziehung zwischen Stammdurchmesser und dem Durchmesser der Kronenprojektion – eine in der Waldwachstumskunde allgemein anerkannte Beziehung – stellt G_{cum} nichts anderes dar als ein Schätzer für die Überschirmung, die sich aus den Einzelkronen aller durchmesserstärkeren Bäume ergibt. Er kann auch als durchmesserstufenbezogener Überschirmungsgrad bezeichnet werden. Diese enge Beziehung zwischen Durchmesserzuwachs und Überschirmung gilt natürlich vor allem für Bäume mit weniger als 50 cm Brusthöhendurchmesser. Bei den durchmesserstärkeren und damit höheren Bäumen, die praktisch ohne Überschirmung aufwachsen, zeigen die Werte eine wesentlich grössere Streuung (Abb. 2.7). Die Entwicklung dieser höchsten Bäume des Bestandes, die nahezu unbehindert wachsen, hängt weniger von der Überschirmung als von anderen Parametern und insbesondere von der Kronendimension ab (Schütz 1969).

Abb. 2.7: Beziehung zwischen Überschirmungs-index G_{cum} und Radialzuwachs im Plenterwald.



Die Werte für den Radialzuwachs nach Durchmesserstufen stammen aus 10 Plenterbeständen auf Nordhängen der Region Couvet (Kanton Neuenburg/CH). Sie gehören derselben pflanzensoziologischen Waldgesellschaft an (mesotropher Buchen-Tannenwald).

Es ist deutlich erkennbar, dass für die stark übershirmten und durchmesserschwachen Bäume (rechts in der Abbildung) eine enge Beziehung zwischen G_{cum} und Radialzuwachs besteht. Diese Beziehung ist für die durchmesserstarken und praktisch unbehindert wachsenden Bäume (links in der Abbildung) wesentlich loser.

[Nach Schütz (1975)]

Auf der Grundlage des obenbeschriebenen Modells mit zwei Eingangsvariablen (BHD und G_{cum}) ist es möglich, verschiedene Plentergleichgewichte in Abhängigkeit vom Ziel-durchmesser (angestrebter Maximaldurchmesser) zu berechnen. Da zwischen den genannten Variablen und dem Zuwachs eine hohe Korrelation besteht, ist auch eine zuverlässige Berechnung der entsprechenden Leistungskennzahlen möglich. Der Verfasser führte am Beispiel der Plenterwälder im Travers-Tal (Schweizer Jura) eine solche Berechnung aus (Schütz 1975). Dabei zeigte sich, dass bei der sogenannten aktiven Plenterung, bei der die Bäume bei Brusthöhdurchmessern von maximal 60 cm geerntet werden, trotz eines relativ niedrigen Gleichgewichtsvorrates eine hohe Produktivität erzielt werden kann. Durch diese Form der Plenterung wird offenbar ein etwas höherer Zuwachs erreicht als bei der klassischen Plenterung, die mit höheren Vorräten arbeitet (Tab. 2.8). Man kann diesen Zusammenhang auf Kompensationswirkungen zurückführen.

Bezüglich der Wahl solcher Indikatoren ist interessant, dass unabhängig von den Arbeiten des Verfassers auch andere Wissenschaftler einen identischen Index verwenden, so Fabjanowski et al. (1974), Wykoff et al. (1982) und Ritchie et al. (1985).

Tabelle 2.8: Simulation des Gleichgewichtsholzvorrates und des entsprechenden Zuwachses bei unterschiedlichen Zieldurchmessern (BHD) auf gleichem Standort.

Zieldurchmesser (max. BHD in cm)	Holzvorrat (m ³ /ha)	Zuwachs (m ³ /ha*J.)
60	261	7,86
80	305	7,74
100	338	7,49
120	359	7,27

Gültig für Buchen-Tannenwald-Standorte auf Nordhängen in der Region Couvet (Schweizer Jura). Die Modellberechnungen gewährleisten die Nachhaltigkeit des Nachwuchses (Plentergleichgewicht) (Schütz 1975).

2.2.3 Nachhaltigkeit des Nachwuchses und Berechnung des Gleichgewichts

Nach der Definition erneuert sich ein Plenterwald auf einer eng begrenzten Fläche aus sich selbst. Die Diskussion, ob dieses Kriterium – zumindest bei der praktischen Anwendung – überall und strikt erfüllt sein muss und auf welcher Waldfläche dies zu erfolgen hat, ist bei weitem nicht abgeschlossen. Für einen Praktiker ist diese Frage jedoch belanglos. Er braucht sich nicht darum zu kümmern, ob die Bedingungen an allen Orten eines Bestandes erfüllt sind. Das Plentergleichgewicht erhält aber dann eine Bedeutung, wenn im Zusammenhang mit der strategischen Dimension des Konzeptes die Wahrung der Nachhaltigkeit angesprochen wird. Von entscheidender Bedeutung ist das Wissen um die Bedingungen (z.B. Vorrat), unter denen eine Plenterstruktur erhalten werden kann. Für die praktische Umsetzung ist es daher notwendig, das theoretische Gleichgewichtsmodell in ein **visuelles Vorbild** zu übersetzen, in eine Art **Idealstruktur**, die durch die waldbauliche Behandlung angestrebt werden soll. Bekannt sein sollte auch, bei welcher Abweichung von den Modellvorstellungen die Gefahr besteht, dass sich das System irreversibel vom gewünschten Ziel entfernt. Gleichgewichtsmodelle sollten in diesem Sinne verstanden werden und nicht als konkrete Anweisungen für die Holzanzeichnung.

Aufgrund eines dynamischen Modells kann das Nachwuchsgleichgewicht für einzelne Durchmesserstufen berechnet werden (Schütz 1975). Ein Durchwandergleichgewicht zwischen Durchmesserstufen besteht, wenn aus der jeweils nächsttieferen Durchmesserstufe genügend Bäume in die betreffende Stufe einwachsen (Einwuchs), um eine waldbauliche Auslese und sonstige Eingriffe zu ermöglichen, die z.B. die Ernte hiebsreifer Bäume oder die Entnahme abgestorbener Bäume umfassen. Die erforderliche Zahl an Nachwuchsbäumen hängt darüber hinaus von der Wachstumsgeschwindigkeit ab. Diese beiden Variablen "Wachstumsgeschwindigkeit" und "Eingriffe" reichen aus, um die Form des Gleichgewichtsmodells zu bestimmen. Entgegen einer häufig geäußerten Auffassung verläuft die Abnahme der Stammzahlen nach Durchmesserstufen nicht gleichmässig. In der halblogarithmischen Darstellung erscheint die entsprechende Stammzahl-Gleichgewichtskurve als eine Sigmoid-Kurve mit einer leichten Abflachung im Bereich der mittleren Durchmesser (Abb. 2.9).

Stammzahl (log)

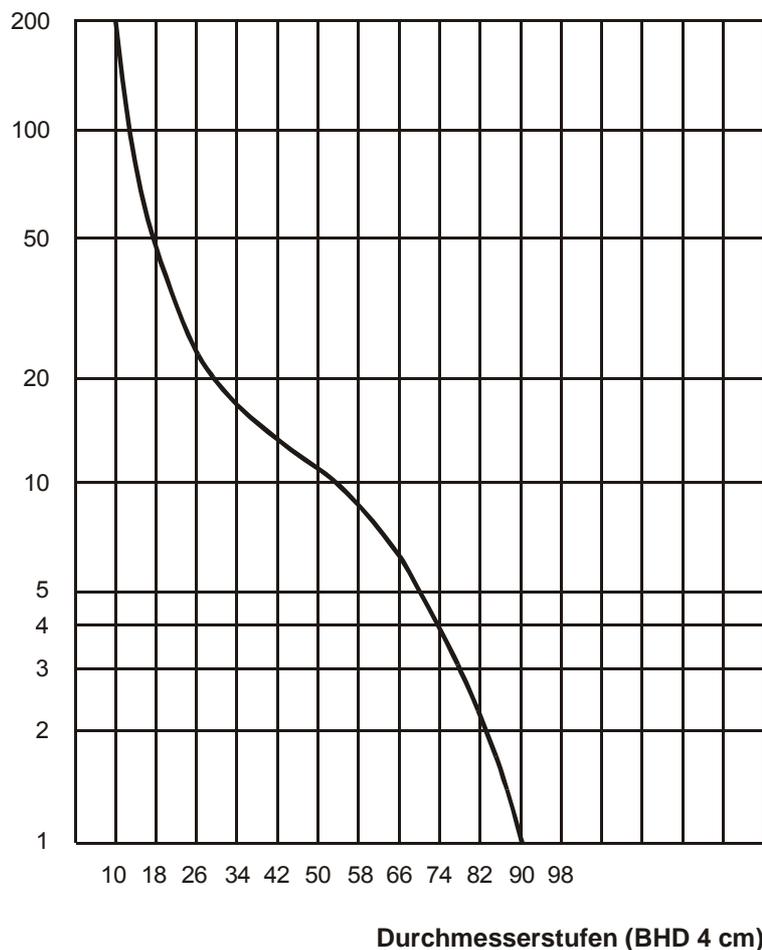


Abb. 2.9: Stammzahl-Gleichgewichtskurve für Durchmesserstufen (BHD) von 4 cm Breite in einem Tannen-Fichten-Plenterwald.

Die deutliche Abflachung in der Mitte der Kurve ist eine Folge der unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten und der unterschiedlichen Eingriffsstärken. Da Bäume geringer Dimension langsamer wachsen und somit mehr Zeit benötigen, um in die jeweils nächsthöhere Durchmesserstufe aufzurücken, bedarf es zur Sicherstellung des nachhaltigen Einwuchses einer relativ hohen Anzahl an Bäumen je Durchmesserstufe. Das Kollektiv der Bäume mit mittleren Dimensionen dagegen wächst schneller und benötigt, da die Auslese in den unteren Durchmesserstufen erfolgt, nur schwache Eingriffe. Um den erforderlichen Einwuchs zu gewährleisten, sind entsprechend weniger Bäume notwendig.

[Nach dem dynamischen Gleichgewichtsmodell von Schütz (1975), in: Schütz (1981)]

Jede Durchmesserstufe benötigt so viele Bäume, damit in einer bestimmten Zeit genügend Bäume in die nächsthöhere Stufe einwachsen können, um dort die Entnahmen, die natürlichen Abgänge und die aus der Stufe auswachsenden Bäume (Auswuchs) zu ersetzen. Diese sogenannte Gleichgewichtsregel wurde von Borel (1929), Schaeffer et al. (1930), François (1938) und Prodan (1949) schon früh erkannt. Schaeffer et al. (1930) haben zudem gezeigt, dass bei der Forsteinrichtung von Plenterwäldern die Stammzahlverteilungskurven nach Planungseinheiten, d.h. nach Abteilungen, eine zentrale Rolle spielen.

Die zuletztgenannten Autoren stellten fest, dass die Stammzahlabnahme in einer ersten Annäherung exponentiell verläuft (Gesetz von de Liocourt). Ihre Aussage basiert übrigens auf unveröffentlichten Arbeiten von de Liocourt (1898). Die Stammzahlabnahmekurve eines Plenterwaldes im Gleichgewicht müsste folglich eine exponentielle Kurve sein, die im halblogarithmischen Koordinatensystem eine Gerade ergibt (Meyer 1933). Die Stammzahlabnahmekurven variieren je nach Standort, sodass auch der Abnahmekoeffizient k nach de Liocourt (q -factor im englischen Sprachraum) bzw. bei halblogarithmischer Darstellung die Steigung der Geraden zwischen 1,3 und 1,5 schwanken. Für historisch interessierte Leser dürfte die Auffassung von Borel (1933) interessant sein, dass die Daten, die de Liocourt für seine Untersuchungen verwendete, teilweise aus Beständen stammten, die weit von einer optimalen Plenterstruktur entfernt waren.

Analytisch lässt sich dieses Gesetz von de Liocourt folgendermassen darstellen (Meyer 1933):

$$y_i = a \cdot \exp(-bx_i) \equiv \ln(y_i) = \ln(a) - b \cdot x_i \quad (2.1)$$

a, b = Koeffizienten
 x_i = Mitte der Durchmesserstufe
 y_i = Stammzahl der Durchmesserstufe

Hinsichtlich der Nachhaltigkeit besitzt die Stammzahlverteilung die gleiche Aussagekraft wie die Altersklassenverteilung im schlagweisen Hochwald. Das eigentliche Problem liegt in der Festlegung einer Referenz- oder Idealkurve, der sogenannten Gleichgewichtskurve.

In Wirklichkeit lässt sich das Plentergleichgewicht nicht durch den von Schaeffer et al. (1930) vorgeschlagenen einfachen Ausgleich auf der Grundlage der vorgefundenen Stammzahlverteilung bestimmen, sondern nur durch eine Berechnung, welche die oben beschriebenen demographischen Nachwuchsbedingungen berücksichtigt. Für das dynamische Gleichgewichtsmodell müssen die folgenden drei Bedingungen erfüllt sein:

1. Die Stammzahlabnahmekurve verläuft so, dass in jeder Durchmesserstufe die auswachsenden Bäume (Auswuchs) sowie die waldbaulich bedingten Entnahmen durch den sogenannten Einwuchs, d.h. durch die aus der darunterliegenden Stufe nachrückenden Bäume, kompensiert werden (Schütz 1975). Die Kurve hängt somit von zwei Faktoren ab: vom Durchmesserzuwachs, der die Berechnung des Einwuchses jeder Stufe ermöglicht, und von den Nutzungen.
2. Die Gesamtheit der Bäume aller Durchmesserstufen steht zugleich für den Bestand als auch für einen vollständigen Produktionszyklus. Die Zahl der Stämme der niedrigsten Durchmesserstufe (Ausgangsbestand) bilden dabei lediglich das erste Glied der gesamten Kette. Für eine nachhaltige Produktion im Sinne des Gleichgewichtsmodells ist jedoch die Verkettung aller Glieder bis hin zur stärksten Durchmesserstufe erforderlich. Die Stammzahl der niedrigsten Stufe (Ausgangsbestand) bildet dabei das erste messbare Kriterium und erlaubt, die Frage nach der Sicherung des Nachwuchses objektiv zu beantworten. Für die richtige, lagekonforme Festlegung der Gleichgewichtskurve ist es unabdingbar, dass die nach den theoretischen Vorgaben (Punkt 1) berechnete Anfangsstammzahl der wirklichen Nachwuchssituation entspricht. Dies hängt weitgehend vom Vorrat und der errechneten theoretischen Stammzahlabnahmekurve ab. Für die Beantwortung dieser Frage sind Kenntnisse über die standortsspezifische Beziehung zwischen Bestandesdichte (gemessen z.B. als Vorrat oder Grundfläche) und deren Auswirkungen auf den Ausgangsbestand (die Stammzahl der niedrigsten Durchmesserstufe) notwendig. Ein Gleichgewicht kann sich nur dann einstellen, wenn eine Stammzahlabnahmekurve gefunden wird, bei der die Anfangsstammzahl und der dazugehörige Holzvorrat den tatsächlich beobachteten Verhältnissen entsprechen.

Abbildung 2.10 zeigt am Beispiel einer Versuchsfläche der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) den engen Zusammenhang zwischen Ausgangsbestand und zeitlichen Veränderungen der Vorratshöhe.

Stammzahlen der Nachwuchsstufe (N10)

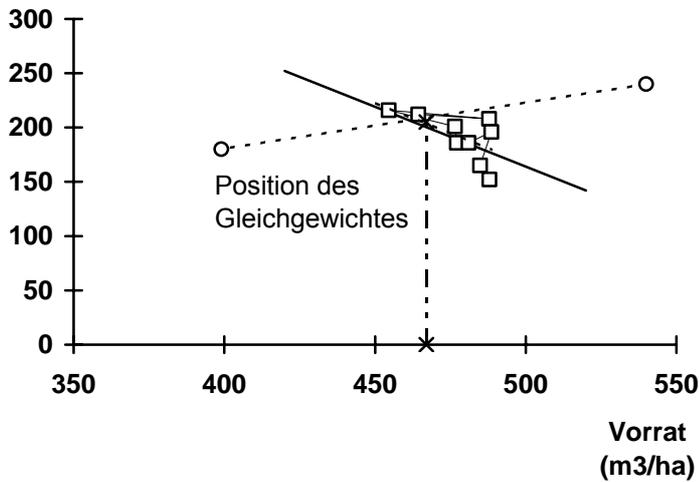


Abb. 2.10: Gleichgewichtsbedingungen im Plenterwald

Der Ausgangsbestand (die Stammzahl der niedrigsten Durchmesserstufe, N 10) verringert sich mit dem Anstieg des Holzvorrates (durchgezogene Linie). Der Verlauf der Linie hängt von der Verjüngung und dem nachfolgenden standortsspezifischen Bestandeswachstum ab. Die durch die Gleichung [2.3] berechnete Anfangsstammzahl ist als punktierte Linie dargestellt. Im Schnittpunkt der beiden Linien befindet sich das Plentergleichgewicht.

Die Werte für die Abbildung entstammen der Versuchsfläche Schallenberg-Rauchgrat (Plentermischwald, Emmental, 1.040 m ü.M.).

- Am Schluss muss kontrolliert werden, ob die gesamte Nutzungsmenge, die auf Grund der eingegebenen Entnahmeprozente zur Berechnung der Gleichgewichtskurve eingesetzt wurde, dem ermittelten Zuwachs entspricht. Wäre dies nicht der Fall, würde sich der Vorrat verändern; das Plentergleichgewicht wäre nicht mehr gewährleistet bzw. die unter Punkt 2 formulierte Bedingung wäre nicht mehr erfüllt.

Rechnerische Bestimmung der Gleichgewichtskurve

Die Gleichgewichtskurve lässt sich berechnen, sofern für jede Durchmesserstufe (i) die folgenden Variablen bekannt sind:

- Die Einwuchsrate p_i entspricht jenem prozentualen Anteil an der Anfangsstammzahl, der in einer bestimmten Periode (i.d.R. auf ein Jahr bezogen) die nächsthöhere Durchmesserstufe erreicht. Bei Kenntnis des durchschnittlichen Durchmesserzuwachses infolge wiederholter Inventuren oder infolge von Zuwachsbohrungen in vergleichbaren Plenterwäldern lässt sich p_i leicht berechnen. Die zugrundeliegende Beobachtungsperiode muss jedoch, um klimatisch bedingte Schwankungen auszugleichen, ausreichend lang sein (20 bis 30 Jahre). Die Schwankungen, die für kurze Perioden beträchtlich sein können, betragen z.B. für eine sechsjährige Periode rund 35 % (Schütz 1975).
- Die Nutzungsrate e_i lässt sich in gleicher Weise berechnen. Sie entspricht dem Anteil der Stämme, der in der gleichen Periode in einer bestimmten Durchmesserstufe durch Plentereingriffe entnommen wird, vorausgesetzt sie entsprechen gesamthaft der Nutzung des vollen Zuwachses in der gleichen Zeit. Die Nutzungsrate wird aufgrund von regionalen und für bestimmte Standorte gültigen Erfahrungswerten bestimmt. Abbildung 2.11 zeigt den Verlauf der Nutzungsraten für verschiedene Versuchsflächen. Der Verlauf der Nutzungsraten muss selbstverständlich mit den waldbaulichen Zielsetzungen und insbesondere mit dem gewählten Zieldurchmesser übereinstimmen. Damit die dritte Gleichgewichtsbedingung erfüllt ist, muss also die Gesamtnutzung dem langfristig

beobachteten Zuwachs entsprechen. Wenn die Erfahrungswerte für e_i nicht mit dem Gesamtzuwachs übereinstimmen, müssen die Nutzungsraten entsprechend angepasst werden. Das Gleiche gilt für den Fall, dass die Produktionsziele neu formuliert werden.

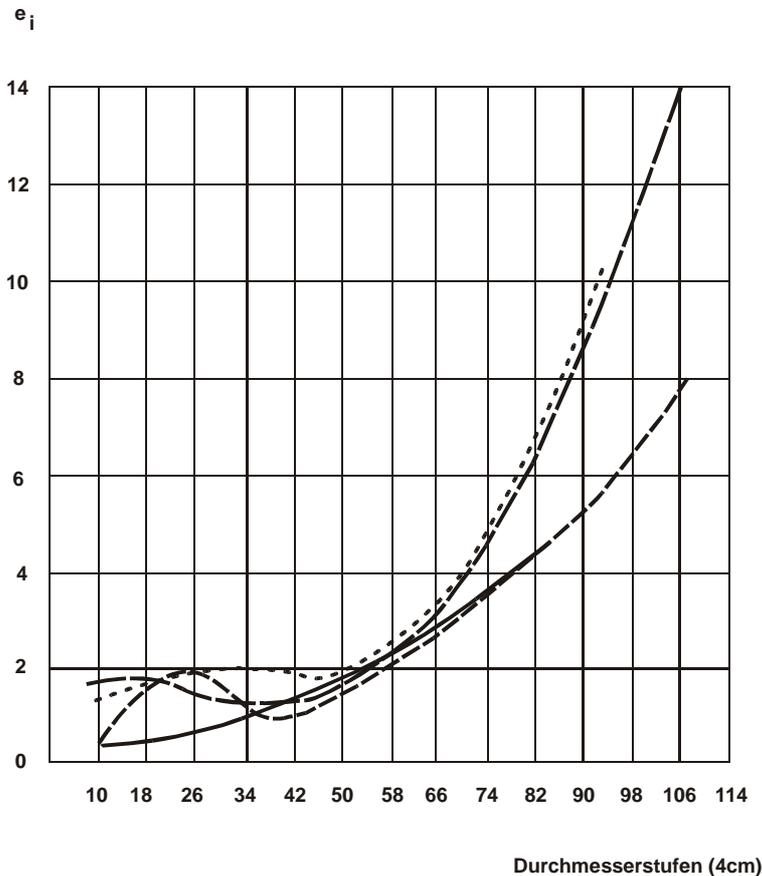


Abb. 2.11: Durchschnittliche Nutzungsraten (e_i) in vier Plenterwaldversuchsflächen.

— — — — Schallenberg - Rauchgrat
 - - - - Toppwald
 ————— Sigriswil
 Rougemont

Die Nutzungsraten (e_i) geben den prozentualen Anteil der genutzten Stämme an der Gesamtstammzahl vor der Nutzung an. Die Angaben erfolgen getrennt nach Durchmesserstufen und beziehen sich auf einen Zeitraum von einem Jahr.

Die Berechnung der Gleichgewichtskurve, die entweder auf- oder absteigend erfolgt, kann mit der Anfangs- oder Endstammzahl beginnen. Dazu werden die beiden folgenden Formeln verwendet:

$$n_{i+1} = n_i \cdot \frac{p_i}{p_{i+1} + e_{i+1}} \quad (2.2)$$

$$n_{i-1} = n_i \cdot \frac{p_i + e_i}{p_{i-1}} \quad (2.3)$$

Der einfachste Weg ist, von einer beliebigen Anfangsstammzahl der niedrigsten Durchmesserstufe auszugehen. Dadurch erhält man eine erste, willkürliche Stammzahlverteilung, bei der aber nur die Abnahme nach Durchmesserstufen korrekt ist. Die erste Gleichgewichtsbedingung ist damit erfüllt. Für die zweite Gleichgewichtsbedingung muss die Abnahmekurve so eingehängt werden, dass die Anfangsstammzahl den realen Verhältnissen entspricht. Folglich ist unter den vielen möglichen Stammzahlabnahmekurven diejenige auszuwählen, deren Holzvorrat eine vom Standort her realistische Anfangsstammzahl erlaubt. Eine zweite Berechnung für eine andere beliebige Anfangsstammzahl ergibt einen zweiten Koordinatenpunkt (Anfangsstammzahl, Holzvorrat). So kann die Linie der theoretischen Relation zwischen Anfangsstammzahl und entsprechenden Vorräten (punktierte Linie in Abb.

2.10) dargestellt werden. Die für die Kalkulation des Gleichgewichts wirkliche Anfangsstammzahl liegt im Schnittpunkt zwischen dieser Linie und derjenigen, die sich aus den beobachteten wirklichen Bestandeswerten ergibt (durchgezogene Linie in Abb. 2.10).

Die abschliessende Prüfung befasst sich mit Frage, ob die dritte Gleichgewichtsbedingung erfüllt ist, d.h. ob die Summe der angenommenen Nutzungen, die sich aus der Gleichgewichtskurve ergeben, dem tatsächlich beobachteten Zuwachs entspricht:

$$\sum (e_i \cdot n_i \cdot t_i) \equiv \sum (p_i \cdot n_i \cdot \delta t_i) \quad (2.4)$$

t_i = Tarif

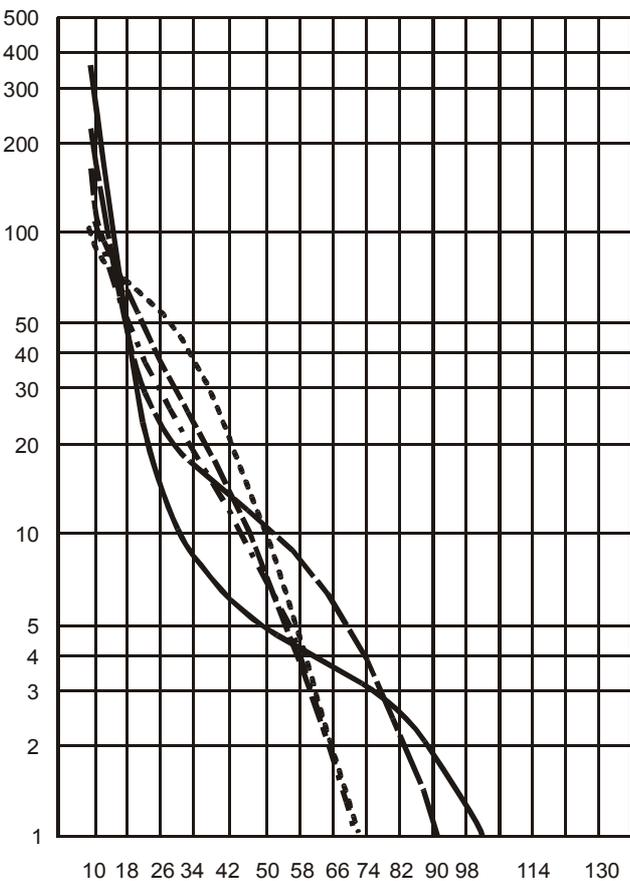
n_i = Stammzahl

δt_i = Tarifunterschied

Bei erheblichen Abweichungen müssen die Nutzungsraten e_i iterativ angepasst werden. Dieser Fall tritt jedoch nur dann ein, wenn die Zusammenhänge zwischen Nutzungsrate, Eingriffsstärke und Gesamtwuchs ungenügend berücksichtigt wurden.

In Abbildung 2.12 sind die nach obenstehender Methode berechneten Gleichgewichtskurven für unterschiedliche Versuchsflächen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in halblogarithmischer Form dargestellt.

**Stammzahlen
log**



Durchmesserstufen (4cm)

Abb. 2.12: Stammzahlgleichgewichtskurven für unterschiedliche Plenterversuchsflächen.

- Hasliwald
- Schallenberg-Rauchgrat
- . - . - . La Rolaz
- Habrichtswald
- Gian d'Alva

Die mehr oder weniger stark ausgeprägte Abflachung der Kurven

im mittleren Teil zeigt deutlich, dass die von de Liocourt aufgestellte Behauptung einer gleichmässigen Stammzahlabnahme nur für eine erste Annäherung Gültigkeit besitzt. Dieser Sachverhalt wurde übrigens schon von de Coulon (1962) für die Fichten-Plenterwälder der Jura-Hochlagen im Kanton Neuenburg (CH) beobachtet. In Wirklichkeit steigt der linke Ast der Kurve stark an. Der Grund dafür ist, dass infolge des geringen Durchmesserzuwachses der schwachen Stangen nur ein sehr kleiner Teil der Bäume in die nächsthöhere Stufe rückt; dies wiederum macht eine hohe Anzahl an Nachwuchsbäumen je Stufe erforderlich. Die bei vielen Kurven beobachtete Abflachung im mittleren Teil spiegelt eine Phase deutlich verbesserter Wachstumsbedingungen wider. Dies ist zugleich diejenige Phase, in der waldbaulich am schwächsten eingegriffen wird: Die intensive Auslese ist vorbei, und die Bäume haben noch nicht die vorgesehenen Erntedurchmesser erreicht. Dagegen ist der Abfall der Kurve im rechten Teil die Folge von stark erhöhten Nutzungsraten in denjenigen Durchmesserstufen, in denen die eigentliche Ernte erfolgt.

Der Vergleich zwischen den tatsächlichen Stammzahlen und denjenigen der Gleichgewichtskurve gibt wertvolle Hinweise für das weitere waldbauliche Vorgehen im konkreten Bestand. Dabei darf jedoch keineswegs die Absicht verfolgt werden, die reale Stammzahlkurve auf einen Schlag mit der Gleichgewichtskurve in Übereinstimmung zu bringen. Dies widerspräche dem Wesen der Plenterung, bei der die waldbaulichen Entscheidungen auf der Betrachtung der Situation von Einzelbäumen in ihrer unmittelbaren und realen Umgebung basieren und Rücksicht auf die einzelbaumweisen Wachstumsleistungen nehmen.

Ein Vergleich ermöglicht aber, Entwicklungstendenzen und Probleme sowie deren langfristige Auswirkungen zu erkennen. Daher sind die Stammzahlen in den Durchmesserstufen unter 45 cm BHD von hoher Bedeutung für die Beurteilung der zukünftigen Struktur. In diesen Stufen befinden sich die Bäume der Mittel- und Unterschicht, die den Nachwuchs bzw. den zukünftigen Bestand bilden und deren Wachstum am stärksten von der Stammzahldichte abhängt. Für diese Stufen ist es sogar möglich, Mindeststammzahlen anzugeben, unterhalb denen eine Nachhaltigkeit des Nachwuchses nicht mehr gewährleistet ist. Wenn die Stammzahl einer bestimmten Stufe unter diesen Grenzwert absinkt, führt die mittelfristige Entwicklung – sofern keine wirksamen Gegenmassnahmen ergriffen werden – unvermeidlich zu einem Verlust der Plenterstruktur. Diese Grenzwerte können ähnlich wie die Gleichgewichtskurve berechnet werden. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Nutzungsraten e_i nur die natürliche Mortalität beinhalten, nicht jedoch die Entnahme im Rahmen der waldbaulichen Auslese. Die so berechneten Grenzwerte geben nach Stufen getrennt diejenigen Stammzahlen an, die den Einwuchs in die jeweils nächsthöhere Stufen gewährleisten (Abb. 2.13).

Stammzahlen log

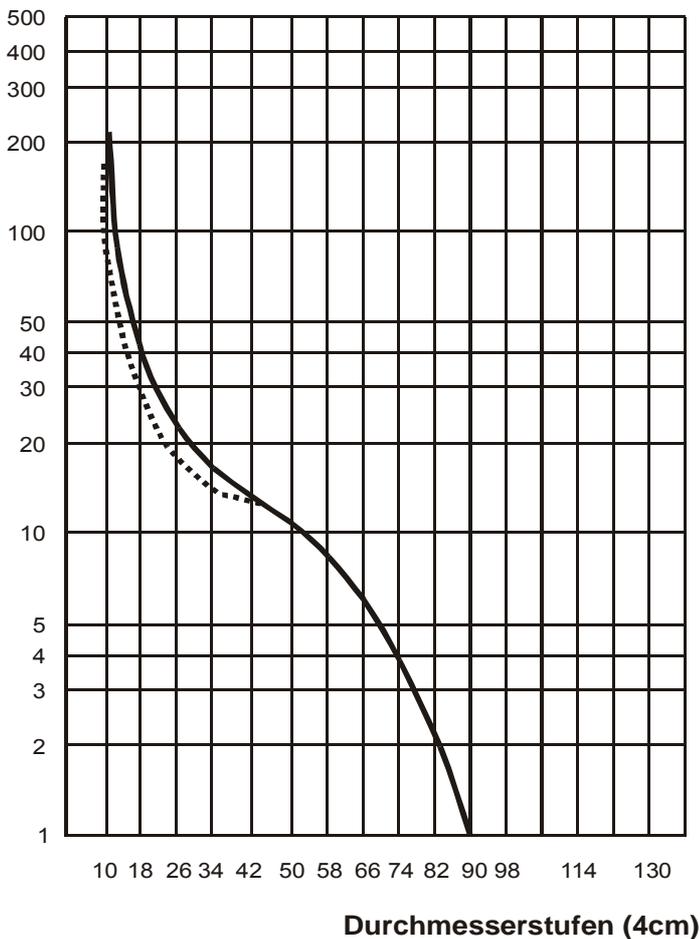


Abb. 2.13: Mindeststammzahlen für die langfristige Sicherung der Plenterstruktur am Beispiel der Versuchsfläche Schallenberg-Rauchgrat.

Punktierte Linie:
Mindeststammzahlen, die unter Einbezug der natürlichen Mortalität für die Sicherung des Plentergleichgewichts notwendig sind; ohne Einbezug waldbaulicher Eingriffe.

2.3 BAUMARTENUNTERSCHIEDE

2.3.1 Baumartenmischung in Plenterwäldern der Bergstufe

Im Plenterwald hat der Lichtgenuss, d.h. die Position eines Baumes im Bestand, zweifellos einen stärkeren Einfluss auf das Wachstum als die unterschiedlich ausgeprägten Wachstumseigenschaften der verschiedenen Baumarten. Zu beachten ist aber, dass die Schattenertragnis einer der begrenzenden Faktoren in der frühen Jugend ist. Dies erklärt, weshalb im Plenterwald nur die ausreichend schattenertragenden Baumarten angetroffen werden.

Cescatti (1996) untersuchte in einem subalpinen Plenterwald der nordostitalienischen Alpen, ob sich die von Fichten- und von Tannenverjüngung besiedelten Partien bezüglich der Lichtverhältnisse am Boden unterscheiden. Der Autor konnte zeigen, dass die Fichte vorzugsweise solche Partien besiedelt, in denen die relative Belichtung 20 bis 30 % der Freilandbedingungen beträgt. Bei der Tanne, die eine noch stärkere Beschattung erträgt, waren dagegen keine bestimmten Präferenzen hinsichtlich des Belichtungsgrades zu erkennen (Abb.

2.14). Kenntnisse über die minimalen Lichtverhältnisse für die Ansamung reichen jedoch für eine umfassende Beurteilung der Nachwuchssituation nicht aus. Zusätzlich sind Studien über diejenigen Belichtungsbedingungen erforderlich, die den jungen Bäumen ein ausreichendes Wachstum ermöglichen. Cescatti (1996), der zu diesem Zweck einen subalpinen Wald der Südalpen untersuchte, weist nach, dass die Schwelle für das Überleben der Sämlinge bei 13 % (Tanne) bzw. 17 % (Fichte) relativer Strahlung liegt.

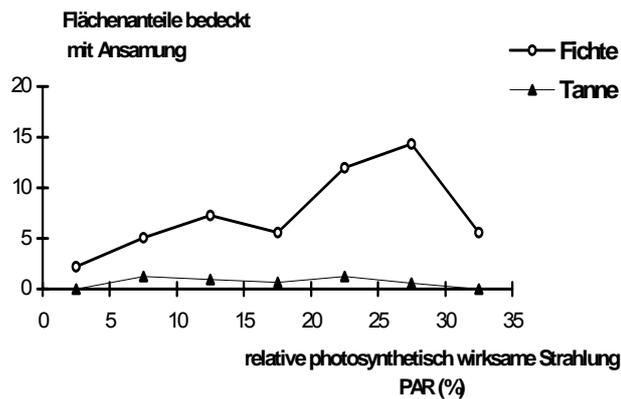


Abb. 2.14: Bevorzugte Belichtungsverhältnisse für die natürliche Verjüngung von Tanne und Fichte in einem subalpinen Plenterwald Italiens. Verteilung der von Sämlingen besiedelten Flächen in Abhängigkeit von der verfügbaren relativen Strahlung.

Als relative Strahlung wird das Verhältnis der auf Bodenhöhe photosynthetisch wirksamen Strahlung (PAR) zu derjenigen unter Freilandbedingungen während der Monate Mai bis August bezeichnet.

Geltungsbereich: Italienische Nordostalpen, Höhe 1.630 m ü.M., Nordhang, basenreiches Substrat (Kalk, Dolomit).
[Nach Cescatti (1996)]

Bei im Halbschatten erwachsenden jungen Tannen und Fichten ist das Verhältnis zwischen Gipfeltrieb und den obersten, jüngsten Seitentrieben ein guter phänologischer Wachstumsindikator. Diese von Fabjanowski et al. (1974) vorgeschlagene Verhältniszahl wird meist als "Lichtfaktor nach Honowski" bezeichnet (Cescatti 1996). Ein Wert unter 1 kennzeichnet eine ungenügende Entwicklung der jungen Pflanzen. Ebenfalls ein guter Indikator, vor allem bei Tannen, ist der Astabgangswinkel (Fabjanowski et al. 1974).

2.3.2 Die Rolle der Buche

Für die Plenterstruktur und deren Steuerungsmechanismen eignen sich vor allem die schattenertragenden Baumarten Tanne und Fichte. Die Buche, obwohl sie als mindestens ebenso schattentolerant gilt, scheint dafür weniger geeignet zu sein. Emmentaler Bauern und andere Personen, die eine unregelmäßige Plenterung betrieben, gingen davon aus, dass die Buche nicht zu dieser besonderen Struktur passe; folgerichtig wurde die Buche systematisch herausgehauen. Autoren wie Balsiger (1914) oder Ammon (1937), die stark von diesem traditionellen Verständnis beeinflusst sind, sprechen sich daher für einen relativ geringen Buchenanteil aus, obwohl die Emmentaler Plenterwälder über einem in der Regel sauren und nährstoffarmen geologischen Untergrund stocken (Nagelfluh-Konglomerat), im Gegensatz zu den Plenterwäldern des Jura, die auf einem kalkreichen Untergrund stehen und denen dadurch ein ausreichendes mineralisches Nährstoffangebot zur Verfügung steht. So dürfte auf Nagelfluh eine Beimischung von Laubbäumen keinesfalls überflüssig sein. Der hauptsächliche Grund für

die beschriebene Abneigung gegenüber der Buche ist, dass diese Baumart, wenn sie während der Jugendphase zu lange im Halbschatten aufwächst, die Eigenschaft der Ausbildung einer senkrechten Stammachse verliert und zu einer Art plagiotropem Wachstum neigt (Abb. 2.15). Sie erträgt folglich keine so lang andauernde Überschirmung wie Tanne und Fichte, ohne dass ihr späteres Wachstumsvermögen beeinträchtigt wird.

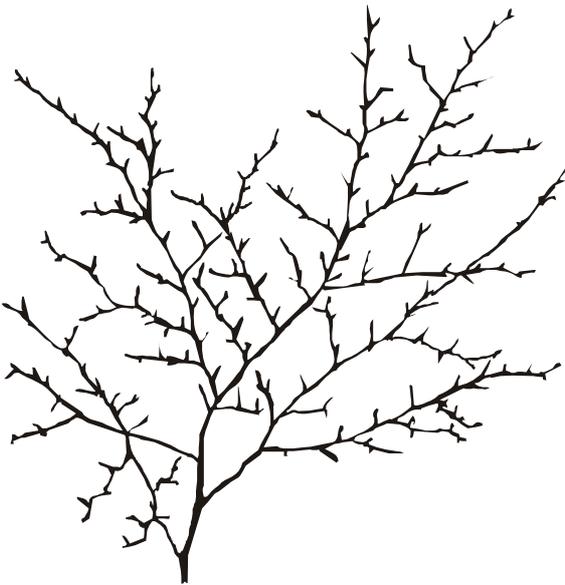


Abb. 2.15: Plagiotropes Wachstum der Buche bei zu langer Beschattung. [Nach Kurth (1946) in: Schütz und Barnola (1996)]

Wenn die Buche zu Beginn der Stangenholzstufe freigestellt wird, wächst sie sehr stark in die Breite und entwickelt eine von Wasserreisern ausgehende Sekundärkrone (Abb. 2.16), welche ihr eine grobastige Form verleiht. Eine freistehend erwachsende Buche produziert deshalb nur sehr selten wertvolles Holz. Der Verfasser schliesst sich daher der Meinung von Schaeffer und Schaeffer (1951) an, dass eine Einzelmischung von Buchen aller Altersstufen kaum wünschenswert ist, da die Buchen in einem solchen Fall nur mässige Stammformen ausbilden und unter Sonnenbrand leiden. Die Neigung der Buchenkrone, sich in vorhandene Lücken auszubreiten, wird durch die interessante Arbeit von Badoux (1949) bestätigt: Am Beispiel verschiedener Baumarten eines Plenterwaldes untersuchte er das Verhältnis zwischen Kronenraum und erzeugter Holzmenge. Der Autor konnte zeigen, dass bei gleichem Brusthöhendurchmesser die Kronen von Buchen doppelt soviel Raum einnehmen wie die Kronen von Tannen oder Fichten. Bei gleichem Kronenvolumen leisten Fichte und Tanne den vier- bis fünffachen Holzzuwachs von Buchenkronen. Betrachtet man bei diesem standraumbezogenen Vergleich statt der Volumenleistung den erntekostenfreien Erlös, so zeigt sich, dass Fichte und Tanne die fünf- bis zehnfache Wertleistung der Buche erbringen (Schütz 1999b).

Die Frage nach der positiven Wirkung der Buche auf die natürliche Verjüngung ist nicht einfach zu beantworten. Zusätzlich ist bei dieser Frage eine Unterscheidung nach geologischen Gegebenheiten und nach Expositionen erforderlich. Gaspersic (1974), der das Vorkommen der Verjüngung von Fichte, Tanne und Buche in Plenterwäldern der slowenischen Karsthochebene untersuchte (dinarische Buchenwälder), hat dargelegt, dass die Buche sich ohne Beimischung verjüngt und dass ihr kein Einfluss auf die Verjüngung von Tanne oder Fichte zugeschrieben werden kann.



Abb. 2.16: Form einer freigestellten Buche in einem ausgeprägt ungleichförmigen Wald.

Aufgenommen im Plenterwald von Les Erses im Gebiet des Mont Aubert, Höhe 1.140 m ü.M. (Waadtländer Jura).

Die Konkurrenzkraft der Buche ist je nach Bodensubstrat (basisch oder sauer) sehr unterschiedlich. Auf kalkreichen, sonnenexponierten Standorten (Waldgesellschaft Zahnwurz-Buchenwald) ist die Buche sehr konkurrenzstark; sie verdrängt sogar andere Baumarten. Die Klimaxgesellschaft ist hier ein nahezu reiner Buchenwald. Auf solchen Standorten scheint die Buche von Natur aus vorherrschend zu sein. Nicht ihre Bedeutung ist hier strittig, sondern die Frage, ob die Buche als Einzelbaum oder gruppenweise erzogen werden soll. Eine Antwort auf diese Frage gibt Abschnitt 4.1, welcher sich mit den Buchen-Plenterwäldern Thüringens befasst.

In den Tannenwaldgesellschaften des Juras dagegen, die auf nordseitigen Schatthängen vorherrschen und wo Fichte und Tanne ein beachtliches Wachstum zeigen, spielt die Buche nur eine untergeordnete Rolle. Schaeffer, Gazin und d'Alverny (1930) vertreten in ihrer Studie über Tannenwaldgesellschaften die Ansicht, dass der Buchenanteil am Vorrat im Durchschnitt 10 % nicht übersteigen sollte. Ihre Grenzwerte reichen von 5 % auf guten Böden bis zu maximal 15 % auf Standorten mittlerer Güte, auf denen die Buche zu einer ernsthaften und daher zu kontrollierenden Konkurrenz werden kann. Dies trifft auch für die Versuchsflächen in Baden-Württemberg zu (Kenk, pers. Mitt.).

Die Diskussion um die Rolle der Buche im Plenterwald darf sich heute, wo die Biodiversität und das Landschaftsbild eine hohe Bedeutung erlangt haben, nicht mehr allein um die Entwicklung des Kronenraums und den Einfluss auf die Verjüngung drehen. Für Buchenwaldgesellschaften bedeutet dies, dass der Anteil der Buche erheblich höher sein kann als in den genannten Vorschlägen. In jedem Fall sollte aber die Buche in Kollektiven mit einer bestimmten Mindestgrösse (Gruppe bis Horst) erzogen werden. Diese Art der Bestandeserziehung ist übrigens absolut kompatibel mit einer einzelstammweisen Behandlung der Nadelbäume, die zwischen diesen Gruppen stehen.

Zwischen Fichte, Tanne und Buche sind auch im Plenterwald die Wachstumsergebnisse unterschiedlich. Für den Privatwald Les Erses (VD-Jura), welcher seit 1889 auf Plenterwald

eingrichtet war, kann man auf Grund der Ergebnisse von drei permanenten Stichprobeninventuren die folgenden Einzelbaumzuwüchse zeigen (Abb. 2.17).

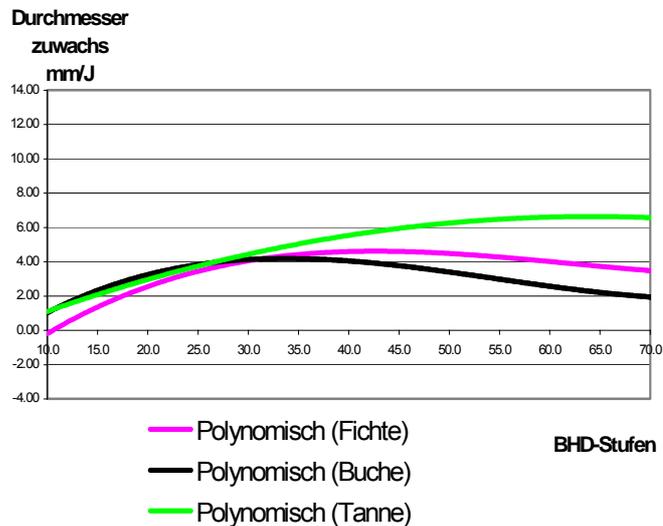


Abb. 2.17: Radialzuwüchse pro Durchmesserstufen für die Baumarten Fichte, Tanne und Buche im Jura-Plenterwald von Les Erses

2.3.3 Bedeutung des Verhältnisses von Tanne zu Fichte

Im klassischen Plenterwald stellt sich die Mischungsfrage in der Regel nur als Frage nach den Anteilen von Fichte und Tanne. Die Tanne scheint für den Plenterwald wie geschaffen zu sein. Als Schattbaumart schlechthin verjüngt sie sich normalerweise ohne Schwierigkeiten, selbst unter dem eigenen Kronenschirm. Bei der Fichte, welche die Tanne im Plenterwald ergänzt, ist dies nicht der Fall. Nagel (1950) zeigte, dass sie sich einfacher unter anderen Baumarten verjüngt als unter sich selbst. Die Gründe dafür dürften in der Allelopathie liegen. Es ist daher um einiges schwieriger, einen reinen Fichtenbestand zu verjüngen als einen Mischbestand, auch wenn letzterer nur geringe Tannenanteile enthält.

In zahlreichen Bergregionen wurde die Tanne durch übertriebene Kahlschläge beseitigt. Eine wichtige Aufgabe, die der Schaffung von Plenterstrukturen vorangeht, ist dort die Wiedereinbringung der Tanne an Orten, an denen sie ihr zusagende Wachstumsbedingungen vorfindet. Eine geeignete Methode, diese Orte zu bestimmen, ist die pflanzensoziologische Kartierung, die gerade im Gebirgswald zu einer unerlässlichen Entscheidungshilfe geworden ist.

Die Tanne ist die Baumart, die am längsten einen hohen Zuwachs leistet und nur wenig unter Fäule leidet. Sie ist hervorragend für die Produktion starken und auch sehr starken Holzes geeignet. Ursprünglich erachtete man die Plenterung nur in solchen Wäldern als möglich, in denen die Tanne vorherrschende Baumart ist. In der Zwischenzeit haben zahlreiche Beispiele gezeigt, dass eine Einzelplenterung auch in reinen Fichtenbeständen möglich ist – und dies auch ausserhalb der subalpinen Stufe. Bezogen auf die Kronenschirmfläche erweist sich die Fichte als leicht produktiver als die Tanne. Zudem liefert sie in der Regel ein qualitativ höherwertiges Holz, obwohl sie nicht die starken Dimensionen der Tanne erreicht. Dagegen ist die Rotfäule der Fichte ein unbestreitbarer Risikofaktor. Sie spielt zwar im Plenterwald keine so bedeutende Rolle wie im gleichförmigen Hochwald, begrenzt aber gleichwohl den wirtschaftlichen Zieldurchmesser. Graber (1995, 1996) hat bewiesen, dass die hohe Widerstandskraft der Plenterwaldfichte gegenüber dem Fortschreiten der Fäule durch das verzögerte

Jugendwachstum erklärt werden kann. Auch hat sich gezeigt, dass eine Tannenbeimischung die Anfälligkeit für Fäule signifikant verringert.

Die bereits erwähnte Arbeit von Badoux (1949), die auf Daten aus Plenterwald-Versuchsflächen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Birmensdorf basiert, macht den Zusammenhang zwischen der Zuwachsleistung eines Plenterwaldbaumes und seinem Kronenvolumen deutlich (Abb. 2.18):

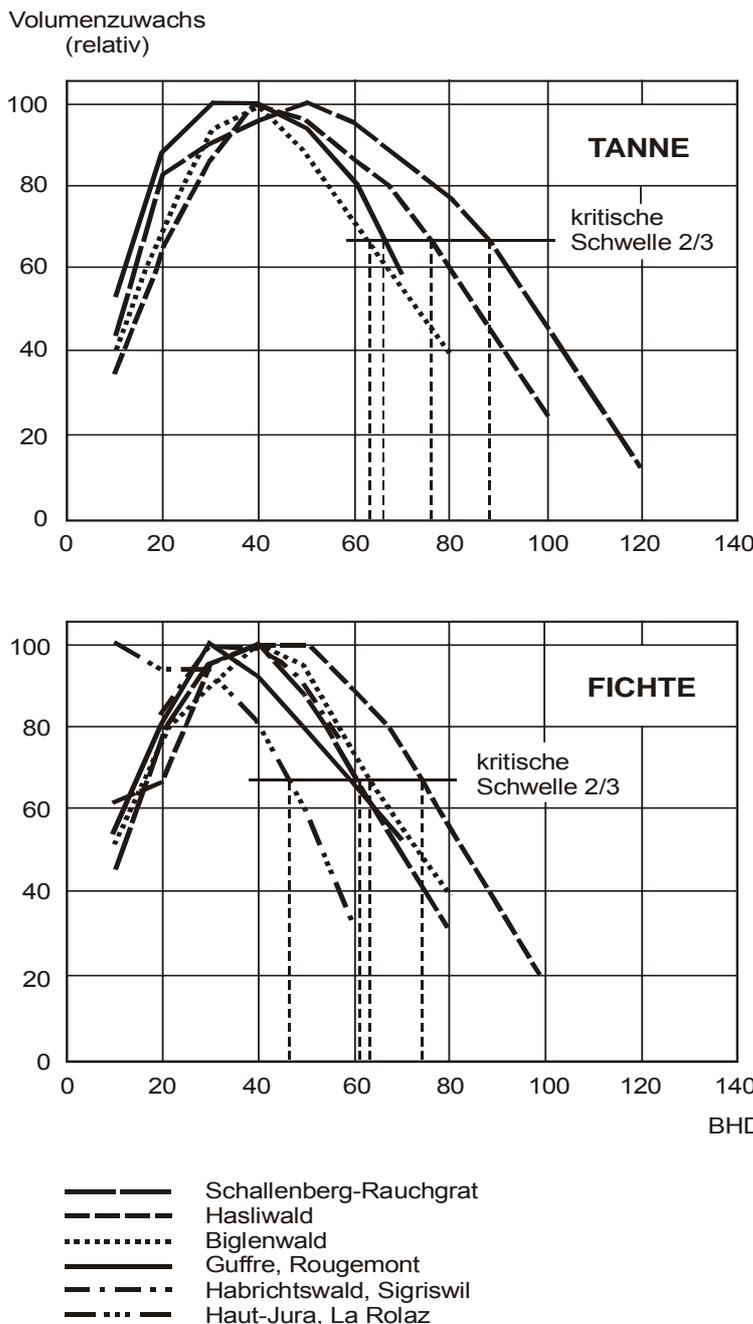


Abb. 2.18: Relative, kronenraumbezogene Zuwachsleistung von Plenterwald-Fichten und -Tannen in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser.

Es handelt es sich um den Volumenzuwachs je Einheit Kronenvolumen. Die Werte geben an, wie effizient der Kronenraum ausgenutzt wird.

Dargestellt sind die relativen Werte, wobei die Durchmesserstufe mit der höchsten relativen Leistung gleich 100 % ist. Die Angaben erfolgen nach Durchmesserstufen von 10 cm Breite und basieren auf den Daten von 6 Versuchsflächen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in Birmensdorf.

[Nach Badoux (1949)]

Die starken Bäume leisten im Verhältnis zum Kronenvolumen nur einen mässigen Zuwachs. Im Gegenzug erweisen sich die Bäume im Durchmesserbereich 30 bis 50 cm BHD als sehr leistungsfähig; sie nützen den ihnen zur Verfügung stehenden Kronenraum am besten aus. Der Durchmesserbereich, in dem die Bäume gute Wachstumsleistungen zeigen, ist

verhältnismässig weit, insbesondere auf den besten Standorten und bei der Baumart Tanne. Bemerkenswert ist, dass die Tanne in der Waldgesellschaft Tannen-Buchenwald, in der sie optimale Verhältnisse antrifft, bei gleichem Kronenvolumen 10 bis 20 % weniger Zuwachs leistet als die Fichte. Das Gegenteil ist im Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald (Bazzanio-Abietetum) auf ständig wasserbeeinflussten Standorten festzustellen. Im Fichtenwald schliesslich sind die relativen Leistungen beider Baumarten ungefähr gleich hoch.

Aus Abbildung 2.18 sind die Durchmesser ersichtlich, ab welchen die Zuwachsleistung im Verhältnis zum benötigten Kronenvolumen als ungenügend bezeichnet werden kann. Die Tanne erreicht die angenommene kritische Grenze, die bei $\frac{2}{3}$ der maximalen Leistung angesetzt wurde, im Tannen-Buchenwald (Schallenberg) bei 90 cm BHD, im Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald bei 80 cm BHD und im Fichtenwald bei 65 cm BHD. Wird die Wertleistung als Massstab für die Effizienz herangezogen, kulminieren die Kurven bei einem etwa 10 cm höheren Brusthöhendurchmesser.

2.3.4 Bedeutung sonstiger Baumarten bei der vertikalen Mischung

Auf die Plenterung mit Laubbaumarten, d.h. mit der Buche und mit Lichtbaumarten, wird im Abschnitt 4.1 und 4.2 eingegangen.

Bei den sonstigen Nadelbaumarten ist vor allem die Föhre zu erwähnen. Sie gilt zwar als wenig schattenertragend und deshalb als wenig geeignet für die Erziehung im ungleichförmigen Wald, in der Jugend aber kann sie sich trotz einer relativ starken Überschirmung gut entwickeln. Trotzdem ist es unter normalen Umständen und bei einer wirtschaftlich vernünftigen Vorratshöhe kaum vorstellbar, dass Föhren ausgeprägt ungleichförmige Wälder bilden, zumindest ist dem Verfasser kein einziges überzeugendes Beispiel bekannt. Auch Spellmann (pers. Mitt.) weist auf diesen Sachverhalt hin. Für zweischichtige Föhrenwälder dagegen gibt es zahlreiche Beispiele, so z.B. den Wald von Gartow (Röhe 1996). Die Föhre ist also wohl in der Lage, sich in langen Verjüngungszeiträumen unter dem eigenen Kronenschirm zu verjüngen. Dies trifft aber nur bei guter Wasserversorgung zu, was für nordeuropäische Verhältnisse grundwasserbeeinflusste Böden bedeutet.

Unter speziellen klimatischen Bedingungen, insbesondere bei ausgeprägt kontinentalen Niederschlagsverhältnissen, können Föhren ungleichförmige Strukturen bilden. Leibundgut (1991) berichtet von einem solchen Bestand auf einem südexponierten Hangfuss im Wallis, in dem die genannten Niederschlagsverhältnisse herrschen. Dabei dürfte es sich aber um eine seltene Ausnahme handeln.

Dagegen dürften die ausgesprochen ungleichförmigen, plenterwaldartigen Schwarzföhrebestände im Gebiet von Višegrad (Bosnien), die der Verfasser beobachten durfte, keine Ausnahme sein. Die ungleichförmige Struktur ist nicht verwunderlich, da die Schwarzföhre als schattenertragender als die gemeine Föhre gilt.

In den kontinentalen Hochtälern der Zentralalpen nimmt die Arve (*Pinus cembra*) den Platz der Tanne ein. In Mischung mit der Lärche erlaubt sie die Schaffung ausgeprägter Plenterstrukturen, an deren Aufbau manchmal auch die Fichte beteiligt ist. Die Lärche als ausgesprochene Lichtbaumart kann sich aber nicht langfristig in solchen Wäldern halten. Auch der Lärchen-Arven-Plenterwald ist keine Dauerstruktur, sondern nur ein Stadium der Sukzession, in dem sich Arven unter dem Schirm der schon vorhandenen Lärchen verjüngen. Diese sukzessive Entwicklung gilt es zu beachten, wenn eine dauerhafte Beteiligung der Lärche erwünscht ist. In diesem Fall darf man nicht davor zurückschrecken, zugunsten der Verjüngung

der Lärche an manchen Orten und für einen begrenzten Zeitraum von der idealen Plenterstruktur abzuweichen.

2.3.5 Plenterung mit fremdländischen Baumarten

Am Schluss soll die Plenterung mit den wichtigsten fremdländischen Baumarten erörtert werden: Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*), Hemlockstanne (*Tsuga heterophylla*) und Riesen-Lebensbaum (*Thuja plicata*). An der Pazifikküste im Nordwesten des nordamerikanischen Kontinents bilden diese Baumarten wunderschöne und gemischte Urwälder mit einer heterogenen Struktur (Kuiper 1994, Abb. 2.19). Die Eignung dieser Baumarten für die Plenterung kann durchaus Inhalt einer waldbaulichen Diskussion sein.

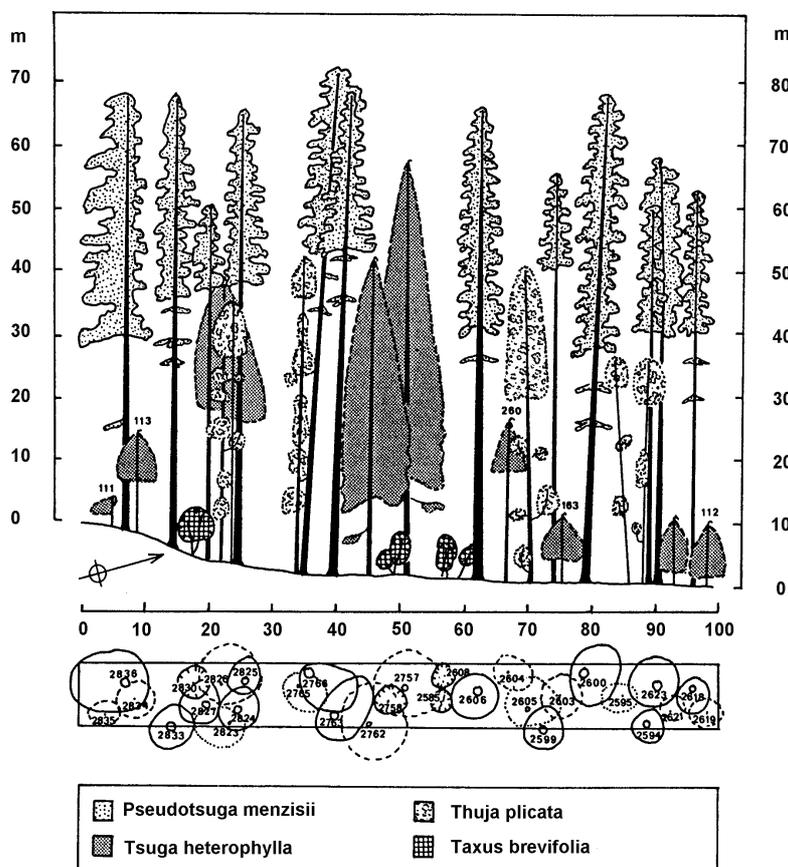


Abb. 2.19: Struktur von Urwäldern mit Douglasie als herrschender Baumart auf küstenseitigen Hängen im Nordwesten Amerikas (Mt Rainier National Park, Washington, USA)

Das Alter der Douglasien beträgt ungefähr 1.000 Jahre, der Vorrat 4.330 m³/ha und die Grundfläche 210 m²/ha.

[Nach Kuiper (1994)]

Auch in Europa gibt es dank der strukturfördernden Eigenschaften der Douglasie gemischte und gut strukturierte Hochwälder, z.B. im Staatswald Erdmannshausen in Niedersachsen (Höher 1994).

Es besteht kein Zweifel, dass die Douglasie für die Schaffung strukturierter Wälder sehr gut geeignet ist. Gründe sind vor allem ihre sehr hohe Lebenserwartung (mehr als 1000 Jahre, nach Kuiper 1994) und ihr ausserordentlicher Wuchs, der sie Baumhöhen von teilweise über 100 m erreichen lässt. Zweifel bestehen allerdings an ihrer Fähigkeit, sich im Schatten zu verjüngen. Ob sie für dauerhafte Plenterwälder geeignet ist, bleibt deshalb fraglich. Auch scheinen die nordwestamerikanischen Urwälder sich noch eher in einer Sukzessionsphase als

in einem dauerhaften Strukturgleichgewicht zu befinden. Damit dürfte für die Douglasie etwas ähnliches zutreffen wie für die Lärchen in den oben beschriebenen Lärchen-Arvenwäldern.

Und in der Tat entwickelt sich unter dem Schirm der ursprünglich reinen Douglasienbestände mit beträchtlicher zeitlicher Verzögerung ein Verjüngungsschub aus Schattbaumarten wie Tsuga, Thuja und verschiedenen Riesentannen. Möglich wird dies dadurch, dass das anfangs dichte Kronendach ab einem gewissen Bestandesalter (350 bis 500 Jahre) naturgemäss immer mehr auflockert. Die Beobachtungen von Spies et al. (1990) haben gezeigt, dass die Douglasie zu ihrer Verjüngung wesentlich mehr Licht benötigt als bisher angenommen wurde. Auch stellte sich heraus, dass für eine erfolgreiche Verjüngung Löcher von mindestens 7,5 bis 10 ar erforderlich sind. Die heute so wunderschönen Wälder sind daher wahrscheinlich das Ergebnis von Waldbränden mit nachfolgender grossflächiger Verjüngung.

Über das Verhalten der Douglasie unter mitteleuropäischen Verhältnissen und speziell in montanen Plenterwäldern gibt es bislang nur wenige Erfahrungen. Vereinzelt wurde die Douglasie in ungleichförmige Wälder eingebracht, z.B. in einige Versuchsflächen der Professur für Waldbau der ETH Zürich am Höhronen (Voralpen, Kanton Zug). Die Douglasie wächst dort in Mischung mit Fichte und Tanne. Obwohl sich die Wälder auf einem eher sauren Substrat befinden (Nagelfluh-Konglomerat), welches für die Douglasie günstige Voraussetzungen bietet, ist ihr Wachstum keinesfalls überzeugend. Noch negativer ist der Erfolg bei der natürlichen Verjüngung zu beurteilen. Offensichtlich zeigt die Douglasie oberhalb einer Meereshöhe von 700 bis 800 m nicht mehr die ausserordentliche Zuwachsleistung wie in tiefen Lagen, wo sie die lange Vegetationsperiode hervorragend zu nutzen vermag (Bégin 1991). In den höheren Lagen schwinden ihre Vorteile gegenüber den einheimischen Nadelbaumarten. Eine weitere Rolle könnten allelopathiebedingte Prozesse oder Wurzelkonkurrenz spielen (Kenk, pers. Mitt.); nicht umsonst gilt die Douglasie als empfindlich gegenüber der Nachbarschaft bestimmter Pflanzen.

Insgesamt reichen die wenigen Beispiele nicht aus, die Fragen abschliessend zu beantworten. Aus waldbaulicher Sicht dürfte es aber interessant sein zu prüfen, ob andere Baumarten wie Riesen-Lebensbaum oder auch Hemlockstanne für die Plenterung geeignet sind.

3. DIE KLASSISCHE PLENTERUNG

3.1 MERKMALE DES KLASSISCHEN PLENTERWALDSYSTEMS

3.1.1 Definitionen und Begriffe

Unter der klassischen Plenterung versteht man die Plenterung in Mischwäldern, die überwiegend aus Nadelbäumen bestehen. Da in solchen Wäldern diese Betriebsart seit langer Zeit ausgeübt wird, besteht schon allein aufgrund der Bewirtschaftungstradition ein reicher und gut dokumentierter Schatz an praktischen Erfahrungen, der durch zahlreiche Forschungsarbeiten und vor allem durch wiederholte Messungen in bewirtschafteten Versuchsflächen abgestützt ist.

Bevor sich die folgenden Abschnitte mit den strukturellen und waldbaulichen Merkmalen von Plenterwäldern befassen, sollen einige Fachbegriffe definiert und voneinander abgegrenzt werden.

Plenterwald ist ein Wald aus Bäumen, deren Kronen sich seitlich meistens nicht berühren, jedoch den gesamten vertikalen Wuchsraum ausfüllen. Die Struktur lässt sich räumlich und zeitlich auf einer eng begrenzten Fläche dauerhaft erhalten; dabei wird stets nur eine einzige Art von Eingriff ausgeführt: der Plenterhieb.

Als **Betriebsart** wird ein waldbauliches Behandlungskonzept für die Waldflächen eines Forstbetriebs bezeichnet.

Die **Plenterung** ist ein solches waldbauliches Behandlungskonzept für einen Forstbetrieb oder wesentliche Teile davon. Es basiert auf den Plenterprinzipien und hat die Schaffung oder Erhaltung von Plenterwald zum Ziel.

Die einzelbaumweise, aber mehr oder weniger ziel- und planlose Nutzung wie sie bis in das 19. Jahrhundert praktiziert wurde, brachte den Begriff Plenterung in Misskredit. Um den Unterschied zur waldbaulich hochentwickelten und ausgesprochen modernen Form der Plenterung zu zeigen, hat Henry Biolley (1858-1939), der geistige Vater oder zumindest der Begründer ihrer praktischen Anwendung (siehe Abb. 3.1), im Jahre 1901 den Begriff der geregelten Plenterung geprägt (frz.: jardinage cultural). So basiert die Plenterung nach dem heutigen Verständnis auf wissenschaftlichen Grundlagen und ist ein waldbaulich anspruchsvolles System, in welchem die Eingriffe zielentsprechend zur Steuerung des Systems bzw. deren Nachhaltigkeit gehören. Die **geregelte Plenterung** legt den Schwerpunkt auf zielgerichtete waldbauliche Pflegeeingriffe, die dazu dienen, eine klar umschriebene Plenterstruktur und eine hohe Wertleistung zu erreichen und zu erhalten.

Um die Plenterung richtig verstehen und praktizieren zu können, muss man zuallererst von den gewohnten Denkschemata und erworbenen Kenntnissen Abstand nehmen. Die bei anderen Betriebsarten so wichtigen Produktionsfaktoren Alter und Umtriebszeit werden hier überflüssig. Übrigens lässt sich der Laie in Sachen Plenterung daran erkennen, dass er sich gerade für diese beiden Faktoren unverhältnismässig stark interessiert.



Henry Biolley (1858-1939)



Adolphe Gurnaud (1825-1896)

Abb. 3.1: Die Leitfiguren des modernen Plenterbetriebes: A. Gurnaud, Entwickler der Kontrollmethode (ca. 1880), und H. Biolley, Begründer der Pflegeplenterung (ab 1889).

Die Definition der untenstehenden Begriffe, die direkt mit der Plenterung zusammenhängen, dient dem besseren Verständnis der folgenden Abschnitte.

Die **Plenterung** = **Plenterhieb** (frz.: jardinage = coupe de jardinage) darf nicht mit der Plenterdurchforstung verwechselt werden. Es handelt sich um eine waldbauliche Massnahme in einem funktionell im Gleichgewicht stehenden Plenterwald. Sie berücksichtigt in einem einzigen Eingriff die fünf waldbaulichen Kriterien Erneuerung, Erziehung und Auslese, Strukturausformung, Ernte, und Zwangsnutzungen.

Die **Plenterdurchforstung** (frz.: éclaircie de différenciation, éclaircie jardinatoire) ist eine Durchforstungsart, die zur Überführung von gleichförmigen Bestockungen in Plenterwald dient. Sie strebt vor allem eine besser differenzierte Struktur an, z.B. durch die Entnahme von zwischenständigen Bäumen (Intermediär-Bäume). Weil der Begriff der Plenterdurchforstung auch insbesondere im deutschsprachigen Raum zu einer ganz anderen Form von waldbaulichen Eingriffen nach einem Vorschlag von Borggreve (1885) gebraucht wird (siehe Abschnitt 5.4.2), kann seine Anwendung zu Verwirrungen führen.

Die **Nachwuchspflege** (frz.: petit jardinage) ist ein Pflegeeingriff in schwache Stammdimensionen des Plenterwaldes. Sie folgt dem Haupteingriff und bezweckt die Mischungsregulierung, die Erziehung und Auslese sowie die Freistellung der Nachwuchsgruppen. Dabei unterscheiden wir in ihrer Funktionsweise die zwei Begriffe der Verjüngung einerseits und des Nachwuchses andererseits. Die **Verjüngung** kommt zwar meist nicht flächendeckend, aber im Prinzip überall vor. Da sie aber Jahrzehnte oder sogar mehr als ein Jahrhundert in Warteposition und damit in einem quasi stationären Zustand verharren kann (Schütz 1969), hat sie hinsichtlich des Nachschubs an zukünftigen Plenterwaldbäumen keine unmittelbare Funktion. Unter dem Begriff **Nachwuchs** verstehen wir den Anteil dieser Verjüngung, welcher zum Aufkommen durch feindosierte Lichtzufuhr in den oberen Bestandespartien aktiv unterstützt und auch durch entsprechende punktuelle Waldbaumassnahmen gezielt gefördert wird.

Das **Plentergleichgewicht** (frz.: équilibre jardinatoire) ist eine bestimmte Verteilung von Bäumen über alle Durchmesserstufen, bei welcher die Plenterstruktur und damit auch die nachhaltige Produktion auf Dauer gewährleistet ist (demographisch autarke Verteilung). Das

Gleichgewicht wird durch eine Stammzahlverteilungskurve nach Durchmesserstufen (= Gleichgewichtsnorm) sowie durch den hektarbezogenen Gleichgewichtsvorrat (frz.: étale) ausgedrückt.

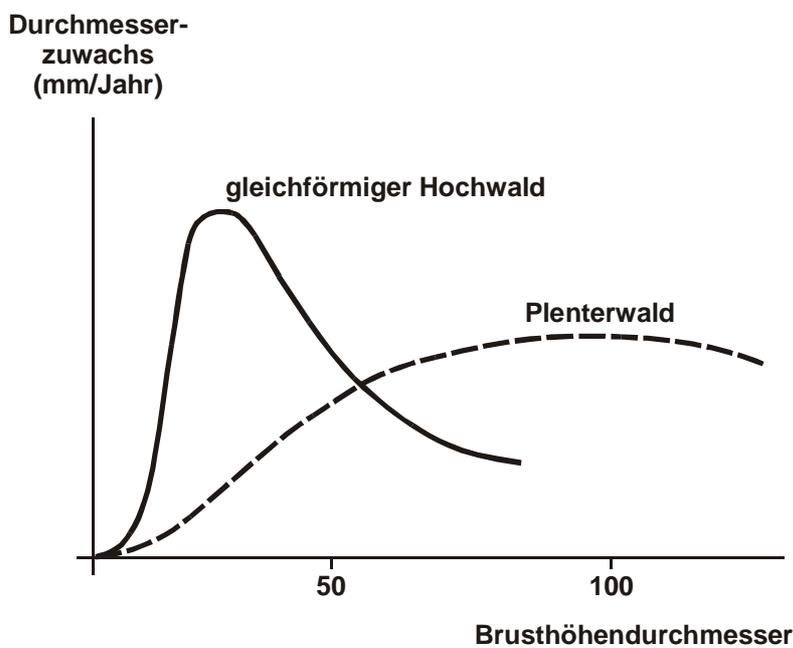
Ein **Intermediär-Baum** oder **zwischenständiger Baum** (frz.: arbre intermédiaire) ist nach Gurnaod (siehe Abb. 3.1) ein Baum mit geringen Aufstiegschancen oder schlechter Qualität. Nach Biolley (1897) sind es diejenigen Bäume, die Nachbarn gleich welcher sozialen Stellung im Wachstum behindern und zugleich keine guten Entwicklungsaussichten besitzen. Sie werden im Zuge der Plenterdurchforstung entnommen, um qualitativ und wachstumsmässig besseren Bäumen eine gute Entwicklung und den Aufstieg zu ermöglichen.

Unterdrückung (frz.: compression, attente sous couvert) ist die stark verlangsamte Entwicklung der unter Schirm verjüngten Bäume. Ihre zukünftige Entwicklungsfähigkeit erleidet dabei aber keine Einbussen. Diese Wartephase wird als Unterdrückungszeitraum (frz.: durée de compression) bezeichnet. Die Unterdrückung hat sehr schmale Jahrringe zur Folge, was bei ausgesprochen starker Unterdrückung zur Ausbildung eines Engkerns (frz.: coeur serré) im Stammzentrum führt.

3.1.2 Merkmale des Wachstums im Plenterwald

Abb. 3.2 zeigt, dass sich der Verlauf des Dickenwachstums der Bäume im Plenterwald grundsätzlich von demjenigen im gleichförmigen Hochwald unterscheidet. Ergänzend zur Abbildung, die auf gemittelten Werten basiert, sei vermerkt, dass im Plenterwald das Wachstum der Einzelbäume innerhalb eines Bestandes sehr stark variieren kann. Diese grosse Variabilität gilt aber nicht nur für das Wachstum, sondern auch für viele andere Faktoren und Phänomene, wie die Ausführungen zu den Vorräten (Abschnitt 1.1.5 und Abb. 1.3) oder Belichtungsverhältnissen darlegen (Abschnitt 2.2.1 und Abb. 2.6). Sie ist eine typische Eigenschaft des Plenterwaldes und beruht auf der grossen Heterogenität der ökophysiologischen Bedingungen innerhalb eines Plenterbestandes. Der waldbaulich tätige Mensch kann sich diese Variabilität zu Nutze machen, wenn er bei seinen Beobachtungen zwischen dem allgemeinen Wachstumsverlauf und der lokalen, individuellen Variabilität unterscheidet. Die erstgenannte Eigenschaft hat z.B. für strategische Belange eine hohe Bedeutung, die zweite für taktische Entscheidungen im Bestand.

Abb. 3.2 zeigt deutlich die Zuwachsunterschiede: Im gleichförmigen Hochwald steigt der Durchmesserzuwachs rasch an, erreicht früh das Maximum und fällt anschliessend beträchtlich ab. Im Plenterwald dagegen bewegt sich der Zuwachs in der Jugend während eines langen



Zeitraums auf einem niedrigen Niveau und steigt anschliessend nur allmählich an. Er bleibt dann aber lange Zeit konstant und geht auch später nicht oder nur wenig zurück.

Abb. 3.2: Unterschiede im Durchmesserzuwachs zwischen gleichförmigem Hochwald und Plenterwald.

Die gemittelten Werte stammen aus einem gleichförmigen Fichtenaltholz bzw. sind Mittelwerte für den Durchmesserzuwachs aller Bäume der geplenterten Versuchsfläche Schallenberg-Rauchgrat im Emmental (Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf).

Abb. 3.3 lässt erkennen, dass der bis in starke Dimensionen gleichmässige Zuwachs für ein weites Standortsspektrum gilt. Eine Ausnahme ist der Fichten-Tannenwald tiefer Lagen auf grundwasserbeeinflussten Böden (Waldgesellschaft *Bazzanio-Abietetum*), dessen Zuwachs zwar im Durchmesserbereich zwischen 40 und 80 cm BHD aussergewöhnlich hoch ist, anschliessend aber erheblich nachlässt.

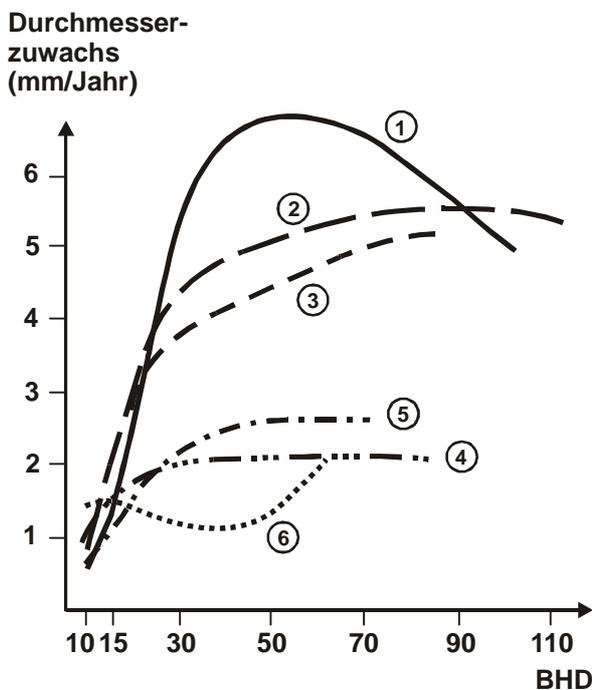


Abb. 3.3: Vergleich des Durchmesserzuwachses von Plenterwäldern in verschiedenen Waldgesellschaften.

Alle Daten stammen aus Versuchsflächen der WSL, Birmensdorf.

- 1 Hasliwald, Oppligen; 550 m ü.M.; Tannenwald tiefer Lagen
- 2 Schallenberg, Röthenbach; 1020 m Bu-Ta-wald, Emmental)
- 3 Môtiers, Val-de-Travers (NE) ; 1000 m Buchen-Tannenwald (Jura)
- 4 La Rolaz, Le Chenit (VD); 1320 m ü.M Fiwald auf flachgründigen Böden
- 5 Habrichtswald, Sigriswil; 1550 m ü.M subalpiner Fichtenwald (Alpen)
- 6 Gian d'Alva, St. Moritz; 1820 m ü.M Lärchen-Arvenwald (Engadin)

Die Tatsache, dass Plenterwaldbäume in der Jugend eine Warte- oder Unterdrückungsperiode mit verlangsamttem Wachstum unbeschadet überstehen können, wurde schon im vorangehenden Abschnitt erwähnt. Dieses Phänomen, welches Biolley (1901) als "Halbschlaf der Sämlinge" (somnolence des semis) bezeichnete, ändert nichts an der Aussage, dass der Durchmesserzuwachs im Plenterwald aussergewöhnlich gleichmässig und langanhaltend ist. Dieses gleichmässige Wachstum bringt sowohl Vorteile für die Holzverwendung (gleichmässiger Jahrringaufbau) als auch für die Wuchsleistung des Einzelbaums. Je stärker der Baum wird, desto höher ist sein Volumenzuwachs. Eine Folge davon ist, dass der Volumenzuwachs exponentiell mit dem Durchmesser steigt – und dies praktisch ohne nachzulassen.

Diese beiden Eigenschaften der Plenterwaldbäume, gleichmässiger Durchmesserzuwachs und Holz mit gleichmässiger Struktur, erklären das hohe Interesse, die Bäume in ausserordentlich starke Dimensionen wachsen zu lassen, die im gleichförmigen Hochwald kaum möglich wären. In der Tat ist der Plenterwald prädestiniert für die Produktion von Starkholz. Die Ausführungen in den nachfolgenden Abschnitten machen aber deutlich, dass es auch im Plenterwald gewisse Grenzen für die Starkholzproduktion gibt. Andererseits gibt es auch Formen von Plenterung, welche das Mass und die Anteile der starken Hölzer reduzieren.

Es ist aber nicht der nachlassende Volumenzuwachs, der zum Ernteentscheid führt, sondern die gewünschte Verbesserung des Lichtangebots für den verbleibenden Bestand.

Der gleichbleibende Durchmesserzuwachs weist darauf hin, dass bei Bäumen mit gut entwickelten Kronen der Alterungsprozess anders abläuft als bei Bäumen mit kurzen Kronen. Diese Aussage gilt übrigens nicht nur für den Plenterwald (Kramer 1979) und beschränkt sich nicht nur auf das nachhaltige Wachstum, sondern umfasst auch die Widerstandsfähigkeit gegenüber alterungsbedingten Krankheiten. So zeigen Erfahrungen aus der Praxis, dass Plenterwaldfichten bis in aussergewöhnlich starke Dimensionen hinein von der Stammfäule verschont bleiben (Graber 1994).

3.1.3 Wachstum in der frühen Jugend und Unterdrückungseffekt

Das Wachstum in der Unterschicht ist als eine Folge der starken Beschattung normalerweise stark verlangsamt. Unter besonderen Umständen können die Bäume bis zu 150 Jahren, in Extremfällen sogar über 200 Jahre mit einem jährlichen Höhenzuwachs von weniger als 10 cm überleben (Schütz 1969). Diese Erscheinung ist natürlich bei der ausgesprochenen Schattenbaumart Weisstanne besonders ausgeprägt, findet sich aber, in einer etwas weniger auffälligen Form, auch bei der Fichte. Das verlangsamte Jugendwachstum lässt sich im Zentrum von Stöcken oder Erdstammstücken anhand der Engkerne, d.h. der Zonen mit sehr engen Jahrringen, gut nachweisen. Dieser Engkern endet manchmal abrupt, wenn eine bislang stark beschattete Nachwuchsguppe infolge eines Eingriffs mehr Licht erhält und nach einer kurzen Anpassungszeit rasch zu wachsen beginnt. Diese rasche Umstellung ist möglich, weil die Beschattung das Wachstum der oberirdischen Teile wesentlich stärker hemmt als dasjenige der Wurzeln (Safar 1954). Dadurch besitzen Bäume, die lange Zeit überschirmt waren, ein sehr gut entwickeltes und weitreichendes Wurzelwerk. Nach der Überwindung des Freistellungsschocks (1 bis 2 Jahre) und der Umstellung des Assimilationsapparates von Schatten- auf Lichtnadeln können solche Bäume weiterwachsen, als wären sie niemals überschirmt gewesen.

Mitscherlich (1963) führt die Fähigkeit der Bäume, sich ohne jegliche Einbusse ihrer späteren Entwicklungsmöglichkeit so lange im Schatten halten zu können, auf eine ausserordentlich günstige Konstellation der Standortsbedingungen in der Unterschicht von Plenterwäldern zurück. Tatsächlich wurde nachgewiesen, dass Bäume sogar nach 150 bis 200 Jahren Unterdrückung praktisch die gleichen Enddimensionen erreichen können wie Bäume, die von Beginn an ohne allzu grosse Behinderungen aufgewachsen sind (Schütz 1969). Die Dauer der Unterdrückung hat also keinen entscheidenden Einfluss auf den Verlauf oder die Geschwindigkeit des nachfolgenden Wachstums. Das bedeutet, dass ein Baum, der 150 Jahre oder mehr unterdrückt wurde, nach seiner Freistellung sich wie ein 15- bis 20jähriger Baum verhält.

Diese Beobachtung leitet über zum Thema Alterung von verholzenden Pflanzen. Die Unterdrückung scheint die Wirkung des Alters vollständig aufzuheben. Es ist daher weniger das physische oder tatsächliche Alter, welches für die Alterung im Plenterwald entscheidend ist,

sondern vielmehr die erreichte Dimension eines Baumes. Eine Erklärung bieten die Theorien zur physischen Alterung. Sie machen vor allem die immer grösser werdenden Höhenunterschiede beim Wassertransport zu den Assimilationsorganen verantwortlich (Kozłowski 1963). Als eine weitere Erklärung kommt das mit zunehmender Baumhöhe wachsende Ungleichgewicht zwischen Kronen- und Wurzelvolumen in Frage (Kazarjan 1969).

Die Dauer des verlangsamten Wachstums, die Unterdrückungszeit, hängt in erster Linie von der Bestandesverfassung und insbesondere vom Vorrat ab. Abbildung 3.4 vergleicht die Unterdrückungszeiträume in einem Plenterwald im Neuenburger Jura (Les Joux), in einem vorratsreichen Plenterwald des Emmentals (Steffisburg) und in einem Urwald in Bosnien (Schütz 1969). An dieser Stelle sei nochmals auf die grosse Streuung innerhalb von Beständen hingewiesen, was sowohl hinsichtlich der Dauer als auch der Stärke der Unterdrückung gilt.

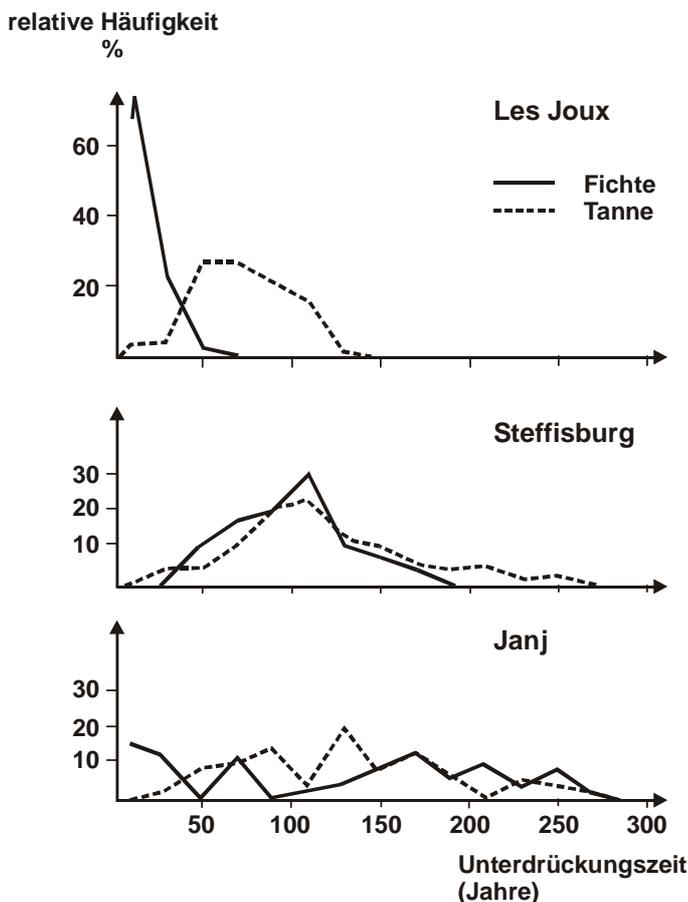


Abb. 3.4: Häufigkeitsverteilung unterschiedlich langer Unterdrückungszeiträume während des Jugendwachstums in zwei Plenterwäldern und einem Urwald.

Waldgesellschaft: Buchen-Tannen-Bergwald.

Les Joux: Plenterwald, Neuenburger Jura, 1140 m ü.M, Vorrat 611 m³/ha;

Steffisburg: Plenterwald, Emmental, 970 m ü.M, Vorrat 674 m³/ha;

Janj: Urwald, Bosnien, 1190 m ü.M, Vorrat ca. 800 m³/ha.

[Nach Schütz (1969)]

Das Phänomen der Unterdrückung ist ein Beweis für die Anpassungsfähigkeit von jungen Pflanzen. Sie erlaubt, eine zufällig angekommene Verjüngung sehr lange unter Schirm zu belassen, ohne sie unbedingt freistellen zu müssen. In einem Plenterwald ist es somit in gewisser Hinsicht möglich, Verjüngung auf Vorrat zu halten und nur bei Bedarf zu verwenden.

Die Unterdrückung zeigt auch, dass der Begriff Alter im Plenterwald bedeutungslos ist. Bäume gleicher Stärke können Altersunterschiede von über 100 Jahren aufweisen, ohne dass dies äusserlich sichtbar ist und vor allem ohne dass dies einen Einfluss auf ihr späteres Entwicklungspotential hat. Das Alter ist offensichtlich nur bei relativ konstanten Umgebungsbedingungen ein entscheidendes Kriterium. Die Beschattung und das dadurch verursachte langsame Jugendwachstum scheinen den normalen Alterstrend zu überlagern.

Um die Baumentwicklung auch im Fall von Unterdrückung gut beschreiben zu können, wurde vorgeschlagen, die Unterdrückungszeit vom tatsächlichen Alter abzuziehen und das dadurch erhaltene "Wachstumsalter" (frz.: *âge de croissance*) zu verwenden. Am Beispiel eines subalpinen Fichten-Plenterwaldes konnte Indermühle (1978) zeigen, dass die auf den ersten Blick völlig unterschiedlichen Höhenwachstumskurven praktisch übereinstimmen, wenn sie an einem Punkt gleicher Baumhöhe (z.B. 12 m) gebündelt werden (Abb. 3.5). Dies unterstreicht den relativ geringen Einfluss der Unterdrückung auf das spätere Wachstum. Die Verwendung des Wachstumsalters ist jedoch wegen der Schwierigkeit seiner exakten Bestimmung problematisch. Als Ersatz bietet sich der Brusthöhendurchmesser (BHD) an, der wesentlich einfacher ermittelt werden kann und trotzdem eine repräsentative Grösse für die Entwicklung des Einzelbaums darstellt. Aus diesem Grund wird im Plenterwald im allgemeinen der Durchmesser als Messgrösse zur Ermittlung des Entwicklungsstandes verwendet.

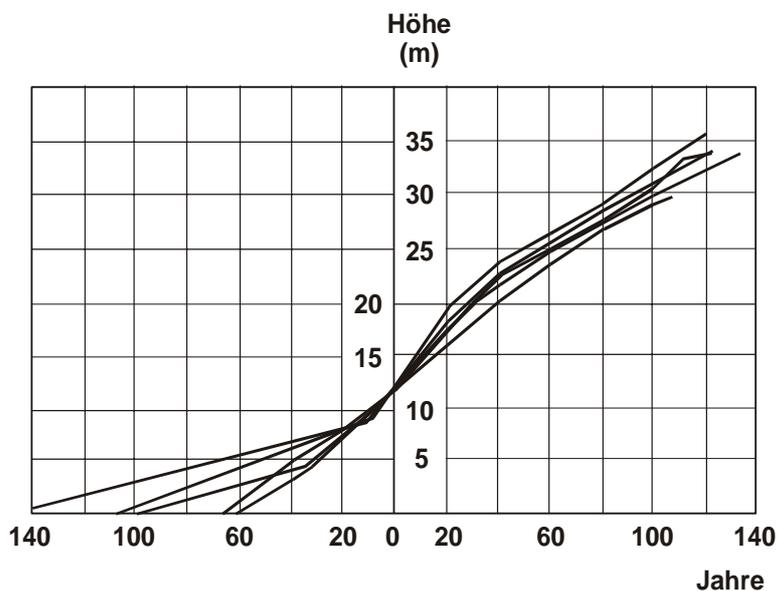


Abb. 3.5: Verlauf der Höhenwachstumskurven in einem subalpinen Fichten-Plenterwald nach Ausschluss der jugendlichen Wachstumsunterschiede durch Bündelung der Kurven bei 12 m Baumhöhe.

Subalpiner Fichtenwald, Vals (Graubünden), Höhenlage ca. 1.500 m.

[Nach Indermühle (1978)]

Der einzige und relativ unbedeutende Nachteil einer langen Unterdrückung ist technischer Art. Die Bäume erreichen trotz einer 100 bis 150 Jahre währenden Unterdrückungszeit Baumhöhen von 8 bis 12 m (Schütz 1969). Der Engkern ist damit im Zentrum des wirtschaftlich interessantesten Stammstücks, des Erdstammstücks. An der Grenze des Engkerns kommt es, vor allem bei einem plötzlichen Übergang von engen zu normalen Jahrringen, zu Spannungen im Holz, die sich oft als Ringschäle äussern. Dieser technische Holzfehler betrifft allerdings nur einen verhältnismässig geringen Teil des gesamten Stammvolumens. Darüber hinaus kommen solche extrem langen Unterdrückungsperioden nur in sehr vorratsreichen, geschonten Plenterwäldern oder in Überführungsbeständen vor. In geregelten Plenterwäldern mit nachhaltigem Nachwuchs dagegen dauert die Unterdrückung nur bis zu einer Baumhöhe, die in etwa der Dickungsstufe entspricht. Der Engkern fällt somit im Holzkörper kaum ins Gewicht.

3.1.4 Stabilität im Plenterwald

Die Verselbständigung der Bäume und die gute Kronenentwicklung verleihen den Plenterwaldbäumen eine hohe individuelle Stabilität, wie die Beobachtungen von Kern (1966) zeigen (Abb. 3.6). Der Schlankheitsgrad (h/d -Wert) von Plenterwaldbäumen ist niedriger und damit hinsichtlich der mechanischen Stabilität besser als der von vergleichbaren Bäumen des gleichförmigen Hochwaldes.

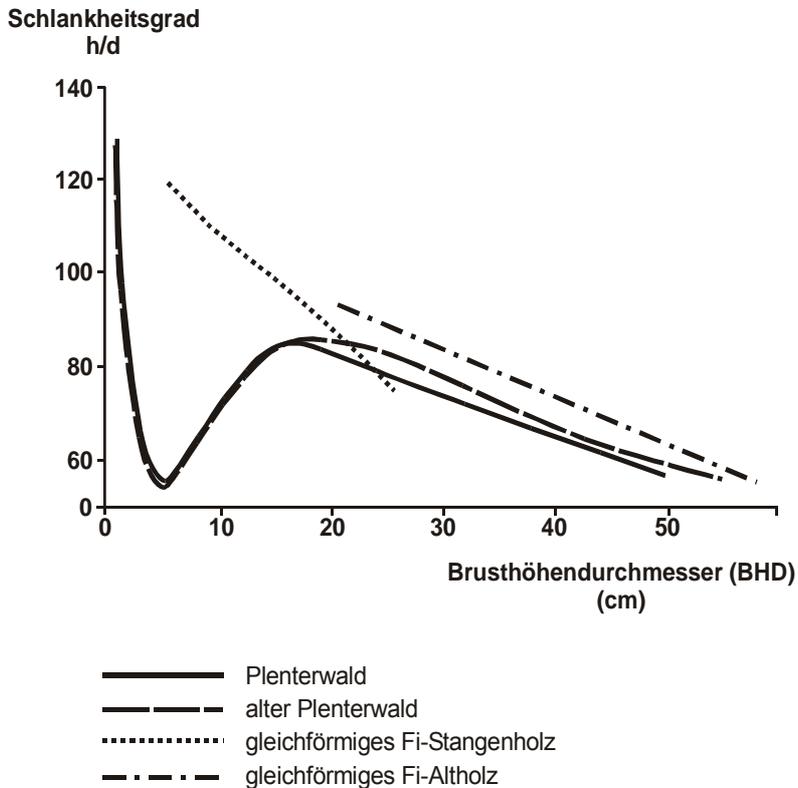


Abb. 3.6: Vergleich der Schlankheitsgrade (h/d -Werte) von Bäumen des Plenterwaldes und des gleichförmigen Hochwaldes.

[Nach Kern (1966)]

Mit Ausnahme der ganz jungen Bäume und der BHD-Stufen 15 bis 25 cm (Stangen) befindet er sich unterhalb des Wertes von 85, der den Beginn des kritischen Bereichs bezeichnet. Im Übrigen kann man davon ausgehen, dass der kritische Grenzwert der Stabilität gegenüber Schneelast (d.h. für Stangendimensionen) im Plenterwald bei etwas höheren h/d -Werten liegen darf (Anhalt: 100), weil die Bäume der Oberschicht im Plenterwald durch ihre Schneeinterzeption einen gewissen Schutz bieten.

Die Stangen weisen zwar keine extrem hohen Schlankheitsgrade auf, sind aber gerade während des Zeitraums des stärksten Höhenwachstums am meisten durch Nassschnee bedroht. Haben die Bäume diese Stufen passiert, werden sie zunehmend abholziger und damit stabiler. Dies ist verständlich, nimmt doch das Höhenwachstum rascher ab als das lange konstant bleibende Dickenwachstum. Die Bäume mit mehr als 50 cm BHD, die das Gerüst des Bestandes bilden, verfügen über einen Schlankheitsgrad von unter 60 und sind daher als recht stabil zu beurteilen.

Bei seiner Untersuchung der Stabilität von den als Zukunftsträgern auszuwählenden Nachwuchsbäumen in den Wäldern von Couvet zeigte Duc (2000), dass einzel wachsende Fichten- und Tannenstangen den kritischen Schlankheitsgrad nie unterschritten. Hingegen übt die seitliche Konkurrenz einen statistisch nachweisbaren Einfluss auf die Stabilität der Stangen aus, wenn sie im Kollektiv vorkommen.

Sturmempfindlichkeit des Plenterwaldes

Die stufige Struktur des Plenterwaldes und der manchmal sehr räumige Kronenschluss verhindern, dass sich die Bäume seitlich an den übrigen Kollektivgliedern abstützen. Sie müssen aus eigener Kraft stehen, was ihnen dank ihrer individuellen Stabilität und Verankerung meist gut gelingt. Während die Stammform die Bäume vor Bruch schützt, ist die Verankerung im Boden die eigentliche Schwachstelle. Der Grund ist, dass sich die Bewurzelungstiefen im Plenterwald und im gleichförmigen Hochwald entgegen allen Erwartungen nicht unterscheiden (Kern et al. 1961, Mitscherlich 1963). Dies macht verständlich, warum Zwangsnutzungen im Plenterwald, sofern sie überhaupt eine Rolle spielen, in erster Linie auf Entwurzelung bzw. Sturmwurf zurückgehen. Ein Zusammenhang dieser Schäden mit dem Schlankheitsgrad erscheint nach den Untersuchungen von Eggenberger (1985) unwahrscheinlich. Der Autor untersuchte hochmontane Fichtenplenterwälder in der Region Flims-Laax (Graubünden), die Föhnstürmen besonders stark ausgesetzt sind. Er fand eine eigenartige Konzentration der Zwangsnutzungen im BHD-Bereich 35 bis 45 cm (Abb. 3.7).

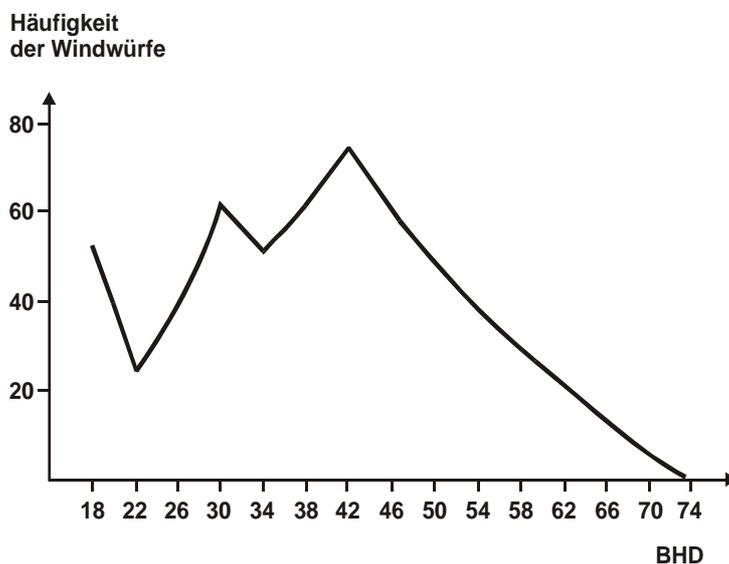


Abb. 3.7: Durchmesser-
verteilung der Zwangsnutzungen in einem hochmontanen Fichtenplenterwald.

Der Bestand ist Föhnstürmen besonders stark ausgesetzt.

[Nach Eggenberger (1985)]

Dies bestätigen die Beobachtungen von Dvořak und Bachmann (2001) nach dem Sturmschäden des Orkans Lothar (26.12.1999) im Emmental. In den Plenterwäldern waren 26 % der Bäume gebrochen (volumenmässig 17 %) gegenüber 36 % in gleichförmigen Beständen (31 % volumenmässig). Umgekehrt war der Anteil an Wurfgeschäden in Plenterbeständen höher als in vergleichbaren gleichförmigen Bestockungen.

Insgesamt herrscht die Meinung vor, dass plenterartig strukturierte Bestände weniger als gleichförmige von Naturereignissen geschädigt werden. Gleichwohl belegen Beobachtungen auf Versuchsflächen der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württembergs, dass zwischen Plenterwald (Zwangsnutzungsanteil 21 %) und gleichförmigem Hochwald (26 %) nur geringe Unterschiede bestehen (Kenk, pers. Mitt.). Mohr und Schori (1999), welche die Zwangsnutzungen in einer Plenter- und einer Femelschlagbetriebsklasse im Toppwald im unteren Emmental auswerteten, kommen für den 16jährigen Zeitraum 1981-1997 zum Ergebnis, dass sich Plenterwald (10,1 % Zwangsnutzungsanteil) und Femelschlagwald (8,5 %) kaum unterscheiden. Die Zwangsnutzungen wurden übrigens vor allem durch Sturm und Käferbefall verursacht.

Die systematischen Untersuchungen von Dvořak und Bachmann (2001) in der vom Sturm Lothar (26.12.1999) stark betroffenen Plenterregion Emmental erlauben es zum ersten Mal, die vergleichbare Empfindlichkeit der strukturierten Wälder gegenüber gleichförmigen Bestockungen einigermaßen klar wissenschaftlich zu dokumentieren. In dieser Studie, basierend auf 520 ha, weisen die Plenterwälder eine statistisch signifikant bessere Stabilität gegen Stürme auf als die gleichförmigen bzw. die in Überführung bestehenden Bestockungen. Flächenmässig machen die starken und totalen Waldschäden (mit einer Schadenintensität von mehr als 40 %) im Plenterwald 17,5 % aus, gegenüber 40 % in gleichförmigen Beständen. Die Überführungsbestände nehmen eine Zwischenstellung ein.

Das Ergebnis ist klar, auch wenn in einem multivariaten Erklärungsmodell mit logistischem Funktionsansatz die Ausprägung der statistisch signifikanten Variablen (Betriebsart und Zeit seit der letzten Nutzung) mit einer Varianzanteil von $R^2 = 0,18$ eher bescheiden erscheint. Die Empfindlichkeit des gleichförmigen Walds steht immerhin verhältnismässig 2,4 Mal höher als die des Plenterwalds.

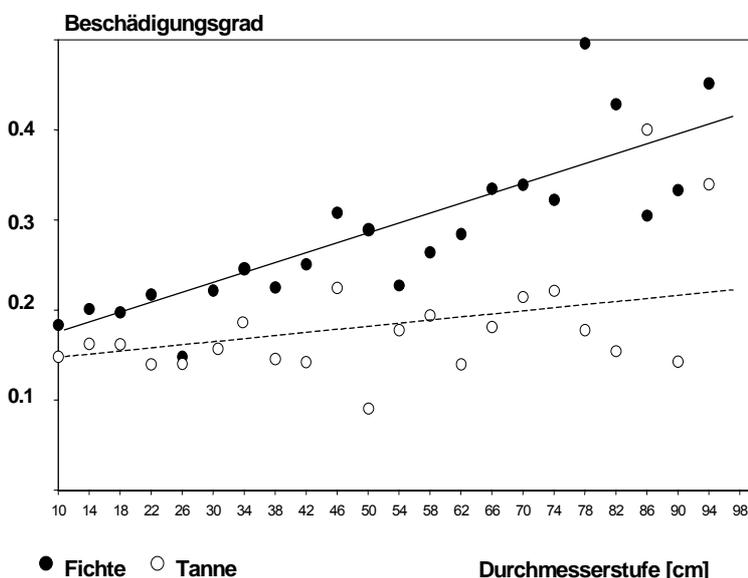


Abb. 3.8: Beschädigungsgrad nach Sturmschäden in Plenterwäldern in Abhängigkeit des BHD für Fichte und Tanne.

Nach Dvořak und Bachmann (2001)

Einer der Gründe für die schwache Ausprägung der betrachteten Variablen liegt darin, dass die exakte Windgeschwindigkeit nicht bekannt war. Auch war in den Plenterwäldern der Anteil der Tanne wesentlich grösser als in den gleichförmigen Wäldern, wo meistens die Fichte dominiert. In der Tat zeigt sich die Tanne um 30% widerstandsfähiger als die Fichte bzw. weist sie eine andere Abhängigkeit vom BHD auf als die Fichte (siehe Abb. 3.8). So nehmen die Schäden bei der Fichte mit zunehmendem BHD deutlich zu, was bei der Tanne nicht der Fall zu sein scheint. Dies dürfte auf die bessere Verankerung der Tanne hindeuten.

Die in der Praxis früher formulierte Befürchtung, dass die grössere Oberflächenrauigkeit der Plenterwälder wegen des aufgelösten Schlussgrads zu einer grösseren Windsturmempfindlichkeit führen könnte, lässt sich somit nicht bestätigen, im Gegenteil. Dieser Umstand wird durch die Windkanaluntersuchungen von Gardiner et al (1997) bekräftigt, welche zeigen, dass nicht die regelmässige Lichtung im Kronenraum zu zunehmenden Turbulenzen bzw. Windschäden führt, sondern erst die Schaffung von genügend grossen Bestandeslücken. Darüber hinaus haben sich die seit langer Zeit ohne direkte seitliche Konkurrenz stehenden Bäume der Oberschicht der Windbewegung angepasst.

Interessanterweise zeigen die Resultate von Dvořak und Bachmann (2001) für die untersuchten Plenterwälder eine klare Abhängigkeit der Sturmschäden von der Vorratshaltung (Abb. 3.9). So zeigt sich, ausser bei ganz lichten Plenterwäldern mit kleineren Vorräten als 100 m³/ha, eine deutliche Verringerung der Sturmempfindlichkeit mit zunehmendem Vorrat.

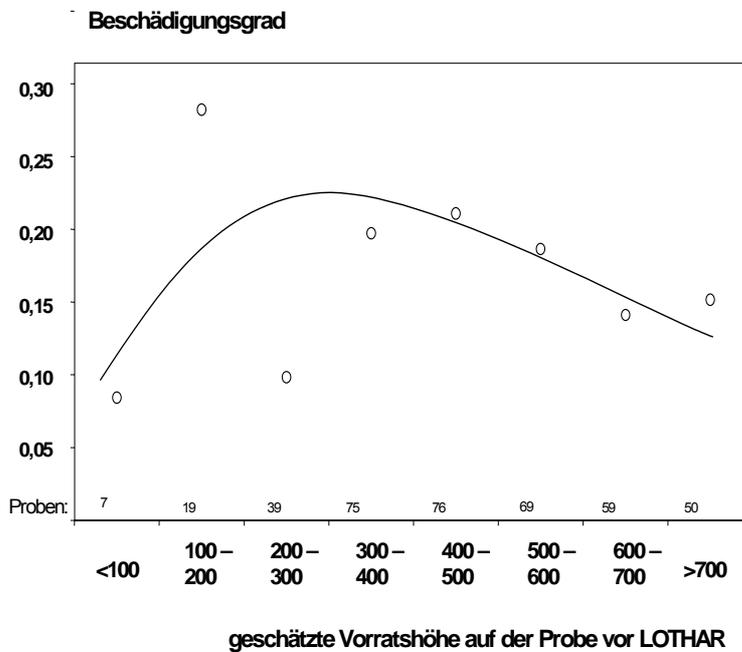


Abb. 3.9: Beschädigungsgrad (Stammzahlmässig) nach Sturmschäden in Plenterwäldern in Abhängigkeit der Vorratsstruktur vor dem Sturm.

Nach Dvořak und Bachmann (2001)

Der unbestrittene und sicherlich wichtigste Vorteil des Plenterwaldes ist jedoch die Beständigkeit, mit welcher die Schutzleistungen erbracht werden. Die Plenterung ist daher eine Betriebsart, die für Schutzwälder wie geschaffen ist. Die einzige Ausnahme davon ist möglicherweise der Steinschlagschutzwald, der für einen wirksamen Schutz eine hohe Stammzahl benötigt. Aber auch hier zählt eine dauernde Schutzleistung mehr als eine maximale, jedoch nur vorübergehend erbrachte Leistung. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Baumartenmischung. Dabei hat sich die Anwesenheit der Tanne, die fäuleresistenter ist als die Fichte, als besonders vorteilhaft erwiesen. Diese Aussagen machen deutlich, dass ein gemischter, stammzahlreicher Plenterbestand auch die sehr speziellen Ansprüche an einen Steinschlagschutzwald sehr gut zu erfüllen vermag.

Resilienz des Plenterwaldes

Über die wahre Widerstandsfähigkeit der Plenterwälder hinaus darf die Tatsache, dass im Plenterwald nach heftigen Sturmschäden genügend überlebende Bäume bestehen, als sehr günstige Eigenschaft gewürdigt werden. Die sog. Resilienz des Plenterwaldes erlaubt es, in kurzer Zeit wieder eine funktionsfähige Bestockung zu schaffen. So zeigen die Beobachtungen von Dvořak und Bachmann (2001), dass in mittelstark beschädigten Plenterwäldern genügend Jungbäume in Dichtung und Stangenholzalter intakt bleiben und sogar vereinzelt Stangen bis in die Oberschicht. Dies gilt auch für stark beschädigte Plenterbestände, wo selten kahle Flächen wie im gleichförmigen Wald entstehen können.

3.1.5 Ökophysiologische Voraussetzungen

Der folgende Vergleich der ökophysiologischen Voraussetzungen für die beiden Betriebsarten Plenterwald und schlagweiser Hochwald stützt sich im wesentlichen auf die Arbeit von Kern (1966), der die wichtigsten mikroklimatischen Messgrößen in zwei Plenterwäldern und zwei unterschiedlich alten gleichförmigen Hochwaldbeständen im nördlichen Hochschwarzwald (Baden-Württemberg) untersuchte.

Ein auch auf lange Sicht wirksamer Vorteil des Plenterwaldes besteht darin, dass aufgrund der gleichbleibenden Struktur keine plötzlichen Änderungen der mikroklimatischen Bedingungen auftreten. Kleinflächig hingegen herrscht sogar eine grössere Variabilität als im schlagweisen Hochwald, was günstigere Voraussetzungen für die Verjüngung schafft. Bezüglich Niederschläge und Einstrahlung sind nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Betriebsarten zu verzeichnen. Eine Ausnahme bilden die bereits erwähnten grossen lokalen Unterschiede im Plenterwald.

Für die Betrachtung der übrigen mikroklimatischen Faktoren ist eine klare Unterscheidung zwischen oberem Kronenraum und Boden erforderlich: Während die Einflüsse im oberen Teil des Kronenraums für die Photosynthese entscheidend sind, wirken sich bodennahe Faktoren vor allem auf den Verjüngungsprozess aus.

Entgegen den Erwartungen unterscheidet sich der obere Kronenraum des Plenterwaldes von demjenigen eines gleichförmigen Altbestandes durch grössere Temperaturunterschiede, eine etwas höhere Luftfeuchtigkeit und eine etwas niedrigere Transpirationsrate. Angesichts des rauhen Hochlagenklimas der genannten Untersuchungsflächen (Jahresmitteltemperatur 5 bis 6°C) lässt sich daraus schliessen, dass die ökophysiologischen Voraussetzungen für das Wachstum im Plenterwald ungünstiger sind als im gleichförmigen Hochwald. Diese Aussage gilt insbesondere für normale Jahre, in denen Wärme ein limitierender Faktor ist. In ausgesprochen warmen Jahren, unter günstigeren Wachstumsbedingungen oder in tieferen Lagen dürfte dagegen der Plenterwald im Vorteil sein. Jahrringanalysen von Plenterwaldfichten bestätigen diese Interpretation: In klimatisch normalen Jahren erreichen die Jahrringe 91 % des langjährigen Mittels, in warmen, trockenen Jahren 122 % (Mitscherlich 1963).

In Bodennähe muss das Zusammenwirken der mikroklimatischen Faktoren anders interpretiert werden. Der Plenterwald weist hier einen ausgeglicheneren Temperaturgang auf als der gleichförmige Hochwald. Das Bestandesklima ist ozeanischer: im Sommer kühler, im Winter wärmer. Zudem ist die Luftfeuchtigkeit etwas höher, die Transpirationsrate deutlich geringer und die Windbewegung schwächer. Die genannten Faktoren verleihen dem Plenterwald einen bedeutenden ökophysiologischen Vorteil und erklären die bessere Verjüngungsgunst und Verjüngungsentwicklung bei dieser Betriebsart.

3.2 PLENTERWALD UND GLEICHFÖRMIGER HOCHWALD IM LEISTUNGSVERGLEICH

3.2.1 Volumenleistung

Zwischen Befürwortern und Gegnern der Plenterung ist seit langem umstritten, welche der beiden Betriebsarten die höhere Wuchsleistung erbringt. Die Befürworter argumentieren mit der besseren Ausnützung des Kronenraums im Plenterwald, was eine Ausdehnung der

Photosynthesetätigkeit auf alle Bestandesschichten zur Folge habe. Biolley (1901) spricht in diesem Zusammenhang von Photosynthese senken ("chômage") in der mittleren und unteren Schicht eines gleichförmigen Bestandes, was im Plenterwald nicht der Fall ist. Demgegenüber verweisen die Gegner auf die höhere Stammzahl im gleichförmigen Hochwald, was im Endeffekt zu einer insgesamt höheren Wuchsleistung führen dürfte.

Das Kernproblem besteht darin, genau festzulegen, welche Grössen miteinander verglichen werden sollen. Der Plenterwald leistet zwar einen gleichbleibenden Zuwachs, er braucht dafür aber zuerst einen Ausgangsbestand, der diesen Zuwachs leistet. Als Zuwachs wird gemäss Definition der periodische Zuwachs bezeichnet, der im Plenterwald durch zwei aufeinanderfolgende Inventuren leicht ermittelt werden kann. Zwei Voraussetzungen müssen jedoch erfüllt sein: Der Bestand sollte, da Strukturschwankungen die Produktion beeinflussen, im Plentergleichgewicht sein. Ausserdem müssen sich die Messungen über einen genügend langen Zeitraum erstrecken (20 bis 30 Jahre), damit die teilweise beträchtlichen klimabedingten Zuwachsschwankungen ausgeschaltet werden können.

Im gleichförmigen Hochwald ist die dem Plenterwald entsprechende Produktivität als der durchschnittliche Gesamalterszuwachs zum Zeitpunkt seiner Kulmination definiert (Volumen des seit der Bestandesbegründung produzierten Derbholzes geteilt durch die Anzahl Jahre). Für seine Berechnung bedarf es also Informationen über die Gesamtwuchsleistung, die auch solche Bäume berücksichtigt, die im Zuge von Pflegeeingriffen entnommen wurden, und über den Zeitpunkt, an dem der durchschnittliche Gesamalterszuwachs den höchsten Stand erreicht (Kulmination). Für eine dem Plenterwald vergleichbare direkte Zuwachsbestimmung müsste sich der Beobachtungszeitraum im gleichförmigen Hochwald über die gesamte Lebensdauer des Bestandes erstrecken. Da ein solches experimentelles Vorgehen kaum realistisch ist, entzieht sich der gleichförmige Hochwald einer direkten Zuwachsbestimmung.

Der Leistungsvergleich zwischen den verschiedenen Betriebsarten kann aufgrund der genannten technischen Schwierigkeiten nur über Modelle erfolgen. Es ist anzunehmen, dass die Wirkungen der höheren Stammzahl und jene der besseren Ausnutzung des Kronenraums sich ungefähr ausgleichen und somit im Endeffekt nur geringe Produktivitätsunterschiede zur Folge haben.

Von den zahlreichen Untersuchungen, die sich mit einem experimentellen Vergleich der beiden Betriebsarten befassen, entsprechen allein die Arbeiten von Mitscherlich (1963) und Kern (1966) den obengenannten Voraussetzungen. Die Arbeiten befassen sich mit dem Wachstum im Plenterwald (fünf Parzellen) und im gleichförmigen Hochwald (drei Parzellen) im Gebiet von Wolfach im mittleren Schwarzwald. Sie untersuchen einen Zeitraum von 60 Jahren, was für eine exakte Ermittlung der durchschnittlichen Gesamtwuchsleistung im gleichförmigen Hochwald immer noch zu kurz sein dürfte. Der Vergleich der mittleren Zuwächse ergibt eine leichte, statistisch nicht signifikante Überlegenheit des gleichförmigen Hochwaldes. Auch Kern (1966) kommt beim Vergleich eines alten, gleichförmigen Fichtenbestandes mit einem starkholzreichen Plenterbestand zu den gleichen Ergebnissen.

Die Aussagen von Mitscherlich (vgl. Abschnitt 3.1.5) weisen darauf hin, dass die Plenterstruktur im rauen Klima der Schwarzwaldhochlagen ökophysiologisch ungünstig auf den Zuwachs wirkt. Seine Beobachtungen lassen vermuten, dass die Auswirkungen der Struktur unter anderen und insbesondere wärmeren Klimabedingungen zu einem gegenteiligen Ergebnis führen. Abschliessend darf aufgrund der oben genannten Arbeiten und Überlegungen wohl mit Recht behauptet werden, dass die beiden Betriebsarten annähernd den gleichen Volumenzuwachs leisten.

3.2.2 Wertleistung

Die Wertleistung ist die Grösse, deren Bedeutung an erster Stelle steht. Seit langem wird vermutet, dass der Plenterwald aufgrund seiner Starkholzproduktion einen entscheidenden Vorteil besitzt. Die Besonderheit, dass es im Plenterwald nur sehr wenige Bäume schwacher Dimension braucht, um den Nachwuchs sicherzustellen, und die Hauptproduktion die starken Bäume erbringen, erwähnen schon Gurnaud (1865), Biolley (1887), Hufnagl (1939) und Mitscherlich (1952). Die hohe Stabilität des Plenterwaldes, ohne Zweifel ein zusätzlicher und auf lange Sicht sehr wichtiger Vorteil, wird übrigens von diesen Autoren erst an zweiter Stelle genannt. Abbildung 3.10 zeigt die Verteilung der Volumenzuwachsstärke nach Durchmesserstufen (BHD) für zwei klassische Plenterwälder im Gleichgewicht und für einen gleichförmigen Modellbestand nach den schweizerischen Ertragstafeln.

Die Unterschiede werden auf den ersten Blick deutlich: Im Gegensatz zum Ertragstafelbestand, bei dem nur knapp die Hälfte des produzierten Holzes Starkholz ist und in die oberste Durchmesserklasse fällt (über 54 cm BHD), sind es im Plenterwald rund 80 %. Das für den Vergleich verwendete Ertragstafelmodell basiert übrigens auf starken Hochdurchforstungen. Anzumerken ist, dass die meisten Ertragstafeln in Europa für mässige Durchforstungen oder gar Niederdurchforstungen gelten. Würde man sie für Ertragsmodelle heranziehen, offenbarten sich noch wesentlich grössere Unterschiede.

Gegner der Plenterung argumentieren oft mit den im Plenterwald grösseren Schwierigkeiten der Holzernte und den daraus entstehenden höheren Kosten. Weitere Ansatzpunkte für Kritik sind die angeblich schlechtere Holzqualität, insbesondere der hohe Anteil astigen Holzes, und sonstige Nachteile bei der Handhabung von Starkholz.

Es ist unbestritten, dass die Holznutzung im Plenterwald immer eine besondere Sorgfalt erfordert. Dies betrifft vor allem den Umgang mit dem Nachwuchs. Sie sollte daher nur mit hochqualifiziertem Personal und mit geeigneten Arbeitsmitteln erfolgen. Dazu gehören vor allem Maschinen, die den besonderen Verhältnissen angepasst sind. Aus diesem Grund werden in den klassischen Plentergebieten Stämme von 9 bis 10 m Länge (Blöcke) gerückt. Es muss jedoch betont werden, dass ein normaler Plenterhieb jeweils nur 40 bis 60 Bäume je Hektar umfasst, die zudem ein betriebswirtschaftlich und arbeitstechnisch günstiges Stammvolumen von durchschnittlich 1 bis 1,5 m³ aufweisen. Zu den Sortimenten, die bei den verschiedenen Eingriffen im Leben eines schlagweisen Hochwaldbestandes anfallen, bestehen somit deutliche Unterschiede (Abb. 3.10). Roches (1970) konnte in einer Modellstudie nachweisen, dass bei Berücksichtigung aller Faktoren die Holzerntekosten (Holzhauerei, Rücken) im Plenterwald nicht höher liegen als im schlagweisen Hochwald. Die grössere Sorgfalt, die bei der Holzernte im Plenterwald erforderlich ist, wird durch die günstigeren Stammdimensionen und die geringere Anzahl der zu nutzenden Stämme kompensiert.

Gesamtwuchsleistung in Volumen (%)

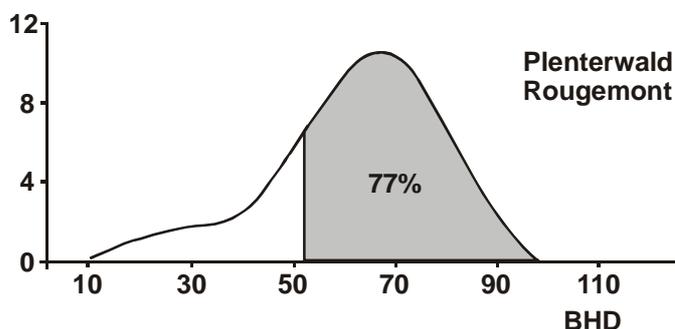
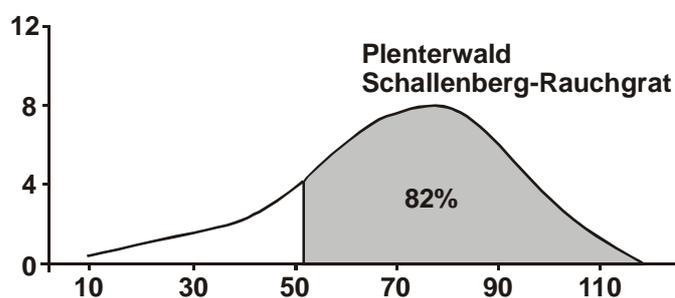
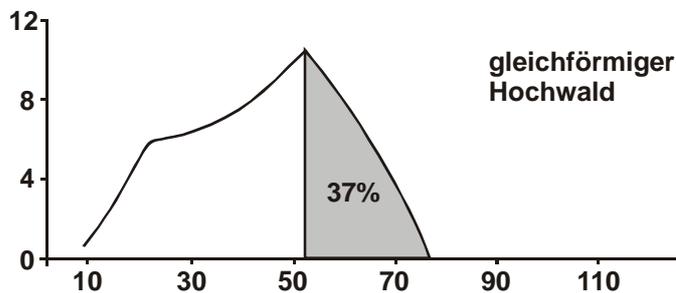


Abb. 3.10: Holzproduktion nach Stärkeklassen im Plenterwald und im gleichförmigen Hochwald.

Verteilung der Gesamtwuchsleistung nach Durchmesserstufen der genutzten Bäume.

Für die Berechnung der Gesamtwuchsleistung des Plenterwaldes im Gleichgewicht werden die tatsächlichen Nutzungen (Plenterhiebe) herangezogen. Für die Gesamtwuchsleistung im gleichförmigen Hochwald wird das Ertragstafelmodell von Badoux (1968) verwendet. Es berücksichtigt den Durchforstungsanfall sowie den am Ende der Umtriebszeit verbleibenden Bestand. Das gewählte Modell entspricht der Fichtenbonität 22 ($H_{\text{dom}} = 22$ m im Alter 50 Jahre bzw. 35 m im Alter 100 Jahre) und einer Umtriebszeit von 110 Jahren.

Die detaillierten Zeitmessungen der Erntearbeiten von Cardot (1996) im französischen Hochjura bestätigen diese Zusammenhänge. Der Autor, der den Zeitbedarf für die Holzernte in zwei Plenterhieben und in drei Hieben in gleichförmigen Tannen-Fichten-Bestockungen untersuchte, kommt zum Ergebnis, dass beim Plenterhieb für gleiche Brusthöhendurchmesser rund 25% mehr Zeit benötigt werden. Er begründet diesen zeitlichen Mehraufwand mit der stärkeren Astigkeit im Kronenbereich und etwas längeren Gehzeiten. Aufgrund der bekannten Tatsache, dass die Aufarbeitungskosten pro m^3 mit steigender Baumdimension abnehmen und beim Plenterhieb wesentlich stärkere Dimensionen genutzt werden, sind aber die Arbeitskosten pro m^3 etwa gleich hoch.

Das Argument, der schlechten Holzqualität in Plenterbeständen, ist ebenfalls nicht haltbar. Tatsache ist zwar, dass Plenterwaldbäume gut entwickelte Kronen besitzen, sodass die obere Hälfte nur sehr astiges und damit qualitativ minderwertiges Holz liefert. Auch die abholzige Stammform, die den Plenterwaldbäumen die geschätzte hohe mechanische Stabilität verleiht, ist holztechnologisch ungünstig. Im Plenterwald ist somit bei gleichem Brusthöhendurchmesser der Anteil des Stammholzes etwas geringer als im gleichförmigen Hochwald. Diese Nachteile werden aber durch die bessere Stärkeklassenverteilung bei Nutzungen weitgehend

ausgeglichen, sodass der Stammholzanteil (ohne Industrieholz) durchschnittlich 75% und damit einen vergleichsweise hohen Wert erreicht.

Der untere Stammteil, d.h. die untersten 10 bis 12 m, trägt mit Abstand am meisten zum Holzerlös bei. Bei Plenterwaldbäumen liefert dieser auch als Erdstammstück bezeichnete Stammteil ausgesprochen hochwertiges Holz. Dazu tragen sowohl der bereits erwähnte gleichmässige Jahrringaufbau als auch die geringe Astigkeit bei. Für die Anlage feiner Äste ist es übrigens vorteilhaft, wenn die Bäume in der Unterschicht im Halbschatten aufwachsen. Plenterwaldbäume liefern daher nicht selten äusserst hochwertige Sortimente wie Schäl- oder Messerfurniere.

Die Untersuchung der Betriebsergebnisse zweier Gemeindewälder in Bayern (Knoke 1998a) bestätigt diese These. Der Autor kommt zum Ergebnis, dass im Plenterbetrieb infolge vor allem der günstigeren Sortenstruktur 6% mehr hochwertige Sortimente erzeugt wurden als im Betrieb mit schlagweisem Hochwald. Pechmann und Lippenmeier (1975) wählten einen anderen Ansatz: Indem sie Schnittware aus Plenterwald und schlagweisem Hochwald auf ihrem Weg durch die Sägerei verfolgten, konnten sie den qualitativen und technologischen Vorteil von Plenterwaldholz nachweisen.

Skeptiker der Plenterung argumentieren oftmals, dass die Holzwirtschaft Starkholz weder wünsche noch nachfrage. Das Argument ist nach Ansicht des Verfassers jedoch wenig überzeugend. Da die holzwirtschaftlichen Betriebe sich gezwungenermassen an die zur Verfügung stehenden Rohstoffe anpassen, darf die Starkholzfrage sicherlich nicht aus der Sicht von solchen Betrieben beantwortet werden, die in Regionen liegen, die kaum Starkholz hervorbringen. Die Abneigung der Säger dieser Regionen gegen das Starkholz lässt sich auch durch die schlechte Qualität von manchen starken Stämmen erklären: Beispielsweise weisen protzige Vorwüchse (als Folge einer versäumten Pflege) oder Mittelwaldbäume zahlreiche Holzfehler wie Ringschäle, Stamm- oder Herzrisse auf. In den typischen Plenterregionen dagegen (z.B. Neuenburger Jura, Emmental) ist das Starkholz in der Regel von guter Qualität und die Einstellung der Säger dementsprechend entgegengesetzt. Sie haben ihre betrieblichen Einrichtungen den starken Sortimenten angepasst und schrecken selbst vor dem Kauf von solchen Dimensionen nicht zurück, die den Durchlass der Gattersäge überschreiten (in solchen Fällen viertelt eine vorgeschaltete Blockbandsäge die Stämme). In diesen Regionen führt selbst eine allgemein sinkende Holznachfrage nicht zu einer Geringschätzung der starken Sortimente.

Die obenstehenden Ausführungen dienen nicht dazu, die Starkholzproduktion grundsätzlich zu empfehlen. Auch der Begriff des Starkholzes soll an dieser Stelle angesprochen werden. Stämme mit einem Durchmesser (BHD) zwischen 45 und 60 cm bieten hinsichtlich Produktion und Nutzung zahlreiche Vorteile. Ein Beispiel ist der Zeitbedarf für die Holzhauerei. Nach den Untersuchungen von Pfeiffer et al. (1978) wird für einen Stamm mit 60 cm Mittendurchmesser nur die halbe Zeit je Volumeneinheit benötigt wie für einen Stamm mit 26 cm. Im Gegensatz dazu bietet das extrem starke Holz mit Durchmessern (BHD) von über 80 cm häufig Nachteile. Auf diese Problematik wird im Abschnitt 3.4.3 über Zieldurchmesser eingegangen.

Eine einfache Schätzung der Wertleistung kann über den Nettoholzerlös erfolgen. Abbildung 3.11 zeigt, analog zum vorangehenden Vergleich der Zuwachsleistungen, einen Vergleich der Wertleistungen eines Plenterwaldes und eines gleichförmigen Hochwaldes. Der Vergleich basiert auf den Erntekosten und Holzerlösen in der Schweiz im Jahre 1994. Er zeigt eine insgesamt deutliche Überlegenheit des Plenterwaldes. Die Wertleistung des Plenterwaldes liegt um 27% (Couvét/Jura) bis 47% (Schallenberg-Rauchgrat/Emmental) höher als die des gleichförmigen Hochwaldes. Der beträchtliche Unterschied zwischen den beiden Versuchsf lächen ist standörtlich begründet. Frühere Berechnungen mit demselben Kalkulationsschema (Schütz 1985a) führten im Ergebnis zu einer etwas geringeren Überlegenheit des Plenterwaldes

(19% und 24%). Die seither rückläufigen Holzerlöse und die angestiegenen Holzerntekosten haben also die Starkholzproduktion noch rentabler werden lassen. Allerdings kommen in diesen Ergebnissen weder Unterschiede der Holzernte im Plenterwald, wie Cardot (1996) mittlerweile zeigte, noch Preisunterschiede zwischen Tanne und Fichte, welche sich heute auch deutlich absondern, vor.

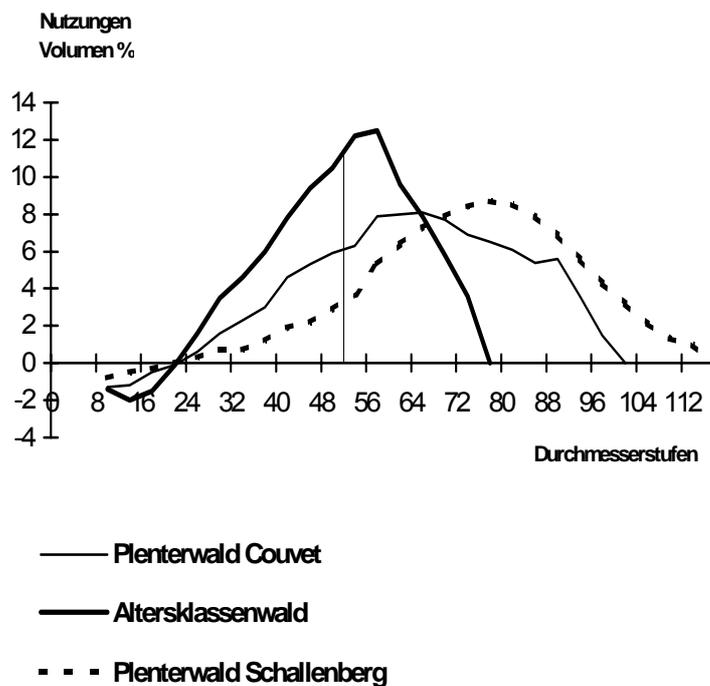


Abb. 3.11: Vergleich der Wertleistungen von Plenterwald und gleichförmigem Hochwald.

Prozentuale Verteilung des Nettoerlöses aller Nutzungen nach den Durchmessern (BHD) der entnommenen Stämme. Die Berechnung des Nettoerlöses erfolgte nach dem Werttarif 1995 der Professur für Waldbau der ETH Zürich; verwendet wurden die Holzpreise und Lohnkosten aus dem Jahr 1994 (Schütz 1996).

Gleichförmiger Hochwald gemäss schweizerischen Ertragstafeln für Fichte (Badoux 1968), Bonität 22. Wertleistung 63,31 CHF je m³ und Jahr. Plenterwald (Schallenberg-Rauchgrat) im Emmental, Höhenlage 1040 m, Vorrat 460

m³ je ha, Wertleistung 92,88 CHF je m³ und Jahr, entspricht 147 % der Leistung des gleichförmigen Hochwaldes. Jura-Plenterwald (Couvet, Schattenseite), Höhenlage 800 m; Vorrat 338 m³ je ha, Wertleistung 80,51 CHF je m³ und Jahr, entspricht 127 % der Leistung des gleichförmigen Hochwaldes.

Die Berechnung der Wertleistung basiert auf durchschnittlichen Nutzungen in einem Plenterwald im Gleichgewicht. Die Nutzungen im gleichförmigen Hochwald wurden der oben bezeichneten Ertragstafel entnommen. Sie setzen sich aus dem Durchforstungsanfall und dem verbleibenden Bestand am Ende der Umtriebszeit (110 Jahre) zusammen.

Der Vergleich der Wertleistung von Plenterwäldern und gleichförmigen Hochwäldern im Schwarzwald ist Inhalt einer Arbeit von Schulz (1993). Der Autor kommt zum Ergebnis, dass der Plenterwald (mittlere Variante) dem gleichförmigen Hochwald um 17 % überlegen ist. Die im Plenterwald grösseren Schwierigkeiten bei der Holzernte werden in den Berechnungen mit einem Zuschlag von 10 % auf die Holzerntekosten berücksichtigt. Trotzdem sind die volumenbezogenen Holzerntekosten im Plenterwald aufgrund der günstigeren Stärkeklassenverteilung praktisch identisch mit denjenigen im gleichförmigen Hochwald (Differenz 0,5 %).

Auch Knoke (1998a) berechnet für den oben erwähnten Plenterbetrieb der Gemeinde Kramsberg (Bayern) einen erntekostenfreien Erlös, der durchschnittlich 20 % über demjenigen eines standörtlich vergleichbaren Altersklassenbetriebs liegt. Dieses Ergebnis kommt zustande,

obwohl der Plenterbetrieb 8 % weniger Holz erzeugt. Knoke (1999) spricht sogar von einem Leistungsvorsprung des Plenterwaldes um 40 %.

Um die Wertleistung der Betriebsart Plenterwald insgesamt erfassen zu können, müssen auch die geringeren Kosten für die Bestandesbegründung und die spätere Nachwuchspflege bzw. Bestandespflege einbezogen werden. Aufgrund einer vergleichenden Untersuchung der finanziellen Ergebnisse von vier Betriebsmodellen stellte Siegmund (1975) eine deutliche Überlegenheit des Plenterwaldes fest (Tab. 3.12). Der finanzielle Vorteil der Plenterung gegenüber dem Kahlschlag beträgt je nach Berechnungsvariante zwischen 44 und 54 %, im Mittel 50 %. Gegenüber der Variante Schirmschlag reduziert sich dieser Vorteil nur geringfügig auf 41 bis 49 %. Der Autor führt folgende Gründe an:

- der höhere Nadelholzanteil im Plenter- und Femelschlagbetrieb,
- die starken Stammdimensionen im Plenterwaldbetrieb gegenüber einem hohen Anteil an Durchforstungsholz im schlagweisen Hochwaldbetrieb (Kahlschlag, Schirmschlag),
- die hohen Kosten für die Bestandesbegründung im Kahlschlagbetrieb gegenüber sehr niedrigen Kosten bei der Plenterung.

Tabelle 3.12: Finanzielle Ergebnisse verschiedener Betriebsformen

Betriebsform	Finanzielles Netto-Ergebnis		Finanzieller Vorteil gegenüber Kahlschlagbetrieb
	In %	in DM ha ⁻¹ Jahr ⁻¹	in DM ha ⁻¹ Jahr ⁻¹
Plenterung	144 - 154	557 - 600	186 - 195
Femelschlag	132 - 139	503 - 548	134 - 141
Schirmschlag	103 - 105	380 - 425	11 - 22
Kahlschlag	100	362 - 414	0

[Nach Siegmund (1975)]

Die untersten und obersten Bereichswerte der Tabelle stehen jeweils für die beiden Varianten "Handentrindung aller Nadelholzstämme" (untere Werte) und "ohne Entrindung" (obere Werte).

Die je nach Betriebsform unterschiedlich hohen waldbaulichen Risiken können nur unter grossen Schwierigkeiten modellhaft dargestellt oder quantifiziert werden. Sie wurden daher in der genannten Arbeit nicht berücksichtigt.

Mohr und Schori (1999) untersuchten die konkreten finanziellen Ergebnisse in den beiden Betriebsklassen "Plenterwald" (Region Emmental, Toppwald) und "Femelschlagwald" (Region Bern-Mittelland), beide im Staatswald des Forstkreises Bern. Die Untersuchung des 16jährigen Zeitraums 1981 bis 1997 zeigte, dass der finanzielle Gesamterfolg im Plenterbetrieb 20 % höher gewesen war als derjenige im Femelschlagbetrieb. Ohne Berücksichtigung der staatlichen Subventionen für die Jungwaldpflege hätte der Wert sogar 25 % betragen. Dies entspricht einem Unterschied von 25.- Franken je m³ genutztem Holz.

Modellkalkulation von Knoke (1999) und Pretzsch und Kahn (1996) in einem Wertleistungsvergleich von Plenterwald und schlagweisem Wald in Bayern zeigen, dass auch bei Limitierung des Zieldurchmessers auf etwa 50 cm BHD für den Plenterwald, ihre Überlegenheit in Wertleistung immer noch auszuweisen ist (siehe Tabelle 3.13).

Tabelle 3.13: Wertleistungsvergleich zwischen Plenterwald und schlagweisem Hochwald bei unterschiedlichen Umtriebszeiten bzw. Zieldurchmesser

Bezugsgrösse	Schlagw. Hochwald			Plenterwaldmodelle		
	Umtriebszeit (J.)			Zieldurchmesser (cm)		
	80	100	120	51	60	78
Durchschnittl. Wertzuwachs (DM/ha/J)	570	694	736	828	981	1208
Verhältnis Plenter- zu Schlagwald (%)	100	100	100	145 119 113	172 141 133	212 174 164

Gültigkeitsbereich: Kalkulationsergebnisse für drei Fichten Schlagwaldbetriebsklasse nach Pretzsch und Kahn (1996), Plenterwald: Kalkulationsergebnisse von drei Plentermodellbestände (Knoke, 1998). Preisbasis 1995. Wachstumssimulator: SILVA 2.1 und BDAT für Sortimentierung.

[Nach Knoke, 1999]

Die vorangehenden Abschnitte zeigen, dass die Plenterung schon aufgrund ihrer finanziellen Ergebnisse eine herausragende Betriebsform ist. Sie erfordert jedoch, wie bereits Biolley (1901) klar erkannt hat, eine intensive, auf Wertholzproduktion ausgerichtete Bewirtschaftung. Kurz gesagt ist sie eine der am höchsten entwickelten Formen des Qualitätswaldbaus (Schütz 1985a). Wenn man zusätzlich die übrigen Vorteile dieser Betriebsart berücksichtigt, so ist es mehr als erstaunlich, dass der Plenterung bislang nicht mehr Aufmerksamkeit geschenkt wurde und sie in der Praxis nicht häufiger angewendet wird.

3.3 STANDÖRTLICHE VORAUSSETZUNGEN FÜR DIE PLENTERUNG

3.3.1 Allgemeine Standortsbedingungen

Ein Plenterwald kann nur unter bestimmten Voraussetzungen verwirklicht werden. Dazu zählen ein geeigneter Standort und vor allem, dass die Baumarten, die von Natur aus vorkommen, eine gute Entwicklung zeigen. Eine Plenterung ist zunächst einmal nur möglich mit Baumarten, die zumindest Halbschatten ertragen und darin einzeln aufwachsen können, d.h. sie müssen trotz der teilweisen Beschattung ein wipfelschäftiges Wachstum aufweisen (Akrotonie). Unter den gemässigten Klimabedingungen Europas werden diese Anforderungen in erster Linie von Nadelbäumen, insbesondere von Tanne, Fichte und Arve erfüllt. Die Eignung von Föhre und fremdländischen Baumarten wie Douglasie wurde bereits in den Abschnitten 2.3.4 und 2.3.5 ausführlich behandelt.

Aus den Ausführungen wird deutlich, dass man Plenterstrukturen am häufigsten in solchen Wäldern antreffen wird, wo bereits eine starke natürliche Tendenz zur Differenzierung besteht. Aus pflanzensoziologischer Sicht handelt es sich dabei vor allem um den Bereich der Tannen-Buchenwälder (*Abieti-Fagion*) oder, etwas präziser ausgedrückt, um diejenigen Waldgesellschaften, in denen sich zusätzlich zu den beiden schon erwähnten Baumarten die Fichte von Natur aus einfindet. Dies ist sowohl im Hainsimsen-Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum luzuletosum*) als auch im Blockschutt-Fichtenwald (*Asplenio-Piceetum*) der Fall. Es überrascht daher nicht, dass aus diesen beiden Gesellschaften die besten Beispiele für Plenterwald wie auch der Grossteil unserer Kenntnisse über diesen Waldtyp stammen. Je mehr die Standortbedingungen davon abweichen, d.h. je stärker Bestandesstrukturen zur Gleichförmigkeit neigen, desto schwieriger ist die Schaffung und Erhaltung von Plenterstrukturen. In solchen Fällen bedarf es einer klaren waldbaulichen Zielsetzung sowie eines konsequenten und konstanten waldbaulichen Vorgehens.

In tieferen Lagen ist die Plenterung möglich, wenn die Konkurrenzkraft der begleitenden Laubbäume deutlich reduziert ist. An dieser Stelle sei der Peitschenmoos-Fichten-Tannenwald (*Bazzanio-Abietetum*) genannt, in dem der saure und grundwasserbeeinflusste Boden für die geringe Wuchskraft der Laubbäume verantwortlich ist. Ein ähnliches Wirkungsgefüge findet sich im montanen Fichtenwald. Die Verwirklichung der Plenterstruktur bedarf hier aber grösserer Anstrengungen, da dieser Typ von Natur aus zu einer mehr gleichförmigen Struktur neigt (Korpel 1982b). Er unterscheidet sich damit deutlich vom subalpinen Fichtenwald, der von Natur aus viel lichter ist.

3.3.2 Wild als problematischer Faktor bei der Umsetzung

Abgesehen von der unzureichenden natürlichen Strukturdiversifizierung ist es meist die ungenügende Verjüngung, welche der Verwirklichung einer Plenterstruktur entgegensteht. Um eine Plenterstruktur erfolgreich bewahren zu können, bedarf es einer kontinuierlichen Verjüngung in Form von kleinen Gruppen, die über die ganze Bestandesfläche verteilt sind. Wo die Verjüngung zu stark von der Krautschicht (z.B. Hochstauden oder Brombeeren) behindert wird oder ein zu starker Wildverbiss vorkommt, ist die Plenterung stark erschwert oder sogar unmöglich. Beim Auftreten von Hochstauden sind Massnahmen zur Unterstützung der Verjüngung möglich. In Frage kommen die zeitweise Beweidung der Fläche oder sogenannte Stützpunktpflanzungen. Diaci (1995) konnte übrigens zeigen, dass die Pestwurz als eine der häufigsten Hochstaudenarten keine so ausschliessende Wirkung besitzt wie allgemein

angenommen wird. Gelingt es, die flächenhafte Ausbreitung der Pestwurz zu verhindern, wozu allein die Steuerung der Belichtung über das Kronendach ausreicht, so ist trotz der Anwesenheit von Hochstauden eine ausreichende Ansamung von Waldbäumen möglich.

Der Verbiss durch Rehwild ist heute einer der schwerwiegendsten Faktoren, welche der Verwirklichung der Plenterung entgegenstehen. Eiberle und Wenger (1983) haben gezeigt, dass Plenterwald und schlagweiser Hochwald nahezu dieselbe absolute Menge an natürlicher Äsung für das Wild bieten. Aufgrund des etwas geringeren Nährwertes und vor allem aufgrund des ausgeprägt zerstreuten Nahrungsangebotes im Plenterwald wurden die dort vorhandenen Bäumchen relativ stärker verbissen als im gleichförmigen Hochwald. Bei der Erklärung dieses Ergebnisses muss berücksichtigt werden, dass die Plenterstruktur dem Wild mehr Verstecke und eine bessere Deckung bietet und somit für das Wild attraktiver ist. Obwohl eine systematische Stichprobeninventur des Wildverbisses im Val-de-Travers dieses Ergebnis nicht bestätigen konnte (Schneider 1994), dürfte die stärkere Empfindlichkeit des Plenterwaldes gegenüber Verbiss eine niedrigere Toleranzgrenze hinsichtlich des Wildstandes bedeuten.

Zäune und die meisten anderen Schutzmassnahmen gegen Wildverbiss können kaum sinnvoll zur Anwendung kommen. Da auch indirekte Massnahmen wie die Pflanzung von Nebenbaumarten, die aufgrund ihrer Attraktivität für das Wild Schäden auf sich ziehen und damit von den waldbaulich wichtigen Baumarten ablenken sollen ('Verbiss- und Fegehölzer'), nur wenig Erfolg versprechen, bleibt als einziger Ausweg eine Reduktion des Wildstandes durch Abschuss.

3.4 STRATEGISCHE BETRACHTUNGEN BEI DER PLENTERUNG

3.4.1 Allgemeine Grundsätze

Eine Aufgabe der forstlichen Planung besteht darin, einen bestimmten Waldzustand oder diejenige Verfassung des Waldes zu definieren, welche den höchstmöglichen Gesamtnutzen bietet. Aufgabe des waldbaulichen Handelns dagegen ist es, die Bestockung in Richtung dieses Ziel zu entwickeln oder – sofern das Ziel schon erreicht wurde – die optimale Verfassung zu bewahren (Biolley 1897). Als Biolley die Kontrollmethode wahrnahm, ahnte er bereits die herausragende Bedeutung dieser Methode als Steuerungs- und Kontrollinstrument beim waldbaulichen Handeln. Ihr Hauptanliegen ist zweifellos die Optimierung der Produktion. Die Methode liefert holzmesskundliche Grössen zur Beschreibung des Plenterwaldes, die eine direkte Abschätzung des tatsächlichen waldbaulichen Zustandes erlauben. Bei den Grössen handelt es sich in erster Linie um den periodischen Zuwachs, der im Plenterwald – im Gegensatz zum gleichförmigen Hochwald – ein echtes Mass für die Produktivität darstellt. Die Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen beschreibt die Plenterstruktur und erlaubt dadurch, den Gleichgewichtszustand und damit die Nachhaltigkeit zu prüfen. Der stehende Holzvorrat stellt ebenfalls eine wichtige Grösse dar. Da Verjüngung und Nachwuchs direkt von ihm abhängig sind, ist er für die Steuerung des gesamten Systems "Plenterwald" sogar die wichtigste Grösse.

Biolley vermutete, dass der Erfolg der Bewirtschaftung nicht nur anhand quantitativer Kriterien gemessen werden kann. Quantitative Normen stellen zwar wichtige Ziele dar, bei ihrer Verfolgung spielt aber der Prozess der Auslese eine bedeutende Rolle. Bekanntlich verfügen die Bäume eines Bestandes über sehr unterschiedliche Wachstumspotentiale. Dank dieser natürlichen Vielfalt ist es möglich, diejenigen Individuen zu fördern, welche die besten Anlagen

und das beste Wachstum aufweisen. Biolley (1901) bezeichnete diese Zusammenhänge, auf denen ein grosser Teil des Erfolgs der praktischen Anwendung der Plenterung beruht, als "nutzbare Wirkungen" (frz.: effet utile). Diese Aussagen machen deutlich, dass es keinen Sinn macht, den Plenterwald allein mit mathematischen Formeln zu beschreiben oder sich von ihnen das waldbauliche Handeln vorschreiben zu lassen. Gleichwohl ist es für die praktische Umsetzung hilfreich und auch notwendig, ein auf messbaren Grössen basierendes Kontrollsystem mit Grenz- und Richtwerten aufzustellen.

3.4.2 Strukturanalyse

Der Vergleich zwischen dem tatsächlichen und dem für das Plentergleichgewicht benötigten Nachwuchs führt zur Entscheidung über die künftige Vorratshaltung. Ist der Nachwuchs ungenügend, ist eine entsprechende Absenkung des Vorrates notwendig. Sie aktiviert den Verjüngungsprozess und fördert den Nachwuchs. Der Vergleich erlaubt somit, die bei Plentereingriffen einzuschlagende Linie festzulegen. Beim entgegengesetzten Fall, bei einem deutlichen Überschuss in den niedrigen Durchmesserstufen, ist es jederzeit möglich, die Stammzahl durch eine starke Auslese abzusenken. Ein solche Situation sollte aber nicht angestrebt werden: Sind die untersten Durchmesserstufen zu stark vertreten, erwächst eine unnötig hohe seitliche Konkurrenz, die nach Mitscherlich (1952) zu einem Rückgang des Zuwachses führt.

Es versteht sich von selbst, dass eine ungünstige Entwicklung nicht zu schnell oder gar durch einen einzigen starken Eingriff korrigiert werden darf. Geduld, eine im Waldbau wichtige Tugend, hilft auch hier, dem trägen System Plenterwald die erforderliche Zeit zu geben, damit es auf korrigierende und steuernde Eingriffe reagieren kann.

Rückläufige bzw. zu geringe Stammzahlen in den unteren Durchmesserstufen, die meist einen Mangel an Nachwuchs bedeuten, müssen möglichst früh erkannt werden. Die Inventurschwelle hat dabei eine hohe Bedeutung: Je höher sie angesetzt ist, desto später werden die ersten zahlenmässigen Hinweise auf einen Mangel sichtbar. Eine Schwelle von z.B. 16 cm bedeutet, dass Bäume bis 13 oder 14 m Höhe, d.h. die gesamte Unterschicht, bei der Inventur nicht erfasst werden. Dies zeigt deutlich die Notwendigkeit einer okularen Einschätzung der räumlichen Verteilung und vor allem der Qualität der Verjüngung, wobei letztere weniger durch Fegen als durch Verbiss beeinträchtigt wird. Die Beobachtungen von Duc (1991) zeigen, dass in Emmentaler Plenterwäldern nicht alle Nachwuchsbäume (Bäume bis 1,3 m Höhe) qualitativ befriedigen: 25 % der Fichten, 43 % der Buchen und 60 % der Tannen erwiesen sich als nicht brauchbar. In vorratsreichen Flächen mit verzögerter Verjüngung sowie in Regionen mit einer ausgesprochen hohen Wilddichte sind die Anteile unbrauchbarer Nachwuchsbäume sogar noch deutlich höher. Für die Wälder von Couvet kommt Duc (2000) zu folgender Brauchbarkeit der Auslese-Nachwuchsbäume

	gut geeignet	mässig geeignet	schlecht geeignet
	%	%	%
Fichte	66,4	22,1	11,5
Tanne	45,0	53,5	1,5
Buche	21	67	12
Bergahorn	14	54	32

Ausgehend von diesen Daten ist es möglich, die für die dauerhafte Erhaltung des Nachwuchses erforderlichen Stammzahlen in den frühen Entwicklungsstufen Jungwuchs und Dichtung anzugeben (Tab. 3.14). Duc (1991) schlägt zur Erfassung des Nachwuchses ein Stichprobeverfahren vor, welches die grosse Streuung der Einzelwerte berücksichtigt.

Tabelle 3.14: Stammzahlen in den Entwicklungsstufen Jungwuchs und Dichtung zur Sicherung des Nachwuchses im Plenterwald

Entwicklungsstufe	notwendige Stammzahl (N ha ⁻¹)
Jungwuchs 50 - 90 cm Höhe	50 – 460
90 -130 cm Höhe	40 – 280
Dichtung 0 - 4 cm Durchmesser	110 – 930
4 - 8 cm Durchmesser	100 – 530

[Nach Duc (1991)]

Datengrundlage: 8 Versuchsflächen der Eidg. Forschungsanstalt WSL im Emmental. Die Werte stehen für durchschnittliche Wachstumsbedingungen und mittlere natürliche Abgänge und geben Auskunft über die Bandbreite auf den Versuchsflächen.

Bewertung der Plenterstruktur aufgrund der Stärkeklassenverteilung

Bei der praktischen Anwendung der Kontrollmethode wird die Plenterstruktur meist durch die Verteilung des Vorrats auf drei bis vier Stärkeklassen charakterisiert. Gegenüber Verfahren, die mit Durchmesserstufen arbeiten, erlaubt diese Analyse zwar nur eine relativ grobe, summarische Darstellung, sie ist aber so gebräuchlich, dass sie an dieser Stelle vorgestellt werden soll.

Das Plentergleichgewicht und somit auch die dazugehörigen Vorratsanteile je Stärkeklasse können je nach Ertragsfähigkeit des Standortes sehr unterschiedlich ausfallen. In der Literatur finden sich zahlreiche Vorschläge für Vorratsverteilungen im Gleichgewicht. Bei der Auswahl in Tabelle 3.15 handelt es sich um Verteilungen, welche die Stärkeklassen nach der klassischen Kontrollmethode, die auf Durchmesserstufen von 5 cm basieren. Diese Methode wird z.B. im Kanton Neuenburg oder in Frankreich angewendet.

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass die vorgeschlagenen Verteilungen teilweise stark vom in der Literatur oft zitierten Wunschverhältnis 20/30/50 abweichen. Dies zeugt von einem starken Einfluss des Standortes auf die Vorratsverteilung. Die Verteilung 20/30/50 wurde übrigens von Gurnaund vorgeschlagen. Es handelte sich, darüber besteht heute Einigkeit, nur um eine erste grobe Schätzung. Borel (1933) ist sogar der Meinung, dass Gurnaund seinen Vorschlag einfach und unkritisch aus dem Verfahren der Hiebssatzberechnung ableitete, welches die französische Verwaltung im Jahre 1883, d.h. zum Zeitpunkt seines Vorschlags, vorschrieb. Dies galt also (ironischerweise) primär für den Altersklassenwald.

Tabelle 3.15: Verteilung des Gleichgewichtsvorrates nach den Stärkeklassen der klassischen Kontrollmethode (Durchmesserstufen von 5 cm)

Stärkeklasse → Durchmesserstufen →	Schwachholz 20-30 cm	Mittelholz 35-50 cm	Starkholz ≥ 55 cm	Quelle
Standort ↓	(%)	(%)	(%)	
Typ. Buchen-Tannenwald (Couvet)	18	37	45	1
Jura-Fichtenwald (Les Joux)	21	22	57	2
Gute Standorte im französischen Jura	21	37	42	3
Waadtländer Alpen	26	39	35	1
Heidelbeer-Fichtenwald	34	42	24	1
Jura-Buchenwald auf Südhang	15	34	51	4

Quellen: 1: Schütz (1975); 2: de Coulon (1962); 3: Schaeffer et al. (1930); 4: Borel (1929)

Tabelle 3.16 enthält die entsprechende Stärkeklassenverteilung nach der deutschschweizer Version der Kontrollmethode mit Durchmesserstufen von 4 cm. Bei den Angaben handelt es sich um Idealverteilungen einer Reihe von Versuchsflächen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL, die dem Plentergleichgewicht auf dem jeweiligen Standort entsprechen. Sie wurden anhand des dynamischen Plentermodells (gemäss Absch. 2.2.3) berechnet.

Tabelle 3.16: Verteilung des Gleichgewichtsvorrates in Plenterwald-Versuchsflächen nach deutschschweizer Stärkeklassen (Durchmesserstufen von 4 cm)

Stärkeklasse → Durchmesserstufe →	Schwach- holz 16-24 cm	Mittel- holz 26-38 cm	Stark- holz 40-50 cm	sehr starkes Holz ≥ 52 cm
Versuchsfläche ↓	(%)	(%)	(%)	(%)
Hasliwald (Tieflagen-Ta-Wald)	6	8	14	72
Toppwald (Peitschenmoos-Ta-Wald)	6	13	25	56
Unterlangenegg (Peitschenmoos-Ta-Wald)	5	13	27	55
Schallenberg/Rauchgrat (Bu-Ta-Wald)	4	11	25	60
Guffre/Rougemont (Fi-Ta-Wald)	5	14	31	50
Sigriswil (subalpiner Torfmoos-Fi-Wald)	11	23	35	31
La Rolaz (trockener Jura-Fi-Wald)	15	31	39	15

Zu beachten ist, dass alle Verteilungen jeweils nur für die Ertragsfähigkeit des betreffenden Standortes und nur für die regional übliche Art der Plenterung gültig sind, d.h. nur für eine Bewirtschaftung, welche die Produktion von Starkholz zum Ziel hat. Davon abweichende

Bewirtschaftungsziele sind möglich, sie bedingen aber andere Plentergleichgewichte und andere Stärkeklassenverteilungen.

3.4.3 Starkholzanteil und Zieldurchmesser

Ein Plentergleichgewicht, wie es in Abschnitt 2.2.3 definiert wurde, lässt sich anhand der Eingriffsstärke berechnen. Letztere stammt aus der betrieblichen Statistik und steht für die lokalen Erfahrungen und Gewohnheiten. Die Angaben spiegeln somit auch bestimmte Betriebsziele wider, die im Fall des Neuenburger Juras oder des Emmentals die Produktion eines bestimmten Anteils starken bzw. sehr starken Holzes vorsehen.

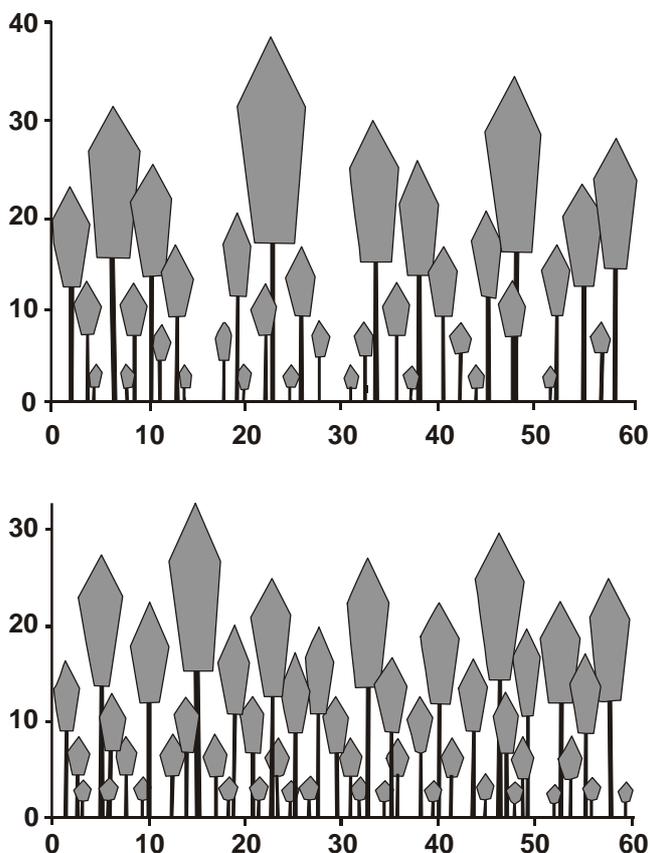


Abb. 3.17: Schematische Darstellung der Auswirkungen verschiedener Plenterarten auf die Struktur eines Plenterwaldes im Gleichgewicht am Beispiel der standörtlichen Bedingungen von Couvet (Nordhang).

Im oberen Teil ist die klassische Plenterung im Neuenburger Jura dargestellt, die einen bestimmten Anteil an starkem bis sehr starkem Holz anstrebt (Zieldurchmesser 120 cm), unten ein Beispiel für eine aktivere Plenterung, die den maximalen Brusthöhendurchmesser auf 60 cm beschränkt. Die Berechnung der Werte erfolgte mit Hilfe des Modells aus Abschnitt 2.2.3.

Auf einem gegebenen Standort sind je nach Produktionsziel und Zieldurchmesser verschiedene Arten der Plenterung möglich (Schütz 1975). Da jedem Betriebsziel ein eigenes Plentergleichgewicht entspricht, sind auf einem Standort mehrere Plentergleichgewichte vorstellbar. In allen Fällen ist zu beachten, dass der Zieldurchmesser nie eine absolute Grenze darstellt, deren Überschreitung die Ernte eines Baumes rechtfertigt. Es wurde bereits betont, dass die individuelle Wuchskraft, die Vitalität und oft auch die Qualität eines Baumes entscheidende Eingriffskriterien darstellen. Dennoch ist es wichtig, den Zieldurchmesser im Sinne einer allgemeinen Richtgrösse festzulegen. Die Produktion von Bäumen mittlerer Stärke, d.h. mit Brusthöhendurchmessern von z.B. 55 bis 60 cm, hat andere Auswirkungen auf den Nachwuchs und somit auch auf die Plenterstruktur als ein Vorgehen, welches die besten Bäume über 100 cm stark werden lässt. Ursache ist der unterschiedlich lange Produktionszeitraum, der die notwendige Menge an Nachwuchs in einem nicht unerheblichen Masse beeinflusst, sowie die unterschiedliche Standraumausnutzung. Bei einem kürzeren Produktionszeitraum ist anteilmässig mehr Nachwuchs und Verjüngung erforderlich (Abb. 3.17). In diesem Fall liegt ein

aktiveres Produktionssystem vor, welches auf einen niedrigeren Gleichgewichtsvorrat angewiesen ist, um die notwendige Verjüngung und damit den Nachwuchs sicherzustellen.

Für den Bereich der zuwachsstarken Buchen-Tannenwälder vom Typ Couvet-Nordhang lassen sich mit Hilfe des in Abschnitt 2.2.3 vorgestellten Modells je nach Produktionsziel bzw. Zieldurchmesser unterschiedliche Gleichgewichte berechnen (Schütz 1975). Mit dem genannten Modell kann für jede einzelne Durchmesserstufe die Beziehung zwischen der Bestandesdichte und den sich daraus ergebenden Wachstumsbedingungen geschätzt werden.

Da es die Gleichgewichtsbedingungen berücksichtigt, dürfte es ein für die Simulation unterschiedlicher Plentergleichgewichte geeignetes und hinreichend zuverlässiges Mittel sein. Die Ergebnisse (Tab. 3.18) zeigen gut, dass eine aktive Plenterung mit dem Ziel mittlerer Stammdimensionen einen um rund 100 m³ geringeren Vorrat voraussetzt als die klassische Starkholzplenterung. Zusätzlich zeigt die Tabelle, dass sich die dazugehörigen Stärkeklassenverteilungen beträchtlich unterscheiden.

Tabelle 3.18: Simulation unterschiedlicher Plentergleichgewichte in Abhängigkeit vom Produktionsziel (Zieldurchmesser)

Produktionsziel = Zieldurchmesser (BHD in cm)	Gleichgewichts- vorrat (sv ha ⁻¹)	Zuwachs (sv ha ⁻¹ Jahr ⁻¹)	Stärkeklassenverteilung (Durchmesserstufen von 5 cm)		
			Schwachholz Starkholz (%)	Mittelholz (%)	(%)
60	261	7,86	30,7	57,0	12,3
70	287	7,82	25,3	49,5	25,2
80	305	7,74	21,8	43,5	34,7
90	325	7,60	19,9	40,0	40,1
100	338	7,49	18,4	37,1	44,5
110	349	7,35	17,1	34,9	48,0
120	359	7,27	16,3	33,2	50,4

Geltungsbereich: montaner Waldschwingel-Tannen-Buchenwald (*Abieti-Fagetum festucetosum*), Typ: Couvet Nordhang.

Das bei der Kontrollmethode verwendete Volumenmass "Silve" (sv) wird am stehenden Baum ermittelt (Stehendmass), die verwendete Einheit ist m³. Der Silve liegt ein Einheitstarif zugrunde, der das Volumen in Abhängigkeit vom Brusthöhendurchmesser angibt; der Tarif gilt einheitlich für alle Baumarten und alle Standorte.

[Nach Schütz (1975)]

In den vorangehenden Kapiteln wurde bereits dargelegt, dass der Starkholzproduktion im Plenterwald infolge des konstant hohen Durchmesserzuwachses offensichtlich keine biologische Grenze gesetzt ist. Die ersten Arbeiten von Mitscherlich (1952) kamen zum Schluss, dass der Vorrat innerhalb einer weiten Bandbreite zwischen 200 und 500 m³/ha keinen

wesentlichen Einfluss auf die Volumenproduktion habe. Der Autor fügte aber hinzu, dass ein höherer Vorrat eine höhere Wertleistung ermögliche.

Der Zusammenhang zwischen der Volumenzuwachsleistung eines Plenterwaldbaumes und seinem Kronenvolumen wurde schon in Abschnitt 2.3.3 und in Abbildung 2.18 anhand der Untersuchung von Badoux (1949) beschrieben. Die Untersuchung, die auf Daten aus Plenterwald-Versuchsflächen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL basiert, kommt zum Ergebnis, dass die sehr starken Bäume im Verhältnis zu ihrem Kronenvolumen nur einen mässigen Zuwachs leisten. Im Gegensatz dazu können die mittelstarken Bäume mit Brusthöhendurchmessern zwischen 30 und 50 cm den zur Verfügung stehenden Kronenraum am besten nutzen, d.h. sie haben das beste Verhältnis zwischen Kronenvolumen und Zuwachs.

Die obenstehenden Ausführungen, welche für die Volumenzuwachsleistung gelten, legen den Schluss nahe, dass die sehr starken Bäume, die überproportional viel Kronenraum beanspruchen, nicht übermässig gefördert werden sollten. Was aber letztendlich interessiert, ist die Wertleistung. Und bei diesem Thema sind sich alle Autoren, die eine Schätzung gewagt haben, einig (Borel 1929, 1933; Schaeffer et al. 1930; Mitscherlich 1952), dass Bäume guter Qualität die Wertleistung merklich anheben. Diese Aussage gilt auch für Bäume, die verhältnismässig viel Raum einnehmen und die unteren Schichten stark beschatten, wodurch letztere einen entsprechend geringeren Zuwachs leisten. Der Einbezug der Qualität führt dazu, dass die optimale Wertleistung im Verhältnis zum Durchmesser in Richtung der stärkeren Dimensionen verschoben wird.

Holzerntetechnische Überlegungen liefern zusätzliche Argumente. Sehr starke Stämme erschweren die Holzernte und verursachen beim Fällen und Rücken bedeutende Schäden am verbleibenden Bestand. Die Frage nach dem optimalen Zieldurchmesser kann also nicht allein aufgrund von Leistungsmerkmalen entschieden werden. Zusätzliche Kriterien sind die Erschliessung, der Zustand und die gewünschte Entwicklung des Nachwuchses sowie wahrscheinliche Schäden am Bestand. Aus diesen Gründen können einige starke, ja sogar sehr starke Bäume toleriert werden, falls ihre Qualität und Vitalität gut und ihre Ernte ohne grössere Probleme zu bewerkstelligen ist. In schlecht erschlossenen Gebieten und in Steillagen dagegen sollte der Zieldurchmesser tiefer angesetzt werden.

3.4.4 Gleichgewichtsvorrat

Da der stehende Holzvorrat die Lichtverhältnisse im Bestand reguliert, kommt dem **optimalen Vorrat** oder **Gleichgewichtsvorrat** im Sinne von Biolley (1901) eine besondere Bedeutung zu.

Die Quantität und die Qualität der Verjüngung hängen direkt vom Vorrat ab. Die Verjüngung sollte in ausreichendem Masse vorhanden sein, um eine Auslese treffen zu können. Auch die Wachstumsgeschwindigkeit der jungen Bäume hängt direkt vom Vorrat ab. Schliesslich besteht auch zwischen der Bestandesdichte und der Kronenlänge eine enge Beziehung. Und von der Kronenlänge, so unterstreicht Spiecker (1986), hängt vor allem die Vitalität ab.

So dürfte es vorteilhaft sein, eher einen mittleren oder sogar tiefen Gleichgewichtsvorrat als einen sehr hohen anzustreben, auch wenn die "Sparkassenfunktion" bei den Überlegungen eine gewisse Rolle spielt. Tabelle 3.19 gibt auf der Grundlage von Erfahrungen und Gleichgewichtsberechnungen anhand von Daten verschiedener Versuchsflächen Rahmenwerte für den Gleichgewichtsvorrat an.

Tabelle 3.19: Rahmenwerte für den Gleichgewichtsvorrat in verschiedenen Waldgesellschaften

Standortstyp/Waldgesellschaft	Gleichgewichtsvorrat (Rahmenwerte)		
	minimal (m ³ ha ⁻¹)	optimal (m ³ ha ⁻¹)	maximal (m ³ ha ⁻¹)
Waldschwingel-Bu-Ta-Wald (Couvét, Nordhang)	300	350	400
Wuchskräftiger Bu-Ta-Wald im Emmental	350	450	500
Fichten-Tannenwald tiefer Lagen	330	380	430
Hochlagen-Fichtenwald (hochmontane Stufe)	220	250	300
Trockener Fichtenwald (Jura)	190	220	250
Lärchen-Arvenwald (subalpine Stufe)	250	300	350

Erläuterungen im Text

Baumdimensionen und Vitalitätsverluste

Der mit dem Alter zunehmende Vitalitätsverlust, dessen Symptome in den 1980er und Anfang der 1990er Jahre unter dem Begriff „Waldsterben“ beobachtet werden konnten, hat die Frage nach der Starkholzproduktion erneut aufgeworfen. Damals konnte für die standörtlichen Verhältnisse des Schwarzwaldes, einer von den neuartigen Waldschäden besonders stark betroffenen Region, Spiecker (1986) zeigen, dass Tannen mit einer gut entwickelten Krone vitaler waren, weniger Nadelverluste aufwiesen und auch Trockenperioden besser überstanden.

Keller und Imhof (1987) beobachteten auf Versuchsflächen der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL (Schweiz), dass die untersuchten Plenterwälder geringere Nadelverluste als die gleichförmigen Hochwälder aufwiesen. Im Plenterwald führten selbst starke Nadelverluste aufgrund des Kompensationseffektes zu keinem Zuwachsverlust auf Bestandesebene. Die Ausführungen liessen erkennen, dass in Regionen, die von den neuartigen Waldschäden besonders stark betroffen waren, der Gesundheitszustand des Starkholzes genauer als bisher und vor allem nach Standortsgüte differenziert begutachtet werden sollte.

Mittlerweile hat sich der Vitalitätsschwund der Wälder, insbesondere bei der Weisstanne (so genanntes Tannensterben) ab 1985 erheblich verringert. Im Gegenteil lässt sich grossräumig ein klarer Trend zur Zunahme des Zuwaches feststellen, wahrscheinlich infolge veränderter Umwelteinflüsse (Klima, Eutrophierung durch Lufteinträge). Für die Plenterwaldungen von Couvet weisen die neueren Inventurergebnisse (Periode 1992-2000) eine erhebliche Zunahme des Zuwaches, und zwar in allen Durchmesserstufen (Favre und Oberson, 2002; Favre, 2001), aus.

An Orten, an denen sich erweist, dass die Starkholzproduktion in ihren Möglichkeiten deutlich eingeschränkt ist, müssen Konsequenzen hinsichtlich des Produktionsziels gezogen werden. Als Alternative bietet sich eine lichtere Plenterung an, was sich natürlich auch auf die Verjüngung und den Nachwuchs auswirkt. Die Auswirkungen veränderter Zielvorstellungen sind in jedem Fall vorgängig abzuschätzen. Ganz besonders gilt dies für den Wilddruck, der in vielen

Gebieten den waldbaulichen Spielraum einschränkt und das eigentliche waldbauliche Problem darstellt.

3.5 DIE PLENTERUNG ALS WALDBAULICHER EINGRIFF

3.5.1 Definition und Beschreibung der Eingriffe bei der Plenterung

Der **Plenterhieb**, auch als Plenterung bezeichnet, fasst **in einem Eingriff** nahezu **alle Massnahmen** zusammen, die im schlagweisen Hochwald zeitlich getrennt ausgeführt werden. Davon ausgenommen sind Eingriffe im Jungwald, die auch im Plenterwald aus praktischen Gründen getrennt vom Haupteingriff vorgenommen werden. Die Jungwaldpflege, im Plenterwald als **Nachwuchspflege** bezeichnet (frz.: petit jardinage), erfolgt nach dem Plenterhieb, meist im darauffolgenden Sommer.

Plenterung und **Plenterdurchforstung** müssen begrifflich klar unterschieden werden. Unter Plenterung verstehen wir den Eingriff in stufige Bestände, die nahe beim Strukturgleichgewicht stehen oder dieses bereits erreicht haben. Plenterdurchforstung oder Strukturdurchforstung dagegen ist eine Massnahme zur Überführung von Beständen, die noch weit vom Idealzustand entfernt sind. Je nach Entfernung der angestrebten Idealstruktur sind auch z.T. andere Schwerpunkte bei der Überführung zu setzen bzw. andere strategische Entscheidungen zu fassen (siehe Abschnitt 5.4.2), sodass der Begriff Plenterdurchforstung nicht mit einer einheitlichen Vorgehensweise subsummiert werden kann.

Darüber hinaus wurde im deutschsprachigen Raum der Begriff Plenterdurchforstung auch für eine völlig andere Art der Durchforstung belegt, nämlich nach dem Vorschlag von Borggreve (1885) für eine Form der Bestandeserziehung in gleichförmiger Bestockung, welche systematisch in sozial herrschende Kollektive einzugreifenden strebte, angeblich damit die Mitherrschenden und sozial niedrigeren Baumklassen profitieren können. Es bleibt aber klar, dass diese Eingriffsform der sog. Borggreve-Plenterdurchforstung waldbaulich gesehen überhaupt nicht zum Plenterbetrieb bzw. zum Überführungsbetrieb zur Plenterverfassung einzuordnen ist, sondern eindeutig zum pflegerisch erziehenden Betrieb des Alterklassenwaldes gehört, was begrifflich Verwirrung stiftet. Im übrigen haben mittlerweile Schober (1980), Spellmann (1997) und Knoke (1998b) gezeigt, dass solche Eingriffe in sozial herrschenden Baumklassen zu Produktivitäts- und Stabilitätsverlusten führen (Abetz und Feinauer, 1987). Aus diesen Gründen sollte der Begriff Plenterdurchforstung mit Rücksicht auf diese Verwirrung angewendet werden, allenfalls durch den Begriff **Differenzierungsdurchforstung** ersetzt werden.

Ein Plenterhieb berücksichtigt gleichzeitig sehr unterschiedliche Entnahmekriterien. Sie sind nachfolgend in absteigender Bedeutung aufgelistet:

1. Verjüngung
2. Auslese und Erziehung
3. Strukturverbesserung
4. Ernte
5. Zwangsnutzung, sanitäre Gründe

Abbildung 3.20 zeigt, dass ein Plenterhieb in der Regel einen überdurchschnittlich hohen Anteil an starken Bäumen entnimmt. Die schwächeren Bäume zwischen 25 und 45 cm BHD dagegen leisten den grössten Teil des Zuwachses. Dieses Vorgehen ist durchaus logisch, da die entnommenen Bäume nur noch einen verhältnismässig geringen Zuwachs haben bzw. mehr behindern als leisten. Ein weiterer Grund ist, dass das System Plenterwald über die Lichtdosierung und den Lichteinfall in die unteren Bestandesschichten gesteuert wird und die Entnahme von starken, erntereifen Bäume der Oberschicht die grösste Wirkung auf die Lichtverhältnisse im Bestand und damit auf die Verjüngung hat.

Bei jedem Plenterhieb steht vor der Entscheidung eine Analyse der allgemeinen Situation im betreffenden Bestand. Sie gibt die Linie vor, nach der sich der Eingriff richtet. Die Analyse stützt sich auf Inventurdaten, insbesondere auf die Stammzahlabnahmekurve, den Vorrat und den Zuwachs. Sie wird durch eine okulare Beurteilung des Bestandes ergänzt. Im Normalfall wird bei einem Eingriff der gesamte Zuwachs seit dem letzten Eingriff entnommen. Je nach Situation kann aber auch ein Vorratsaufbau oder -abbau angestrebt werden. Ob der Vorrat vermindert, erhöht oder auf dem aktuellen Niveau gehalten werden soll, hängt in erster Linie von der Beurteilung ab, ob genügend Nachwuchs nachhaltig zur Verfügung steht.

Je nach Bedarf können bei dieser Gelegenheit noch andere, taktische Entscheidungen wie z.B. die Festlegung des maximalen Erntedurchmessers (Zieldurchmesser) getroffen werden. Die Kontrolle, ob der folgende Eingriff den festgelegten waldbaulichen Zielen entsprochen hat, ist bei bekanntem Zuwachs sehr einfach zu bewerkstelligen.

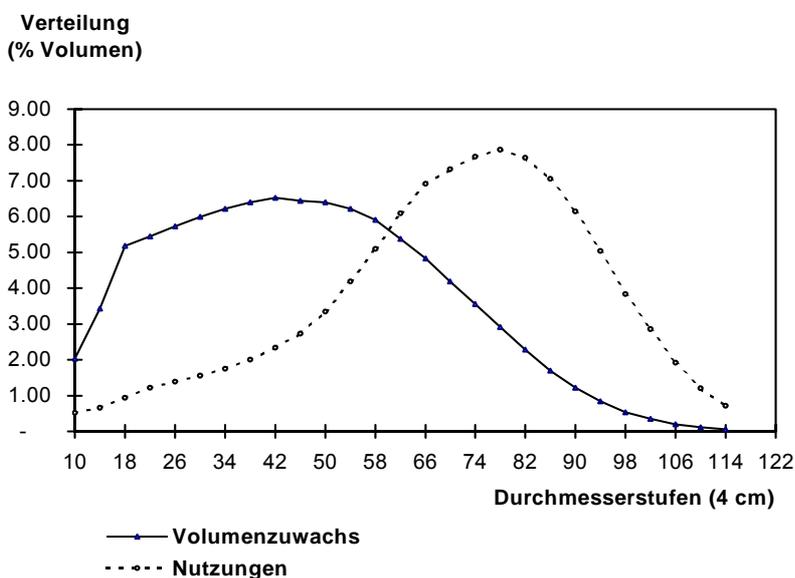


Abb. 3.20: Volumenzuwachs und Volumenentnahme durch Plenterhiebe in Abhängigkeit vom Zieldurchmesser.

sv = Silve; konventionelles Mass für den stehenden Vorrat bei der Kontrollmethode
[nach Schütz (1975)]

3.5.2 Das Anzeichnen der Bäume

Das Anzeichnen beim Plenterhieb unterscheidet sich klar vom Vorgehen z.B. bei der Auslesedurchforstung. Während bei der Durchforstung zellenweise vorgegangen wird, muss im Plenterwald, in dem die Bäume der Oberschicht viel weiter auseinanderstehen, ein grösseres Arbeitsfeld beurteilt werden. Das Auge des Bewirtschafters erfasst somit zunächst die Situation im allgemeinen und anschliessend die Besonderheiten der nächsten Umgebung. Dieses

Vorgehen ermöglicht ihm, sich ein Urteil zu bilden, ob und wodurch der betreffende Bestandesteil von den Idealvorstellungen (Plenterwald im Gleichgewicht) abweicht. Danach werden die einzelnen Bestandesglieder nach ihrem Wachstum sowie nach ihrem Entwicklungspotential hinsichtlich Vitalität und Qualität beurteilt.

Die Plenterung beschränkt sich nicht auf das "Abrahmen" der besten oder stärksten Stämme. Die Entscheidung über die Entnahme eines Stammes wird nicht allein aufgrund des erreichten Durchmessers getroffen, sondern sie hängt auch von der Wirkung der Entnahme auf die Struktur und den Nachwuchs ab. Jeder Anzeichnung geht ein Abwägungsprozess zwischen dem Leistungsvermögen eines Baumes und dem Nutzen seiner Entnahme voraus. Von den Bäumen der Oberschicht ist also nicht grundsätzlich nach Stärkeordnung zu entscheiden. Darüber hinaus ist es nach Gurnaud (1884) oftmals **nicht der stärkste Baum**, der entfernt werden muss, sondern der **zwischenständige Baum** oder **Intermediärbaum** (Abb. 3.21). Dies gilt insbesondere in der Phase der Überführung, bei welcher der Intermediärbaum eine Schlüsselstellung bekommt. Dabei handelt es sich um einen stadial alten Baum, der sowohl sozial höhere als auch sozial tiefere Bäume stark konkurrenziert, sie in ihrer Entwicklung hemmt und zugleich kein ausreichendes eigenes Entwicklungspotential besitzt (Biolley 1897). Der Intermediärbaum ist bezüglich Qualität, Wachstum und Stabilität nur Mittelmass.

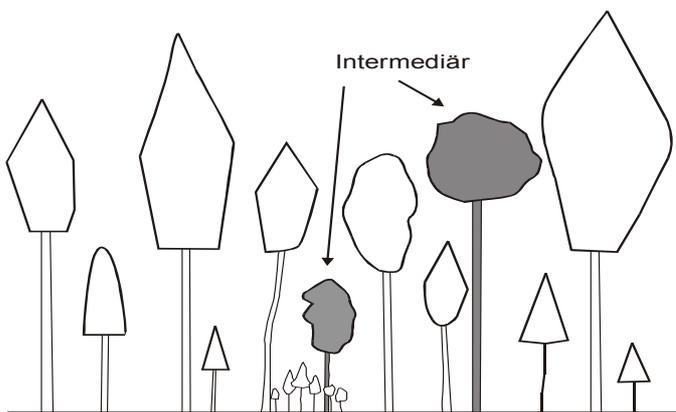
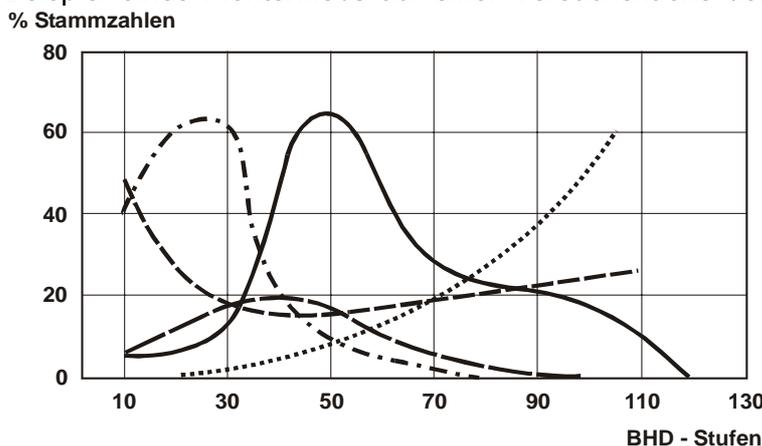


Abb. 3.21: Der Intermediärbaum bei der Plenterung

[Nach Gurnaud (1884)]

Die Steuerung des Systems Plenterwald erfolgt über die Dosierung des Lichts. Sie sorgt für die Erhaltung der Struktur und für eine nachhaltige Produktion. Aus diesem Grund muss ein hoher Anteil der zu entnehmenden Bäume aus der Oberschicht stammen. Je stärker ein Baum ist, desto mehr beeinflusst seine Entnahme die Belichtungsverhältnisse und folglich das Wachstum sowohl der Verjüngung als auch des Nachwuchses. Eine Hiebsentscheidung basiert daher meist auf mehr als nur einem der oben genannten fünf Hiebskriterien. Abbildung 3.22 zeigt am Beispiel eines Plenterhiebs auf einer Versuchsfläche der Eidgenössischen Forschungsanstalt



Nutzungskriterien:
 - - - - - Verjüngung
 Ernte
 ——— Strukturausformung
 ——— Auslese und Erziehung
 - . - . - Zwangsnutzungen

WSL, dass für eine Hiebsentscheidung je nach Durchmesserstufe ganz unterschiedliche Kriterien ausschlaggebend sein können.

Abb. 3.22: Bedeutung der fünf Hiebskriterien bei einem Plenterhieb auf der Versuchsfläche Schallenberg

Die **Zwangsnutzungen** im Plenterwald beschränken sich normalerweise auf Baumdimensionen, die als Stangen bezeichnet werden. In diesem Durchmesserbereich treten die meisten Stabilitätsprobleme auf, insbesondere im Zusammenhang mit Schneebruch. Dies gilt insbesondere, wie Duc (2000) gezeigt hat, wenn die Stangen in seitlicher Konkurrenz stehen. Auf den luftfeuchten Standorten, die für die Tanne eigentlich gut geeignet sind, müssen in diesem Stadium die am stärksten vom Tannenkrebs befallenen bzw. einen sogenannten Hexenbesen tragenden Exemplare vorsorglich entfernt werden (bei dieser Krankheit einziges Stadium mit Infektionsgefahr).

Das Hiebskriterium **Verjüngung** darf nur dort ausschlaggebend sein, wo tatsächlich ein Bedarf an Nachwuchs besteht. Dies bedeutet auch, dass nicht jeder Verjüngungsansatz freigestellt werden darf. Vorhandene Verjüngung kann sehr lange unter Schirm verweilen, gewissermaßen in Warteposition. Es ist daher nicht notwendig, alle vorhandenen Verjüngungsgruppen freizustellen, sondern nur solche, die im Augenblick für einen kontinuierlichen und ausreichenden Nachschub an Stangen erforderlich sind. Für solche momentan zu fördernde Kleinkollektive verwenden wir den Ausdruck "Nachwuchs".

Natürlich gibt es für die Beschattung bzw. für die Unterdrückung der jungen Bäume eine bestimmte Grenze. Sie befindet sich aber sehr viel weiter im "dunklen Bereich" als üblicherweise vermutet wird. Cescatti (1996) schätzt, dass sie in der subalpinen Stufe für die Tanne bei 13 % relativer Belichtung und für die Fichte bei 17 % liegt. In der montanen Stufe dürften die Grenzwerte für die Schattenertragnis zweifellos wesentlich tiefer liegen.

Fabjanowski et al. (1974) verwenden für ihre Angaben zur maximal ertragbaren Beschattung den Wachstumsfaktor nach Honowski (Quotient aus Länge des Terminaltriebs und mittlerer Länge der Seitentriebe). Am Beispiel der Tannenwälder der polnischen Babia Gora-Berge schätzen die Autoren, dass die Tanne bei einem Quotienten von 0,75 an ihre Grenze stößt. Man kann davon ausgehen, dass Bäumchen der Jungwuchs- und Dickungsstufe mit Trieben von 4 bis 5 cm noch alle Möglichkeiten haben, unter Schirm weiterzuleben. Oft genügt es, einen zwischenständigen Baum zu entfernen, um den Lichtbedarf einer solchen Nachwuchsgruppe besser zu befriedigen. Der Aushieb eines Baumes stellt die darunter wachsende Verjüngung nur dann frei, wenn der zu entnehmende Baum stark und tief beastet ist. Der Entnahmeeffekt wirkt sich vor allem dort aus, wo der Baum Schatten wirft. Dabei ist zu beachten, dass insbesondere die Nachmittagssonne die Verjüngung günstig beeinflusst.

Die Überlegungen zur Freistellung von Verjüngungsansätzen werden zweifellos durch eine hohe Schalenwildichte beeinflusst. Das gilt vor allem dort, wo hoher Verbissdruck und stark

verlangsamtes Baumwachstum zusammentreffen und dadurch das Risiko von Verbisschäden beträchtlich steigt. Die derzeit übermässig hohe Schalenwildichte ist übrigens mit ein Grund, eher den unteren als den oberen Rahmenwert des Gleichgewichtsvorrates anzustreben.

Bei allen Bemühungen um einen idealen Plenterwald sollte eine der Grundregeln der Plenterung (und des Waldbaus überhaupt) niemals aus den Augen verloren werden, nämlich bestmöglich zu nutzen, was die Natur zur Verfügung stellt. Wenn nur Tannen bzw. Fichten vorhanden sind, diese aber in einer ausreichenden Anzahl, ist es nutzlos, die Verjüngung der jeweils anderen Baumart zu fördern. In Beständen mit einem ungenügendem Buchenanteil sollte einigen Exemplaren dieser Baumart ermöglicht werden, als Samenbäume in die Oberschicht einzuwachsen. Im Fall von zu vielen Buchen ist eher ihre Reduktion angebracht: Gaspersic (1974) hat gezeigt, dass sich Nadelhölzer, insbesondere die Fichte, selten zusammen mit der Buche verjüngen.

Die **Auslese** erfolgt im wesentlichen in den Stangengruppen. Sie muss genügend früh einsetzen, damit durch die Kronenbildung eine hohe Stabilität erreicht werden kann. Die Auslese kann je nach Bedarf eine positive oder eine negative sein. Die positive Auslese hat aber Vorrang, da Kriterien wie Schaffform, Vitalität und Entwicklungsfähigkeit im Vordergrund stehen. Durch die Baumartenmischung sollte keine Baumart übermässig bevorzugt werden.

Beim Hiebskriterium **Strukturverbesserung** ist zu beachten, dass in der Mittelschicht das Wachstum sehr rasch verläuft. Die Bäume verweilen dort weniger lang, sodass ein Plenterwald im Gleichgewicht, der als Modell dient, in der Mittelschicht anteilmässig weniger Bäume enthält als in den beiden anderen Schichten. Tabelle 3.16 zeigt eine schematische Darstellung dieser idealen Struktur.

Das Hiebskriterium **Ernte** ist in der Regel mit anderen, in der waldbaulichen Bedeutung höherstehenden Kriterien verbunden. Bei der Entscheidung spielt die Beurteilung der zukünftigen Entwicklungsmöglichkeit und der Wuchskraft der Bäume der Oberschicht die wichtigste Rolle. Die Beurteilung erfolgt anhand von verschiedenen Anzeichen. Bei Tannen kann die Form des Wipfels herangezogen werden: Eine Abflachung ist Ausdruck eines verlangsamten Höhenwachstums und ein Vorzeichen für Überalterung. Im Extremfall, wenn die Bäume am Lebensende angelangt sind, zeigen sie eine völlig abgeflachte Krone, die unter dem Namen "Storchennest" bekannt ist. Auch die Benadelungsdichte oder die Länge der Seitentriebe können in die Überlegungen einbezogen werden. Eine glatte Rinde weist auf stadial eher junge Bäume mit guten Entwicklungsmöglichkeiten hin.

Fichten sollten ab einem bestimmten Durchmesser auf Stammfäulen geprüft werden. Die akustische Prüfung mit dem Hammer erkennt nur solche Bäume, die sich in einem fortgeschrittenen Fäulestadium befinden und wesentlich früher hätten entnommen werden sollen; sie ersetzt in keinem Fall eine gewissenhafte okulare Prüfung des Stammfusses und der Wurzelanläufe. Obwohl aus statistischer Sicht die äusseren Merkmale für eine Beurteilung von Stammfäulen nicht sehr zuverlässig sind (Graber 1995), geben Ausbuchtungen im unteren Stammteil und vor allem alte, auch überwachsene Rückeschäden, insbesondere an den Wurzelanläufen, gute Hinweise auf Stammfäulen.

Die Ausführungen lassen erkennen, dass Plenterhiebe nicht überall auf die gleiche Art und vor allem nicht mit der gleichen Intensität geführt werden dürfen. In diesen Punkten unterscheidet sich der Plenterhieb deutlich von der Auslesedurchforstung. In einem Plenterwald ist es möglich, dass gewisse Bestandesteile momentan keines Eingriffs bedürfen. Ein weiteres Merkmal des Plenterwaldes ist, dass die Plenterstruktur in sich relativ stabil ist. Unterlassene Eingriffe stellen ihre Stabilität, zumindest mittelfristig, nicht in Frage.

3.5.3 Der Eingriffsturnus im Plenterwald (Umlaufzeit)

Das vorangehende Kapitel zeigt, dass die optimale Umlaufzeit weniger vom drohenden Strukturverlust als von den gewünschten Wirkungen des Eingriffes und von den zu erwartenden Schäden an der Verjüngung und am Nachwuchs bestimmt ist. Da im Normalfall der periodische Zuwachs vollständig genutzt wird, erhöht eine verlängerte Umlaufzeit den Nutzungsanfall pro Flächeneinheit. In der Folge steigen die Fäll- und Rückeschäden, wobei ihr Ausmass selbstverständlich auch von der Qualität der Fäll- und insbesondere der Rückearbeiten abhängt.

Im Emmental wurde die vollständige Stehendentastung ("Stumpen") der zur Nutzung kommenden Bäume früher systematisch betrieben. Die Massnahme bietet aber neben höheren Holzerntekosten weitere Nachteile: Die entfernten Äste häufen sich am Stammfuss, wo sich oft der Nachwuchs befindet, der befreit werden sollte. Völlig entasteten Stämmen fehlt das federnde Astwerk; sie fallen ungebremst zu Boden, wodurch sich im kuppigten Gelände das Risiko von Stammbrüchen erhöht. Das vollständige Entasten stellt heute einen Ausnahmefall dar. Bei qualifiziertem Personal bieten sich in der Regel andere Möglichkeiten, die gleichen bestandesschonenden Resultate zu erzielen. Zu erwähnen ist die Wahl einer günstigen Fällrichtung, notfalls unterstützt durch den Einsatz eines Seilzugs.

Das Rücken des Holzes erhält im Plenterwald eine ganz besondere Bedeutung. In Gebieten, in denen die Plenterung systematisch betrieben wird, sollten daher besondere Massnahmen ergriffen werden, um den verbleibenden Bestand vor Schäden zu schützen. Dazu gehören z.B. das Rücken durch eigene Arbeitskräfte, der Schutz des Stammfusses stehender Bäume und die Aushaltung von Trämlen bzw. Blocklängen.

Die Stärke eines Eingriffes wirkt sich auf den Umfang der Schäden an der Verjüngung aus. Unter bestimmten Voraussetzungen, d.h. bei einer guten Erschliessung, bei qualifiziertem Personal und unter Verwendung geeigneter Arbeits- und Rückemittel, dürften Eingriffe in der Grössenordnung von 60 bis 80 m³/ha zu Schäden führen, die noch tragbar sind. Auf der Grundlage einer begrenzten Eingriffsmenge und bei bekanntem Zuwachses ist es möglich, die Umlaufzeit der Eingriffe zu berechnen. Bei guten Wachstumsbedingungen (Zuwachs 8 bis 10 m³ ha⁻¹ Jahr⁻¹) sollten die Plenterhiebe alle 7 bis 8 Jahre erfolgen. Wenn Verjüngung fehlt oder Nachwuchs besonders gefördert werden soll, kann die Umlaufzeit verkürzt werden. Dieser Schritt bietet sich auch für den Fall an, dass die Arbeitsqualität bei der Holzernte ungenügend ist und deshalb ein geringerer Holzanfall je Eingriff erwünscht ist. Im Gebirge oder allgemein in Regionen mit einer geringeren Zuwachsleistung ist es ohne weiteres möglich, die Umlaufzeit zu verlängern.

3.5.4 Die Nachwuchspflege im Plenterwald

Die Nachwuchspflege beschränkt sich in der Regel auf nicht inventarisierte Bäume, d.h. auf Gruppen von Bäumchen der Jungwuchs- und Dickungsstufe sowie auf Stangen. Sie wird im Sommerhalbjahr nach dem erfolgten Haupteingriff (Plenterhieb) ausgeführt.

Die Nachwuchspflege im Plenterwald ist weniger intensiv als die Jungwuchs-, Dickungs- oder Stangenholzpflege im schlagweisen Hochwald. Dieser Umstand schlägt sich in geringeren Stundenzahlen und geringeren Kosten nieder von etwa 5 bis 15 Stunden/ha. Gründe dafür sind das flächenmässig wesentlich dünnere und zerstreute Vorkommen der zu betrachtenden Nachwuchsgruppen und die relativ natürlich gute Selbstdifferenzierung dieser Kollektive. Nach Duc (2000) macht das Vorkommen der Jungwaldkollektive pro ha im Fall der Wälder von

Couvet 0 bis 20 Gruppen von im Durchschnitt weniger als 2 Aren mit zwischen 20 bis 90 Jungbäumen. Weil nicht alle Gruppen gleichzeitig und im gleichen Ausmass für das Aufkommen in der Mittelschicht gefördert werden, sind nur diejenigen zu pflegen, welche genügend Licht bekommen und sich auch durch ein Umsetzen kennzeichnen. Vom Standpunkt der Nachhaltigkeit gesehen, ist ein Nachwuchs von 3 bis 4 Stangen pro ha und Jahr angemessen.

Als Allgemeinprinzip der Nachwuchspflege im Plenterwald sind zur günstigen Steuerung der Entwicklung bzw. zur günstigen Gestaltung des Kollektives nur minimal notwendige Massnahmen vorzusehen. Detaillierte Untersuchungen von Duc (2000) in den Plenterwäldern der Region von Couvet erlauben eine optimale Ausführung der Massnahmen zu formulieren. Im wesentlichen geht es dabei am Anfang um Mischungsregulierung (insbesondere für konkurrenzschwachen Baumarten oder gegen die hegemonische Konkurrenz der Buche (auf Südhängen und Kalkgrundlage) sowie Konkurrenzregelung und Auslese. Dabei wird je nach Entwicklung der Kollektive negativ wie positiv eingegriffen. Die negative Auslese erfolgt schwerpunktmässig in Dickungshöhen, insbesondere mit der Eliminierung von Protzen und krebsübertragenden Tannen (Hexenbesen) sowie bei den Laubhölzern. Die positive Auslese dominiert bei Nadelbäumen im BHD-Bereich von 10 bis 15 cm. Tab. 3.23 zeigt die in den Untersuchungen von Duc beobachteten Eingriffsgründe. Daraus geht klar hervor, dass auslesebezogene Gründe (Entfernen von Konkurrenten und negative Entnahmen) 2/3 der Massnahmen ausmachen.

Tabelle 3.23: Aushiebsgründe bei Nachwuchspflege in Jura-Plenterwäldern im Raum von Couvet

Aushiebsgründe	(Stammzahl %)
Entfernen von Konkurrenten	23
Negative Entnahmen	45
Dichteregulierung	13
Nachwuchsförderung	12
Mischungsregulierung	6

Erhebungen in 18 Pflegeeinheiten in den Plenterwäldern des Val-de-Travers und bei 12 Pflegeausführenden (Förster und Forstwerte)
[Nach Duc, 2000]

Duc konnte eindeutig nachweisen, dass der Regelung der seitlichen Konkurrenz eine entscheidende Rolle zukommt, weil dieser Faktor im hohen Mass sowohl auf die Stabilität wie auf die Ästigkeit wirkt, zumindest bei den Nadelbäumen. Die Hauptmassnahme ist demnach die Eliminierung von Konkurrenten zur Förderung von Zielbäumen. Diese dürfen nicht allzu früh verselbständigt werden, wegen der Erhaltung der Feinstigkeit. Ab Stangendimension, (die bezüglich Stabilität kritischste Phase) dürfen die Zielbäume nicht mehr als drei direkte Konkurrenten aufweisen, damit ihr Schlankheitsgrad (h/d) die Grenze von 100 nicht überschreitet. Man beachte hier, dass die im Plenterwald auf 100 gesetzte h/d Grenze (gegenüber die von 85-90 im gleichförmigen Wald) dadurch gerechtfertigt scheint, weil im Plenterwald die Bäume der Oberschicht einen günstigeren Schutz bezüglich Schneebelastung ausüben als auf der freien Fläche.

Bezüglich Astigkeit zeigt Duc, dass die Nadelbäume (Fichte und Tanne), auch wenn sie im Schattenklima des Plenterwaldes dünne Äste bilden, sie nicht genügend frühzeitig auf natürlichem Weg verlieren. Die Massnahme der Wertästung der Zielbäume ist somit als wichtige Massnahme der Wertschöpfung angebracht. In der Tat ist die astfreie Stammhöhe der Stangen nur bei 1-2 m bei der Fichte und 2-3 m bei der Tanne, obwohl letztere im Grunde dickere Äste bilden, dafür eine bessere natürliche Astreinigung aufweisen (Dietrich, 1973). Hingegen bereinigen sich die Laubholzjungbäume (Buche, Bergahorn) genügend gut auf natürlichem Weg.

Die für eine gute Wertbildung anderen notwendigen Eigenschaften wie Schaftqualität und lotrechter Stand sind je nach Baumarten recht unterschiedlich (siehe Tab. 3.24). Diese Unterschiede bewirken, dass Fichten häufiger als Zielbäume gewählt werden wie Tanne und wesentlich häufiger als Buche (Ahorne).

Tabelle 3.24: Waldbauliche Eignung der Zielbäume in Nachwuchsgruppen in den Plenterwäldern von Couvet (Nord- und Südhang)

Baumarten ⇒ Waldbauliche Eignung ↓	Tanne	Fichte	Buche	Ahorn
	(%)	(%)	(%)	(%)
gut geeignet	45	66	21	14
mässig geeignet	53	22	67	54
nicht geeignet	2	11	12	32

Die Eingriffstärke variiert bei den Untersuchungen von Duc mit der Baumart und der Entwicklungsstufe. Der Schwerpunkt der Entnahmen liegt bei Baumdimensionen von 10 bis 15 cm BHD. Es wird viel stärker beim Laubholz eingegriffen (12 bis 22 %) als bei Fichte/Tanne (3 bis 12 %).

Tab. 3.25 gibt einen Überblick auf die von Duc empfohlene Staffelung der Pflegemassnahmen nach den Entwicklungsstufen und Baumartengruppen.

Tabelle 3.25: Massnahmen der Nachwuchspflege in Plenterwäldern nach Entwicklungsstufen und Baumartengruppen.

Entwicklungsstufen ⇒ Pfleagemassnahmen ↓	Jungwuchs	BHD 0	BHD 5	BHD 10	BHD 15
<u>Nadelhölzer</u> (Fi, Ta)					
Mischungsregelung	+	++	+	-	-
Erziehung	o	+	++	+	o
negative Auslese	-	+	+	-	-
positive Auslese	-	-	o	++	++
Nachwuchsförderung	-	-	o	o	+
Wertastung	-	-	-	+	++
<u>Laubhölzer</u> (Bu, B'Ah)					
Mischungsregelung	+	++	+	-	-
Erziehung	o	+	++	+	o
negative Auslese	-	o	+	o	-
positive Auslese	-	-	o	+	++
Nachwuchsförderung	o	o	o	+	+

Durchmesserstufen: BHD 0 von 0 bis 2,5 cm, BHD 5 von 2,5 bis 7,5 cm usw.

Bedeutung der Massnahmen: ++ sehr wichtig
 + wichtig
 o wenig wichtig
 - unbedeutend
 - unnötig

[Nach Duc, 2000]

4. ANDERE PLENTERWALDFORMEN

4.1 BUCHEN-PLENTERWÄLDER IN THÜRINGEN

4.1.1 Die besondere Bedeutung der Plenterung in Buchenwäldern

Die bisherigen Ausführungen zur Buche, insbesondere zur ungünstigen Standraumausnutzung und zu den negativen Auswirkungen des Einzelstandes auf die Stammform machen deutlich, dass die Einzelplenterung mit dieser Baumart schwierige Probleme bereitet. Dieser Meinung war auch der Verfasser, bis er nach dem Fall der Mauer zwischen Ost- und Westdeutschland im Herbst 1989 die Buchen-Plenterwälder in Thüringen entdeckte.

Die Bewirtschaftung dieser genossenschaftlichen Wälder erfolgte ab 1975 durch staatliche Stellen. Dabei wurden die Eigentumsrechte zwar missachtet, aber glücklicherweise niemals formell übertragen. Heute lässt sich feststellen, dass diese Wälder den staatlichen Dirigismus, der sich bei der Bewirtschaftung der Wälder mehr an der ökonomischen Nutzung des Rohstoffs Holz als an gesellschaftlichen Werten oder am kulturellen Erbe orientierte, überlebt haben. Und obwohl während vieler Jahre eine andere Bewirtschaftung diktiert worden ist, haben einige staatliche Förster eine plenterfreundliche Gesinnung beibehalten. Der Grund ist sicherlich die tiefe, teilweise auch familiäre Verwurzelung mit der traditionellen Nutzungsform, der Plenterung.

Die Buchen-Plenterwälder um das Thüringer Becken sind für den Waldbau von herausragender Bedeutung. Sie sind nicht nur aufgrund ihrer Entstehungsgeschichte von hohem Interesse, sondern sie sind auch, zumindest nach Wissen des Verfassers, das einzige Beispiel, wo in reinen Buchenbeständen eine echte Plenterung betrieben wird – und das auf mehreren tausend Hektaren! Da diese Wälder seit mehr als hundert Jahren geplentert werden, besteht ein enormer Schatz an waldbaulichen Erfahrungen und Aufzeichnungen.

4.1.2 Vergleich mit der natürlichen Entwicklung in zentraleuropäischen Urwäldern

Natürliche Buchenwälder auf vergleichbaren Standorten besitzen die Eigenschaft, hohe Holzvorräte und gleichförmige Strukturen mit einem dicht geschlossenen Kronendach auszubilden. Die Beobachtungen in der Slowakei, einem Land mit einer sehr langen und grossen Erfahrung in der Urwaldforschung, führten zum Ergebnis, dass die Bestände in der Optimalphase durch regelmässige Strukturen und ein vollständig geschlossenes Kronendach gekennzeichnet sind, obwohl sich die Buche in Löchern von 0,2 bis 0,5 ha natürlich verjüngt (Korpel 1982b, 1995). Der Holzvorrat in der Optimalphase ist hoch: Im Urwald von Popricny beträgt er annähernd 700 m³/ha, und in den Urwäldern der Vihorlat-Berge liegt er zwischen 400 und 600 m³/ha. Nach den Beobachtungen von Korpel (1982b) sinkt der durchschnittliche Vorrat in Buchen-Urwäldern zu keinem Zeitpunkt unter 400 m³/ha ab. Derart hohe Vorräte verhindern, dass sich eine ausreichende Verjüngung entwickeln und vor allem der Nachwuchs in höhere Bestandesschichten einwachsen kann. Urwaldexperten sind deshalb der Meinung, dass in reinen Buchen-Urwäldern praktisch nie Plenterstrukturen vorkommen (Reh 1993, Korpel 1995). In montanen Tannen-Buchenwäldern dagegen schafft die Baumartenmischung aus Tanne,

Fichte und Buche eine stärker differenzierte Struktur, sodass sich an manchen Orten ungleichförmige, plenterartige Strukturen spontan entwickeln können (Leibundgut 1978). Nach Pintaric (1978), Mayer et al. (1980) und Schrempf (1986) ist aber auch in diesen montanen Tannen-Buchenwäldern die Plenterphase eher ungewöhnlich bzw. flächenmässig von geringer Bedeutung.

4.1.3 Die Abhängigkeit des Nachwuchses vom Kronenschlussgrad als zentrales Problem der Buchen-Plenterwälder

Ausser in den Wäldern im Gebiet des Thüringer Beckens gibt es extrem wenige Beispiele für die Plenterung von reinen Buchenbeständen. In der Franche-Comté (Frankreich) wurden zwar verschiedene Bewirtschaftungsformen für ungleichförmige Wälder praktiziert, die verwendeten Baumarten aber waren Eiche und Edellaubbäume. Wie bereits erwähnt war L. Schaeffer, ein leidenschaftlicher Anhänger und ausgezeichnete Kenner des Tannen-Plenterwaldes, der Meinung, dass die Plenterung in Buchenbeständen nicht möglich sei, zumindest nicht in ihrer einzelstammweisen Form. Er trat daher für eine horstweise Erziehung ein. Die Aussagen von Schaeffer (1938) über die Buche basieren auf Veröffentlichungen von Matthes und demnach vermutlich auf Erfahrungen aus Thüringen.

Sogar Dannecker (1947), ein leidenschaftlicher Kämpfer für die Anwendung der Plenterprinzipien in den Laubwäldern Württembergs (Deutschland), spricht nur beiläufig von der Buche, die in 70 bis 90 Exemplaren in der Oberschicht zu erhalten sei. Dem Verfasser erscheint diese Zahl übrigens als zu hoch. Zwar wird diese Zahl mancherorts noch heute genannt (insbesondere in Frankreich), aber immer als Endstammzahl bzw. Behandlungsziel im gleichförmigen Wald und damit in Verbindung mit Eingriffen zur Ausformung der Kronen.

Den Hang der Buche, das Kronendach rasch zu schliessen, veranschaulicht ein anderes Beispiel sehr schön: Ende des 19. Jahrhunderts wurden in einigen Gebieten Norddeutschlands Versuche mit extrem starken Lichtwuchsdurchforstungen unternommen, die nach ihrem Erfinder, einem Hannoveraner Forstmeister, als "Seebach-Durchforstung" benannt wurden. Aus den 65- bis 70jährigen reinen Buchenbeständen wurden praktisch auf einen Schlag 65 bis 70 % des Vorrats entnommen. Die Grundfläche verringerte sich entsprechend von 35 bzw. 39 m² auf 11 m² und der Vorrat auf 130 m³/ha. Mit Ausnahme von Sanitärhiebsen erfolgten anschliessend keine Eingriffe mehr. Dittmar (1991) zeigt in seiner Arbeit sehr anschaulich, was in den 100 Jahren danach geschehen ist: 30 bis 40 Jahre nach den gewaltigen Eingriffen berührten sich die Kronen erneut und das Kronendach war bald wieder geschlossen. Am Ende der Umtriebszeit, im Alter von 160 Jahren, unterschieden sich die Baumformen – mit Ausnahme eines höheren Zwieselanteils – nicht von denen normal behandelte Buchenhochwälder. Die Verjüngung, die sich nach dem extrem starken Eingriff eingestellt hatte, konnte aufgrund des raschen Kronenschlusses zu keinem Zeitpunkt ein qualitativ und quantitativ befriedigendes Wachstum erzielen, sodass sie als Folgegeneration unbrauchbar war. Die Buche scheint also, was die Reaktion auf waldbauliche Eingriffe und das Schliessen des Kronendachs betrifft, über ganz erstaunliche Fähigkeiten zu verfügen.

Das wesentliche Problem der Plenterung mit Buchen oder allgemein der Plenterung mit Laubbäumen ist die optimale Vorratshöhe. Für einen qualitativ und quantitativ genügenden Nachwuchs bedarf es häufiger Eingriffe, der Kronenschirm muss sehr viel lichter sein als bei schattenertragenden Nadelbäumen und vor allem der Holzvorrat darf eine gewisse Höhe nicht übersteigen. Eine der wesentlichen Fragen ist, ob unter der Voraussetzung eines relativ niedrigen Vorrats das Wuchspotential des Standorts ausgeschöpft werden kann oder ob ein Zuwachsverlust eintritt.

Die Festlegung, welche Bedingungen ein zahlenmässig nachhaltiger Nachwuchs erfüllen muss, setzt Kenntnisse über das Wachstum der Unterschicht voraus, d.h. über jene Schicht, die am empfindlichsten auf verschlechterte Belichtungsverhältnisse reagiert. Abbildung 4.1 zeigt die Ergebnisse der Durchmesserzuwachsmessungen an jungen Buchen im Stangenholzalter in drei ertragskundlichen Versuchsflächen der Forstlichen Fakultät Tharandt im Genossenschaftswald von Langula-Oppershausen. Die Bäume der untersten BHD-Stufe (10 cm) bilden den Vorrat an Nachwüchsen, aus dem in Abhängigkeit von den Belichtungsverhältnissen oder der Bestandesdichte einzelne Bestandesglieder in höheren Schichten einwachsen. Die Abhängigkeit zwischen Durchmesserzuwachs und Bestockungsdichte (gemessen als Index G_{cum} , siehe Abschnitt 2.2.2) lässt sich am Beispiel der drei Versuchsflächen nachweisen. Der Index G_{cum} ist somit auch ein Mass, wie stark das Licht zurückgehalten wird. Die statistische Prüfung zeigt, dass der Index ca. 80 % der Streuung des Durchmesserzuwachses erklärt (Korrelationskoeffizient $r = 0.89$). Abbildung 4.1 zeigt, wie die zunehmende Überschirmung bzw. die zunehmende Bestandesdichte zu einem Rückgang des Durchmesserzuwachses führt.

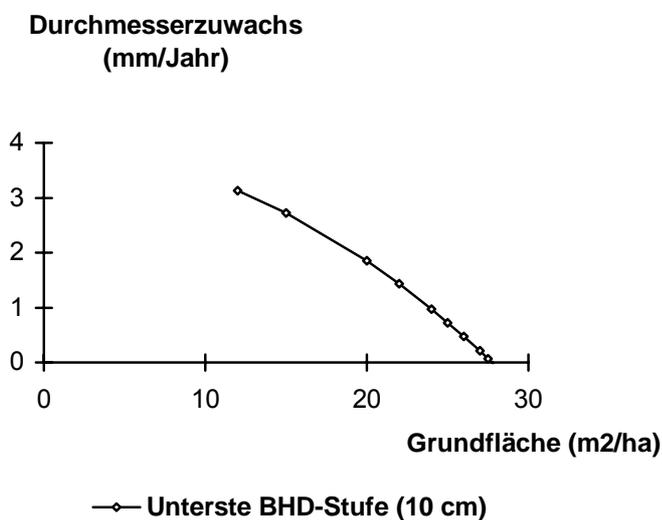


Abb. 4.1: Einfluss einer zunehmenden Bestandesdichte im Buchen-Plenterwald auf den Durchmesserzuwachs der Nachwuchsstämme der niedrigsten Inventurstufe: BHD-stufe (10 cm).

Für die Bäume der Unterschicht, aus der einzelne Exemplare in höhere Bestandesschichten einwachsen sollen, bedeutet dies, dass die Überschirmung einen unmittelbaren Einfluss auf die Wachstumsgeschwindigkeit und damit auch auf den Zeitraum hat, der zum Einwachsen in die nächsthöhere Durchmesserstufe erforderlich ist.

Die Bestandesdichte ist dargestellt durch die Variable G_{cum} , welche für die Summe der Grundflächen aller durchmesserstärkeren Bäume steht. Die den Kurven zugrundeliegenden Zuwachsdaten stammen aus drei Versuchsflächen und jeweils vier Beobachtungsperioden im Zeitraum 1955 bis 1985. Die Daten wurden freundlicherweise von Prof. G. Wenk vom Institut für Waldwachstum der Technischen Universität Dresden in Tharandt zur Verfügung gestellt.

Bei einer Grundfläche von rund 24 m² (entsprechend einem Vorrat von mindestens 250 m³/ha) ist der Durchmesserzuwachs der Buchen-Stangen kleiner als 1 mm pro Jahr (Abb. 4.1). Eine solche Bestandesdichte führt dazu, dass die jungen Bäume mehr als 40 Jahre für das Durchwachsen einer Durchmesserstufe von 4 cm benötigen. Bei einer Grundfläche von 27 m² (entsprechend einem Vorrat von rund 300 m³/ha) geht der Zuwachs gegen Null und die natürliche Mortalität steigt an. Das Wachstum ist so stark verlangsamt, dass es einer extrem hohen Zahl an Stangen bedarf, um die stammzahlmässige Nachhaltigkeit des Nachwuchses zu gewährleisten. Oberhalb dieser Bestandesdichte fällt der Nachwuchs völlig aus.

Die jungen Buchen scheinen also auf einen zunehmenden Kronenschluss sehr empfindlich zu reagieren. Die folgende Analyse zeigt, dass sie sich hinsichtlich des Wachstums im

Halbschatten deutlich von Tannen oder Fichten unterscheiden. Im Gegensatz zur Abbildung 4.1 betrachten wir dazu nicht mehr allein die Nachwuchsstämme (unterste BHD-Stufe), sondern die Gesamtheit aller Stämme nach Durchmesserstufen. Aus Abschnitt 2.2.2 und Abbildung 2.7 geht hervor, dass zwischen der Überschirmung (ausgedrückt als G_{cum}) und dem Durchmesserzuwachs eine enge Beziehung besteht. Abbildung 4.2 zeigt den Verlauf von solchen Beziehungen am Beispiel eines klassischen Tannen-Fichten-Plenterwaldes (Schallenberg-Rauchgrat) und der Buchenplenterwälder von Langula. Da die Kurven anhand des Plenterwaldmodells erarbeitet wurden, gilt die Abbildung nur für Plenterwälder im Gleichgewicht. In montanen Tannenwäldern lässt sich ab einer Grundfläche von 28 bis 29 m^2 ein deutlicher Zuwachsrückgang feststellen, und bei rund 34 m^2 Grundfläche vermögen die Nachwuchsstämme keinen Zuwachs mehr zu leisten. Im Fall der Buchen-Plenterwälder beginnt ein merklicher Zuwachsrückgang schon bei einer wesentlich niedrigeren Grundfläche von 15 bis 16 m^2 , was einem Vorrat von weniger als 200 m^3/ha entspricht. In Bezug auf die Grundfläche beträgt der Unterschied zum Tannen-Plenterwald also ungefähr 10 m^2 .

Durchmesserzuwachs (mm/Jahr)

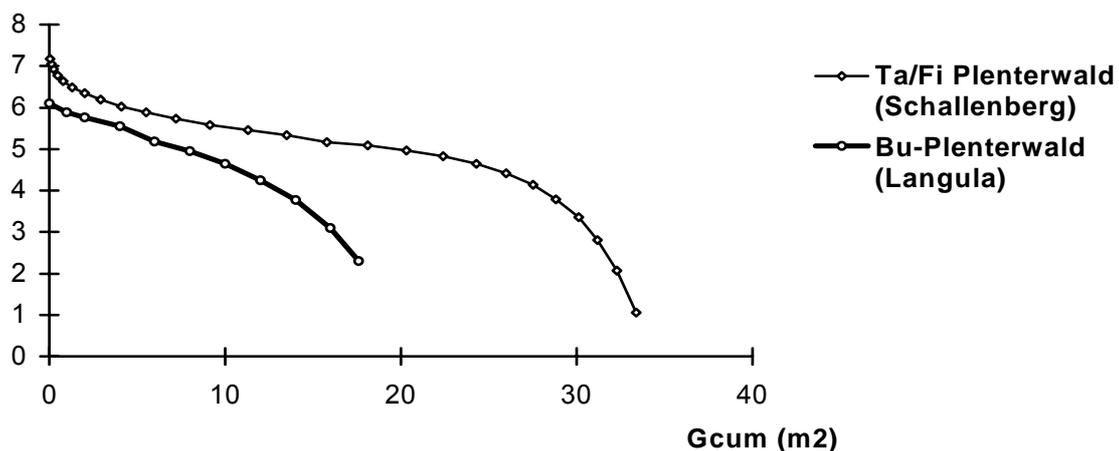


Abb. 4.2: Durchmesserzuwachs in unterschiedlichen Durchmesserstufen in Abhängigkeit von der Bestandesdichte im Tannen-Fichten-Plenterwald und im Buchen-Plenterwald.

G_{cum} beschreibt für jede Durchmesserstufe die Überschirmung, die durch die Gesamtheit der jeweils durchmesserstärkeren Bäume verursacht wird. Als Mass für die Überschirmung dient die kumulierte Grundfläche aller Bäume, die allen höheren als der jeweils betrachteten Durchmesserstufe angehören.

Die Werte stammen aus dem montanen Tannen-Fichten-Plenterwald Schallenberg-Rauchgrat (Emmental, 1.040 m ü.M.) und aus den Buchen-Plenterwäldern des Reviers Langula (Thüringen).

Dies zeigt, dass Buchen das Licht sehr viel stärker als Nadelbäume zurückhalten bzw. den Standraum wesentlich schlechter ausnützen. Der Grund ist, dass die Buchenkrone nach einer Freistellung in die Breite wächst, Fichten- oder Tannenkronen dagegen spindelförmig und schlank bleiben.

Die Berechnung der abgebildeten Werte erfolgte unter Verwendung einer linearen Beziehung zwischen den beiden Variablen x_1 (Durchmesserstufe) und x_2 (G_{cum}) sowie dem Durchmesserzuwachs. Das Bestimmtheitsmass (R^2) beträgt für Schallenberg-Rauchgrat 84 % und für

die drei Flächen im Revier Langula 81 %. Dies ermöglicht, die Stammzahlverteilung eines Plentergleichgewichts zu berechnen.

Die Abbildung lässt schliessen, dass die Buche auf die zunehmende Überschirmung sehr viel empfindlicher reagiert als die Nadelbäume Fichte oder Tanne. Diese Einschränkung hat wesentliche Auswirkungen auf die Lage des Plentergleichgewichts, d.h. auf die ideale Stammzahlverteilung beim demographisch nachhaltigen Nachwuchs. Zugleich ist dieses Ergebnis eine eindeutige und objektive Bestätigung, dass die natürliche Entwicklung in Buchenwäldern zur Gleichförmigkeit tendiert. Es erklärt auch, warum in Buchen-Urwäldern keine plenterartigen Strukturen angetroffen werden.

4.1.4 Gleichgewichtsbedingungen in Buchen-Plenterwäldern

Eine seriöse und objektive Untersuchung der Gleichgewichtsbedingungen, die auch die unterschiedlichen Wuchsbedingungen, den Nachwuchs und die strukturellen Entwicklungen berücksichtigt, setzt das Vorhandensein von präzisen Daten über einen ausreichend langen Zeitraum voraus. Glücklicherweise legte das Institut für Waldwachstum der Forstlichen Fakultät Tharandt (heute Teil der Technischen Universität Dresden) im Herbst 1955 drei Dauerbeobachtungsflächen an. Die Flächen, konzipiert für klassische waldwachstums-kundliche Fragestellungen, befinden sich in den Plenterwäldern des Reviers Langula im Forstamt Mühlhausen, die den zwei Genossenschaften Langula und Oppershausen gehören. Heute liegen holzmesskundliche Daten von der Erstaufnahme und von vier Folgeaufnahmen vor. Auf dieser Grundlage, war es möglich, eine sehr verlässliche Beziehung zwischen dem Stärkenzuwachs nach Durchmesserstufen (4 cm-Stufen) und dem in Abbildung 4.2 dargestellten durchmesserstufenweisen Überschirmungsgrad (G_{cum}) aufzustellen.

Erstaunlich ist, dass die Daten der ausgeführten Plenterhiebe (e_i) in ihren Grundzügen sehr gut mit denen übereinstimmen, die in nadelholzreichen Plenterwäldern der Schweiz, insbesondere in Couvet (Schütz 1975), gewonnen wurden. Anhand der Daten zum Durchmesserzuwachs, zur Bestockungsdichte und der Nutzungsraten lässt sich eine Stammzahlabnahmekurve berechnen, welche die in Abschnitt 2.2.3 beschriebenen allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen des dynamischen Plenterwaldmodells erfüllt. Die Abbildung 4.3 entspricht in ihrem Aufbau der Abbildung 2.10, die im Zusammenhang mit den klassischen Plenterwäldern vorgestellt wurde. Der einzige Unterschied ist, dass bei der Abbildung 4.3 zur Schätzung der Auswuchsraten (p_i) ein Modell mit zwei unabhängigen Variablen verwendet wird: Durchmesserstufen und Überschirmungsindex G_{cum} . Auf diese Art und Weise kann die theoretische Gleichgewichtskurve die direkte Abhängigkeit zwischen Bestockungsdichte und Durchmesserzuwachs berücksichtigen.

Abbildung 4.3 zeigt die für eine demographisch nachhaltige Plenterstruktur notwendigen Ausgangsstammzahlen (gemäss Funktion 2.3 in Abschnitt 2.2.3), d.h. die Stammzahlen der kleinsten bei der Inventur erfassten Durchmesserstufe (8,0 bis 11,9 cm). Ebenso zeigt sie die unterschiedlichen Bestockungsdichten für den Gesamtbestand, die sich aus der Berechnung der nachhaltigen Stammzahlen in allen Durchmesserstufen ergeben. Die durchgezogene Linie in Abbildung 4.3 gibt Auskunft über die notwendigen Nachwuchsstammzahlen bei unterschiedlichen Bestockungsdichten. Der exponentielle Verlauf der Kurve erklärt sich durch die bereits erwähnte Beobachtung, dass der Zuwachs sehr empfindlich auf die Zunahme der Bestandesdichte bzw. der Überschirmung reagiert. Höheren Bestandesdichten entsprechen auch höhere Ausgangsstammzahlen, da der Durchmesserzuwachs der Nachwuchsbäume mit zunehmender Bestandesdichte zurückgeht.

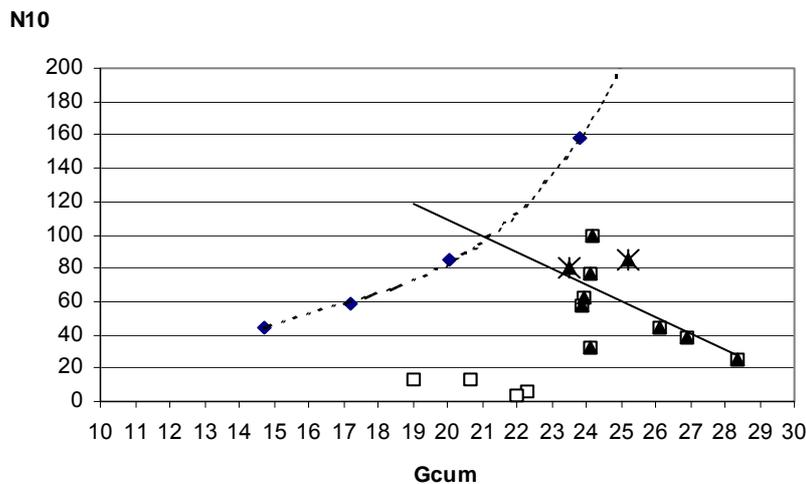


Abb. 4.3: Bestimmung der Lage des plentergleichgewichts für die Buchen-Plenterwälder von Langula (Erläuterungen siehe Text) Berechnung 2002 mit Zuwachsperiode 1985-95.

- ◆ Simulation N10
- Beobachtet Fläche 2
- ▲ Beobachtet ohne Fläche 2
- ✱ Beobachtet Keula 1952

Je mehr Zeit ein Baum benötigt, um in die nächste Durchmesserstufe einzuwachsen, desto mehr Bäume werden benötigt, um den für eine Nachhaltigkeit erforderlichen Einwuchs in die jeweils nächsthöhere Durchmesserstufe zu gewährleisten. Im Extremfall, d.h. wenn der Zuwachs sich 0 nähert, bedarf es einer nahezu unendlichen Zahl an Bäumen, um die Nachhaltigkeitsbedingungen zu erfüllen. Zusätzlich zu den berechneten Ausgangsstammzahlen zeigt Abbildung 4.3 die tatsächlich beobachteten Stammzahlen auf den drei Versuchsflächen. Sie wurden durch zwei Angaben aus der Literatur zu den Buchen-Plenterwäldern von Keula ergänzt (Landbeck 1952). Gesondert aufgeführt sind die Daten der Fläche Langula II, die offensichtlich wegen der Regelmässigkeit und der Bestockungsdichte des Unterstandes nicht mehr als geplentert zu betrachten ist. Die gestrichelte Linie steht für den allgemeinen Trend, der sich aus den tatsächlich beobachteten Ausgangsstammzahlen ergibt. Sein Verlauf hängt von der Bestandesdichte ab. Am Schnittpunkt der beiden Kurven befindet sich der **Punkt des realen Gleichgewichts**, der für eine nachhaltige Verjüngung im Sinne des Plentergleichgewichts steht. Das Plentergleichgewicht in den Buchenwäldern von Langula stellt sich also bei einer Grundfläche von rund 21 m² ein, was einen Vorrat (Derbholz) von rund 250 m³/ha bedeutet.

Abb. 4.4 zeigt die den realen Gleichgewichtsbedingungen entsprechende Gleichgewichtskurve für die Stammzahlabnahme nach Durchmesserstufen. Sie ist der Stammzahlabnahmekurve gemäss der Ertragstafel gegenübergestellt, die für das Modell des gleichförmigen Hochwaldes steht. Für Vergleichszwecke ist zusätzlich die Gleichgewichtskurve eines Nadelbaum-Plenterwaldmodells (Typ Couvet) aufgetragen.

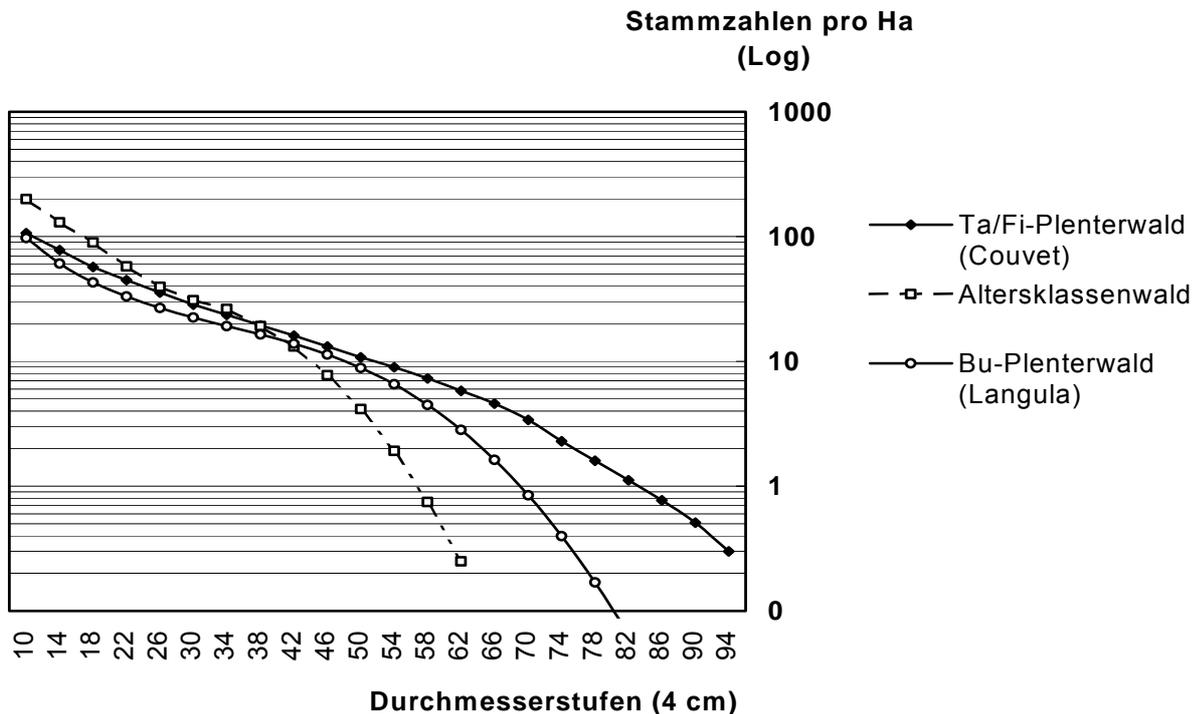


Abb. 4.4: Stammzahlverteilung gemäss den Nachhaltigkeitsbedingungen (Gleichgewichtskurve) im Modell des Buchen-Plenterwaldes (Typ Langula) im Vergleich zu den Stammzahlabnahmekurven im Modell des gleichförmigen Buchen-Hochwaldes (Ertragstafel) und im Modell des Nadelbaum-Plenterwaldes (Typ Couvet)

Berechnungsweise:

Plenterwälder: gemäss Gleichgewichtsberechnungen (siehe Text und ausführliche Darstellung in Abschnitt 2.2.3). Gleichförmiger Hochwald: gemäss Schweizer Ertragstafel für die Buche (Badoux 1967), Bonität 20 (H_{dom} 20 m im Alter 50), entspricht ungefähr Höhe 30 m im Alter 100, starke Hochdurchforstung. Die Kurvenpunkte sind Durchschnittswerte, berechnet aus der Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen für alle Altersklassen bei einer Umtriebszeit von 120 Jahren.

Hinsichtlich der Stammzahlverteilung offenbart der Vergleich mit dem Wachstumsmodell für gleichförmige Buchenhochwälder deutliche Unterschiede. Dabei ist eine ähnliche Tendenz wie bei Fichtenhochwäldern (Abb. 2.9) zu erkennen. Ein Unterschied besteht darin, dass im Buchen-Plenterwald der Anteil starken Stammholzes nicht so hoch ist wie im Fichten-Plenterwald. Gründe sind der wesentlich geringere Gleichgewichtsvorrat im Buchen-Plenterwald sowie die Tatsache, dass die Buche auf seitliche Konkurrenz anders als Nadelbäume reagiert.

Der Vergleich mit Couvet zeigt deutlich die Unterschiede zu Nadelbaum-Plenterwäldern. Letztere sind in der Lage, den Standraum effizienter zu nutzen und eine Beschattung besser zu ertragen als Buchen-Plenterwälder. Dieser Umstand ermöglicht höhere Stammzahlen und in der Folge auch höhere Gleichgewichtsvorräte ($355 \text{ m}^3/\text{ha}$ in Couvet gegenüber $250 \text{ m}^3/\text{ha}$ in Langula).

Diese erheblichen Unterschiede bezüglich Gleichgewichtsvorrat zwischen Buche und Nadelbäumen sind im Wesentlichen Ausdruck der Wachstumseigenschaften der Baumarten und insbesondere ihrer Raumausnutzungsvermögen. Kalkulationen der baumartenspezifischen Stammzahlgleichgewichtskurven für den Jura-Plenterwald Les Erses (am Mt. Aubert, VD), ergeben folgende Gleichgewichtsvorräte:

- Buche 140 m³/ha
- Fichte 270 m³/ha
- Tanne 256 m³/ha

(Stehender Vorrat errechnet mit einem Lokaltarif, basierend auf die drei Eingänge: BHD, H, D7)

Für diesen seit 1889 geplenterten Privatwald war es dank genügender Vertretung dieser drei Baumarten und der langen Beobachtungszeit möglich, die Voraussetzungen für die Kalkulation des Gleichgewichts gemäss Absch. 2.2.3, nämlich Durchmesserzuwachs und Nutzungen getrennt zu erheben, sodass eine baumartenspezifische Hochrechnung der Gleichgewichte möglich ist (Daten noch nicht publiziert).

Es zeigt sich, dass obwohl zwischen Fichte und Tanne wesentliche Unterschiede im Zuwachs bestehen (die Tanne wächst z.B. deutlich schneller als die Fichte, siehe Abb. 2.17), der Gleichgewichtsvorrat für die Fichte etwas höher ausfällt als für die Tanne. Offensichtlich gibt es eine Kompensation zwischen Zuwachs und Standraumbedürfnissen. Dies bestätigt interessanterweise das gute Ausnutzungsvermögen der Fichte. Der Gleichgewichtsvorrat für die Buche kommt kaum auf die Hälfte dessen der Nadelbäume. Abb. 4.5 zeigt die errechneten Stammzahlgleichgewichtskurven der Baumarten.

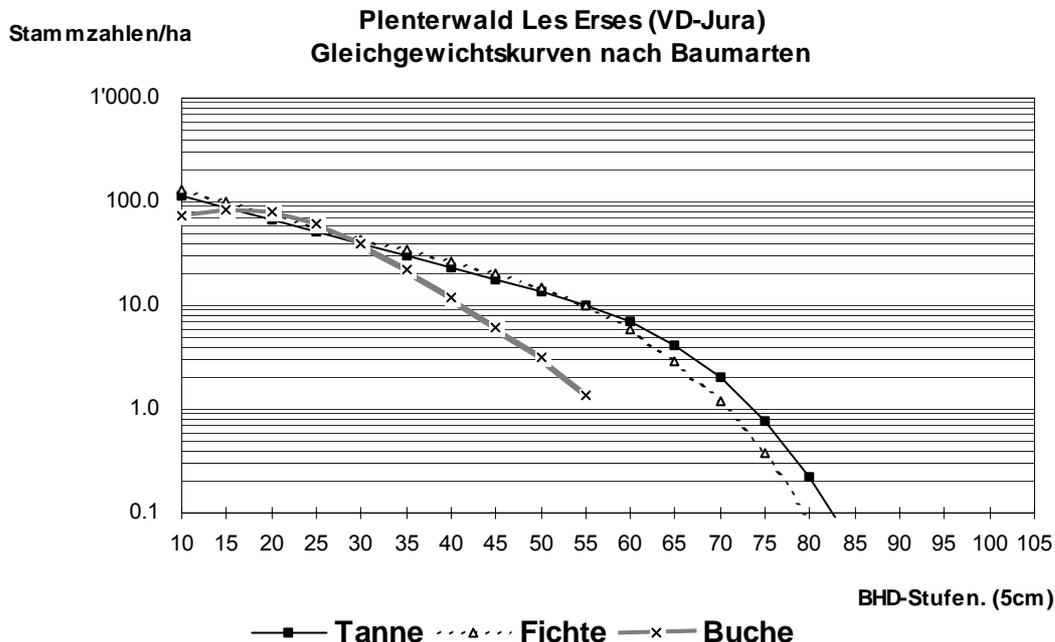


Abbildung 4.5: Stammzahlgleichgewichtskurven für Fichte, Tanne und Buche für den Juraplenterwald Les Erses (975 – 1250 m.ü.M.)

4.1.5 Plentergleichgewicht und Wachstumsbedingungen

Im vorangehenden Kapitel wurde dargelegt, warum das Plentergleichgewicht, welches einen nachhaltigen Nachwuchs gewährleistet, in Langula einen relativ niedrigen Vorrat von rund 250 m³/ha voraussetzt. Unabhängig davon, wie ein ausreichender Nachwuchs auf Dauer sichergestellt werden kann, stellt sich die Frage nach den Konsequenzen für die Holzproduktion. Denkbar ist, dass der grössere Wuchsraum, der durch die Öffnung des Bestandes und die Absenkung der Grundfläche bzw. des Vorrats entsteht, in einen stärkeren Zuwachs der Stämme der Oberschicht umgesetzt wird. Die fehlende seitliche Konkurrenz könnte somit bewirken, dass die verbleibenden Stämme den Zuwachsverlust, der durch die Bestandesöffnung entsteht, kompensieren. Aber auch die entgegengesetzte Argumentation, dass eine reduzierte Bestandesdichte Zuwachsverluste nach sich zieht, ist nicht von der Hand zu weisen.

Glücklicherweise gibt es innerhalb der zur Verfügung stehenden Versuchsflächen in Langula eine verhältnismässig grosse Vorratsstreuung von 236 bis 383 m³/ha. Die berechnete Funktion, die auf der Basis der Zuwächse und Bestandesdichten der einzelnen Flächen erstellt wurde, kann somit auch zur Simulation des Bestandeszuwachses bei unterschiedlichen Bestandesdichten verwendet werden. Dabei deutet die gute Korrelation der Funktion ($r^2 = 0,81$) auf eine relativ gute und wirklichkeitsnahe Prognose des Zuwachses hin. Die Resultate der Simulation sind in Abbildung 4.6 dargestellt. Die Berechnung basiert zwar auf Stammzahlabnahmekurven mit gleichem Abnahmeverlauf (erste Gleichgewichtsbedingung), sie erfüllt jedoch nicht die Bedingung, dass der Einwuchs in die unterste Durchmesserstufe in einem die Nachhaltigkeit garantierenden Umfang gegeben ist (zweite und dritte Gleichgewichtsbedingung). Die Ergebnisse gelten deshalb nur für ungleichförmige Bestände, bei denen die Stämme so über alle Durchmesserstufen verteilt sind, dass die interne Nachhaltigkeit, d.h. der erforderliche Einwuchs in die jeweils nächsthöhere Durchmesserstufe, gewährleistet ist; eine Nachhaltigkeit hinsichtlich des Nachwuchses in der untersten Stufe wird aber nicht vorausgesetzt.

Für die Wälder von Langula, für die ungleichförmige Strukturen in Verbindung mit stark schwankenden Vorräten typisch sind, liefert die Simulation eindrucksvolle und stimmige Ergebnisse. Die Berechnungen zeigen eine kontinuierliche Zunahme des Derbholzzuwachses mit ansteigender Bestandesdichte. Um dieses Ergebnis richtig interpretieren zu können, sollen einige Zusammenhänge ins Gedächtnis zurückgerufen werden. Bei einer Grundfläche von mehr als 18 m² ist ein ausreichender Nachwuchs nicht mehr gewährleistet. Auf den Bestandeszuwachs dagegen wirkt sich ein Anstieg der Grundfläche positiv aus. Abbildung 4.1 zeigt, dass ab 28 m² Grundfläche kein Nachwuchs mehr vorhanden ist. Zugleich geht der Zuwachs von Stämmen mittlerer Dimension zurück. Der gesamte Bestandeszuwachs kumuliert erst, wenn die Grundfläche ungefähr 30 m² erreicht hat (Abb. 4.6). Spätestens dann macht sich bemerkbar, dass die Stammzahlverteilung nicht mehr nachhaltig ist. Da der Nachwuchs schon seit langem nicht mehr ausreicht, wird die Bestandesstruktur immer gleichförmiger.

Abbildung 4.6 zeigt, dass sich mit einem Zuwachs von 8,1 m³·ha⁻¹·Jahr⁻¹ dauerhaft plenterartige Strukturen verwirklichen lassen. Sie ermöglichen eine kontinuierliche Erneuerung des Bestandes. Dieser Zuwachswert liegt 1,5 m³·ha⁻¹·Jahr⁻¹ oder 16 % unter dem Zuwachs dichter Bestände, die zwar ebenfalls ungleichförmig sind, bei denen die plenterartige Struktur aber nicht auf Dauer erhalten werden kann. Gegenüber dem Altersklassenmodell bzw. dem durchschnittlichen Gesamtzuwachs der Ertragstafel (7,9 m³·ha⁻¹·Jahr⁻¹) ist der Unterschied jedoch nicht allzu gross. Dieses Ergebnis stützt die Aussage im Kapitel über die klassischen Nadelbaum-Plenterwälder, dass zwischen den beiden Betriebsarten Plenterwald und gleichförmiger Hochwald keine grossen Zuwachsunterschiede bestehen. Wenn man berücksichtigt, wie unsicher die Wahl der Parameter beim Altersklassenmodell ist (Bonität,

Umtriebszeit), so erlauben die geringen Unterschiede nicht, von einer klaren Überlegenheit des einen oder anderen Modells zu sprechen. Im besten Fall sind es Hinweise auf tendenzielle Unterschiede.

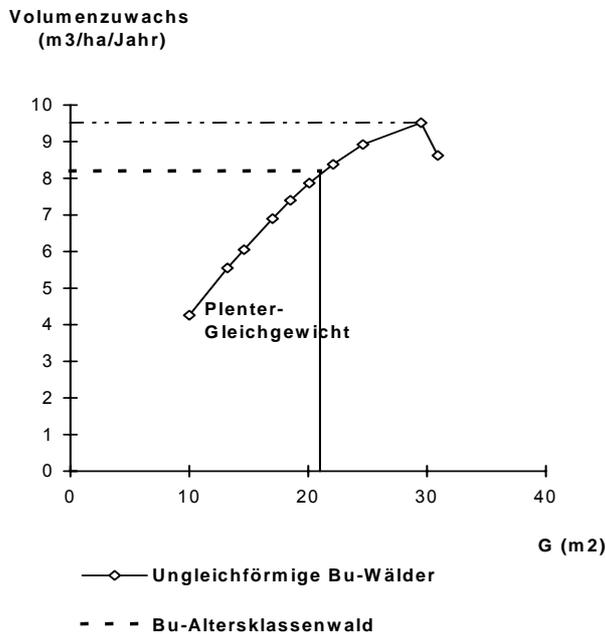


Abb. 4.6: Simulation des Derbholzzuwachses bei variabler Bestandesdichte in ungleichförmigen Buchenbeständen.

Die Zuwachswerte wurden auf der Basis von Stammzahlverteilungen entsprechend der ersten Gleichgewichtsbedingung berechnet (den Einwuchsbedingungen entsprechende Stammzahlabnahme je Durchmesserstufe). Der Kurvenpunkt, der für das Plentergleichgewicht steht, erfüllt zugleich die beiden übrigen Gleichgewichtsbedingungen. Die anderen Kurvenpunkte repräsentieren ungleichförmige Bestände, wie sie im Gelände angetroffen werden und bei denen der Nachwuchs nicht oder nicht mehr nachhaltig aufgebaut ist.

Der Bewirtschafter im Wald steht vor der Frage, ob und in welchem Masse die Nachhaltigkeitsbedingungen immer und überall erfüllt sein müssen. Was spricht dagegen, die natürlichen Wachstumskräfte besser zu nutzen und den Vorrat über die kritische Grenze von $250 \text{ m}^3/\text{ha}$ ansteigen zu lassen? Mit dem zuletzt genannten Vorgehen erreicht man, zumindest in der ersten Zeit, dass der Zuwachs steigt (vgl. Abb. 4.6) – und das anscheinend ohne dramatische Auswirkungen auf den Nachwuchs. Ein solches Vorgehen könnte man als zuwachsopportunes Modell bezeichnen. Damit die Nachhaltigkeitsbedingungen einigermaßen erfüllt werden, braucht es bei diesem Weg aber früher oder später eine Verjüngungswelle, die durch eine spürbare Absenkung des Vorrates ausgelöst wird. Wir nähern uns damit einem Mischmodell zwischen dem zweischichtigen Hochwald mit langem Verjüngungszeitraum und dem klassischen Plenterwald mit einer zu jedem Zeitpunkt ausgeglichenen Stammzahlverteilung.

Beim zuwachsopportunen Modell ist in der Phase der Nachwuchsförderung eine markante Absenkung des Vorrates notwendig. Sie geht mit einer teilweisen Bestandesauflösung einher, die meist ungünstige Auswirkungen auf die Güte der Stämme hat (Verlust der Wipfelschäftigkeit, Bildung von Klebästen am Stamm, Sonnenbrand, Ausdehnung der Krone). Ein solches Vorgehen dürfte daher nicht besonders gut geeignet sein, um ein allgemeingültiges waldbauliches Konzept für die Buche zu formulieren. Interessant dürfte in diesem Zusammenhang die von Altherr und Unfried (1984) im Rahmen der langfristigen Beobachtung von Buchenversuchsflächen im Lichtungsbetrieb in Baden-Württemberg gewonnenen Erkenntnisse bezüglich Klebastbildung in Abhängigkeit mit der Bestockungsdichte (siehe auch dazu Klädtke, 1997) sein. Altherr stellt für reine Buchenbestockungen fest, dass sich bei einer Grundfläche von über 20 m^2 die Bildung von Klebästen eindeutig in Grenzen hält. Er stützt sich dabei auch auf die grundlegenden Arbeiten von Freist (1962). Wichtig ist hier zu betonen, dass nicht die Erscheinung von jungen Trieben (sog. Wasserreiser) aus schlafenden Knospen entscheidend ist, weil sich die grosse Mehrheit dieser Ersatztriebe in den folgenden Jahren

zurückbildet, sondern die langzeitige Erhaltung echter sekundärer Äste (sog. Klebästen). Es scheint, dass dies erfolgt, wenn die mittlerweile verholzten Äste eine gewisse Länge bzw. einen gewissen Durchmesser erreichen. Hier scheint eine Grenze von 2 cm Astdicke nach Altherr und Unfried (1984) eine kritische Grenze für eine spätere Rückbildung darzustellen.

Zusätzlich steigt die Gefahr, einen Verjüngungsmangel nicht rechtzeitig wahrzunehmen bzw. der übermässigen Vorratsanhäufung nicht rechtzeitig entgegenzuwirken. Beides ist aber notwendig, wenn die plenterartigen Strukturen auf Dauer gewährleistet werden sollen. Es kommt hinzu, dass das Zuwachsoportune Modell erhebliche Vorratsschwankungen zur Folge hat. Aus den genannten Gründen ist der Verfasser abschliessend der Meinung, dass ein realistischer und gangbarer Weg darin besteht, sich bei der Bewirtschaftung nicht allzu weit vom Gleichgewichtsvorrat zu entfernen.

Nach wiederholten und aufmerksamen Begehungen der Wälder von Langula-Oppershausen und Keula scheint dem Verfasser, dass sich die Wälder – mit oder ohne Wissen der Bewirtschafter – schon in einem Zuwachsoportunen Zustand befinden. Dieser Zustand, der offensichtlich eine Folge der Absicht ist, das aktuelle Wachstumspotential besser zu nutzen. Dies ist aber mit der Gefahr verbunden, dass die Verjüngungsgunst überschätzt wird und man mittelfristig an einem Punkt anlangt, an dem der Rückweg zu nachhaltigem Nachwuchs und Ungleichförmigkeit versperrt ist.

Eine Alternative zu diesem Konzept bietet eine andere Art und Weise der Bewirtschaftung, nämlich das sogenannte gemischte System mit einer flächenweisen Verjüngung, eine Art Gruppenplenterung. Die Probleme, die sich aus der räumlich getrennten Anordnung von Bestandegliedern ergeben, werden im folgenden Kapitel untersucht.

4.1.6 Formen der räumlichen Anordnung von Bäumen

Die Entscheidung für die kollektive oder die individuelle Erziehung ist gerade im Fall der Buche von herausragender Bedeutung. Bei Koniferen ist aus waldbaulicher Sicht sowohl eine Erziehung im Kollektiv (in Form von Gruppen oder Horsten) als auch in Form eines frühzeitig individualisierten Wachstums ohne grosse Nachteile möglich.

Hinsichtlich der Verjüngung der Plenterwälder in Thüringen beobachtete schon Matthes (1910), dass in zu kleinen Löchern erzogen (1 bis 2 Altbäume) die jungen Buchen verkrüppelt waren, die Stämmchen verformt oder zwieselig wuchsen und die Verjüngung dadurch kaum brauchbar war. Matthes verwendete den Ausdruck „zwieselig“, meinte damit aber eine Erscheinung, die heute unter der Bezeichnung plagiotropes Höhenwachstum bekannt ist (siehe Abb. 2.15). Dieser Begriff bedeutet, dass sich kein durchgehender Stamm erkennen lässt; er sagt aber nichts aus über Stammverzweigungen (Gabel, Zwiesel). Matthes ist der Meinung, dass die Löcher für eine qualitativ genügende Verjüngung mindestens einen Durchmesser von 20 m haben sollten (3 bis 4 ar). Für Edellaubbäume müsse man den Durchmesser sogar auf 25 bis 30 m (6 bis 9 ar) erhöhen.

Auch Schilling (1949) untersuchte die Wälder von Hainich in der Umgebung von Langula. Er weist darauf hin, dass die Verjüngung zwar fast überall reichlich vorhanden ist, sie aber nur dank Löchern im Bestand in höhere Bestandesschichten einwachsen kann. Er erachtet daher eine Verjüngung in Form von Gruppen als notwendig. Dabei solle jedoch vermieden werden, allzu grosse Öffnungen entstehen zu lassen, weil sonst die Buchenkronen zu sehr in die Breite wüchsen. Um eine gewisse erzieherische Wirkung zu erzielen, die für die spätere Stammqualität unbedingt erforderlich sei, sollten die Gruppen genügend lange, d.h. bis und mit der Stufe des schwachen Stangenholzes (BHD 10 bis 20 cm) in sich geschlossen bleiben.

Des Verfassers Beobachtungen in den Wäldern von Langula und Keula bestätigen diese Aussage. Zu rasch freigestellte Buchenstangen bilden starke Äste und scheinen daher nicht besonders hochwertig zu sein – zumindest aus rein wirtschaftlicher Sicht. Dagegen führt schon die Erziehung in kleinen Kollektiven, die aus sehr wenigen Buchen bestehen können, zu besseren Formen.

Aus diesen Ausführungen ergibt sich, dass die Buche und allgemein alle Laubbäume mit sympodiale Höhenwachstum eine Bestandserziehung im Kollektiv benötigen. Dabei bedarf es keiner ausgesprochen grossflächiger Kollektive. Schon das gemeinsame gruppenweise Aufwachsen weniger Stämme bewirkt einen stärkeren erzieherischen Effekt als eine Freistellung, wie sie im klassischen Plenterwald praktiziert wird. Plenterformen, die diesen Gesetzmässigkeiten angepasst sind, sehen deshalb etwas anders aus als die bekannten, klassischen Formen. Auch die anfänglich ungewohnt grossen Verjüngungsflächen von 10, 20 oder 30 Aren reduzieren sich mit dem Hineinwachsen der Stangen in höhere und damit weniger stark beschattete Bestandesschichten sukzessive, sodass sich letztendlich ein Trupp aus 4 oder 5 Bäumen herausbildet.

4.1.7 Das Problem des starken Holzes

Unabhängig vom Problem, Vorrat und Zuwachs in Einklang zu bringen, stellt sich ähnlich wie in klassischen Plenterwäldern die Frage, ob bei der Buche ein hoher Starkholzanteil entscheidende Vorteile mit sich bringt. Bei der Buche fällt die Antwort nicht so leicht wie bei der Fichte oder der Tanne: Die Buche nutzt den Wuchsraum nicht so effizient wie die Nadelbäume, die Kronen der verselbständigten Buchen sind übermässig gross und auch der Anteil des Nutzholzes ist deutlich niedriger als bei Nadelbäumen. Darüber hinaus ist bei der Buche des Hineinwachsen in starke Dimensionen oft mit der Ausbildung eines falschen Farbkerns verbunden. Zwar beeinträchtigt dieser sogenannte Rotkern die technischen Holzeigenschaften kaum, er führt aber zu einer starken finanziellen Abwertung des Holzes durch die Käufer.

Ein Vergleich der Stammzahlverteilungen im Gleichgewichtsmodell Langula und im Modell des gleichförmigen Hochwaldes (Ertragstafel) zeigt, dass im Starkholzbereich sich die Nutzholzanteile nicht so stark unterscheiden wie bei den Nadelbäumen. Ein weiterer Aspekt ist, dass eine ungleichförmige Struktur die Kronenentwicklung zwar allgemein begünstigt, bei Laubbäumen dies aber auf Kosten der Länge des Erdstammstücks erfolgt. Damit dürfte sich der Anteil des Industrieholzes erhöhen.

Zum Thema der Sortimentsverteilung liefert Biehl (1991) in seiner Diplomarbeit über die Wälder von Langula aufschlussreiche Daten. Er vergleicht die Nutzungen von 13 Jahren im Plenterwaldrevier Langula (rund 1'000 ha) mit denjenigen im benachbarten und standörtlich vergleichbaren Forstbezirk Ershausen (rund 4'500 ha), der jedoch als gleichförmiger Hochwald bewirtschaftet wird (Tab. 4.7). Die Unterschiede sind insgesamt gering und auch die Differenz beim Stammholz (Sägerundholz und Furnierholz) von rund 4 % zu Gunsten der Plenterform ist relativ unbedeutend. Auffällig sind die bei beiden Betriebsarten hohen Industrieholzanteile.

Tabelle 4.7: Sortimentsverteilung im Buchen-Plenterwald und im gleichförmigen Buchen-Hochwald

Sortimente	Plenterwald Revier Langula (%)	gleichförm. Hochwald Forstbezirk Ershausen (%)
Industrieholz	45,5	49,7
Sägerundholz	44,4	42,2
Furnierholz	10,1	8,1

[Nach Biehl (1991)]
Erläuterungen siehe Text

Diese Nutzungen können durchaus als ein korrekter Ausdruck der Leistungsfähigkeit betrachtet werden. Während bezüglich der Volumenleistung (Tab. 4.7) praktisch keine Unterschiede erkennbar sind, erweist sich der Plenterwald bei der Stärkeklassenverteilung als deutlich überlegen: 51 % der Gesamtnutzung bestehen aus Stämmen mit einem Brusthöhendurchmesser von mehr als 52 cm; im Modell des gleichförmigen Hochwaldes dagegen sind es lediglich 14 %. Umgekehrt ist im Plenterwald der Anteil schwacher Dimensionen (22 %) nur etwa halb so gross wie in einem Wald gemäss der Ertragstafel (41 %).

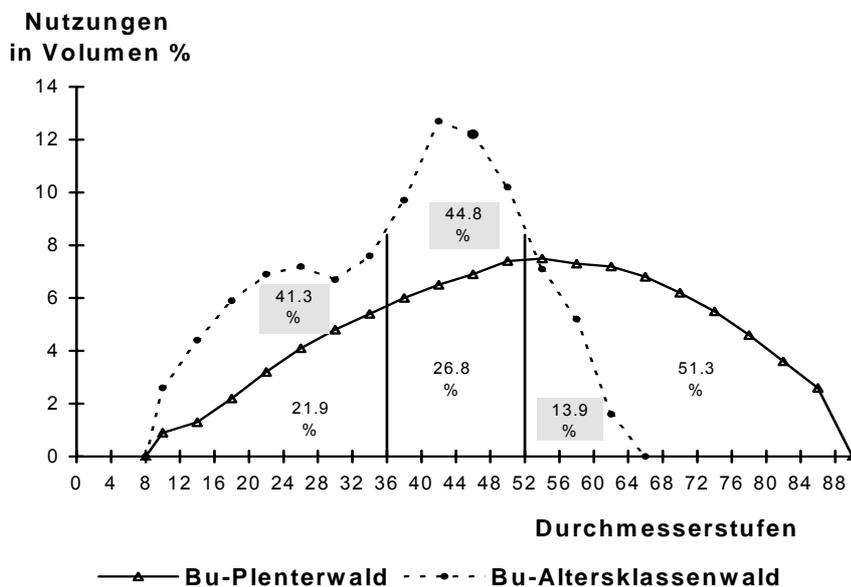


Abb. 4.8: Vergleich der Nutzungen im Buchen-Plenterwaldmodell und im Buchen-Hochwaldmodell nach Durchmesserstufen und Stärkeklassen

Berechnungsgrundlage Plenterwald: Nutzungen entsprechend der nachhaltigen Stammzahlverteilung; Gleichförmiger Hochwald: Summe des Durchforstungsanfalls und verbleibender Bestand am Ende der Umtriebszeit (120 Jahre) ge-

mäss Ertragstafel für die Buche (Badoux, 1967); Bonität 20, definiert als H_{dom} 20m im Alter 50, entspricht in etwas H_{dom} 30m im Alter 100.

Analog zu den Berechnungen für Nadelwälder, dargelegt im Abschnitt 3.2.2, kann auch in diesem Fall ein objektiver Vergleich angestellt werden. Abbildung 4.8 zeigt im Fall der Buche, die Verteilung der Nutzungen nach Durchmesserstufen für das Modell des gleichförmigen Hochwaldes (Ertragstafel) und für das Plenterwaldmodell entsprechend dem Plenter-

gleichgewicht für Langula. Die festmeterbezogenen Kosten für die Nutzung schwacher Stammdimensionen sind bekanntermassen ausserordentlich hoch. Aus diesem Grund ist es vorhersehbar, dass die betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der in Abbildung 4.8 dargestellten Verteilung einen klaren Vorteil für den Plenterwald bedeuten.

Wie Tabelle 4.9 zeigt, ist im Plenterwaldmodell aufgrund der stärkeren Durchmesser der produzierten Sortimente die Wertleistung um 250 % höher als im Modell der Ertragstafel (Erlöse und Kosten des Jahres 1994). Der fakultative Rotkern der Buche wird bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Die in diesem Ausmass unerwarteten Ergebnisse lassen nachdenklich werden. Sie zeigen, dass eine Holzproduktion entsprechend dem Plenterwaldmodell trotz einiger offensichtlicher Nachteile, die mit der Erzeugung von Starkholz verbunden sind, nicht nur bei Nadelbäumen, sondern auch bei der Buche finanziell vorteilhaft ist. Dass dieser Vorteil ein so hohes Ausmass erreicht, lässt sich damit erklären, dass der Brusthöhendurchmesser, ab dem bei der Holzernte ein positiver Nettoerlös erzielt wird, bei der Buche wesentlich höher ist als bei Nadelbäumen.

Tabelle 4.9: Wertleistung der Buche im Plenterwaldmodell und im Modell des gleichförmigen Hochwaldes (Ertragstafel)

	Volumenproduktivität (Derbholz) (m³ * ha⁻¹ * Jahr⁻¹)	Wertleistung (CHF * ha⁻¹ * Jahr⁻¹)
Plenterwaldmodell	7,37	283.--
Gleichförm. Hochwald	7,94	80.--
Differenz (in %)	+ 8 % zu Gunsten gleichförmiger Hochwald	+ 250 % zu Gunsten Plenterwald

Stammzahlverteilung wie in Abb. 4.7. Holzerntekostenfreier Erlös gemäss Werttarif der Professur Waldbau der ETH Zürich 1995. Der Tarif gibt für jede Durchmesserstufe den Unterschiedsbetrag zwischen Bruttoholzerlös und Aufarbeitungskosten an (bei motormanueller Holzernte und Rücken bis zur Waldstrasse).

Es muss betont werden, dass der obenstehende Vergleich keine Qualitätsunterschiede berücksichtigt, die durch den bereits erwähnten fakultativen Farbkern der Buche hervorgerufen werden. Über diesen Kern ist schon lange bekannt, dass er eine Alterungserscheinung ist (Zycha 1948). Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, dass in Wirklichkeit nicht so sehr das Alter, sondern vor allem der Stammdurchmesser den Anteil des Rotkerns am Stammquerschnitt bestimmt (Torelli 1978, Höwecke und Mahler 1991). Am Beispiel slowenischer Buchen konnte Torelli (1978) nachweisen, dass eine gute Kronenausbildung die Entstehung eines Rotkerns verlangsamt beziehungsweise hinauszögert. Auch eine umfangreiche schweizerische Untersuchung (von Büren 1997, 1998) kommt zum gleichen Ergebnis. In Wirklichkeit bestehen bezüglich Rotkernbildung und Kronenausbildung widersprüchliche Aussagen. Einige neuere Untersuchungen zeigen, dass grosskronige Buchen z.B. aus der Mittelwaldstruktur gegenüber Buchen aus gleichförmigen Waldstrukturen verhältnismässig mehr Rotkern aufweisen (Becker et al. 1989, Höwecke und Mahler, 1991, Knoke und Schulz-Wenderoth, 2001).

Für die Interpretation solcher Ergebnisse müssen wir das Phänomen der Rotkernbildung etwas differenziert analysieren und zwischen Grosskrone und Stammarchitektur in der Krone (Besentyp oder sogar Zwieseltyp) unterscheiden. Wenn man weiss, dass Rotkern sowohl vom Wurzelsystem stammaufwärts (sog. Nasskern oder abnorme Kerne nach Seeling, 1992) vordringen kann, wie von Astbrüchen ausgehend in der umgekehrten Richtung (sogenannter trockener Rotkern nach von Büren, 1997) ist der Schluss naheliegend, zumindest für den Trockenrotkern, dass zu mächtig entwickelte Kronen zu grösseren Astbruchrisiken und somit zu vermehrtem Farbkern führen können. So kann man davon ausgehen dass gut ausgewogene, grosse Kronen eher günstig wirken, wohingegen stark ausladende Kronen mit groben Ästen einen negativen Einfluss auf die Verkernung ausüben. Heute geht man davon aus, dass bezüglich Rotkerngefahr ein BHD von 60 cm eine gewisse Grenze darstellt (Klädtkke, 2002). Dies auch wenn Höwecke und Mahler (1991) sowie von Voss und Brandl (1991) zeigen, dass bis 70 cm BHD der zunehmende Rotkern offensichtlich durch das Dickenwachstum (Zunahme des weissen Holzes) bzw. durch das Einwachsen in stärkere und besser bezahlte Stärkeklassen oder Sortimenten kompensiert wird.

Der rotkernbedingte Wertverlust sollte nicht überschätzt werden. Im Gegensatz zur Rotfäule der Fichte beeinträchtigt der Rotkern der Buche die technischen Eigenschaften des Holzes kaum. Da der Rotkern nur ein Verschiessen der Gefässe und keine Holzersetzung bedeutet, wird lediglich die spätere Imprägnierung des Holzes verunmöglicht. Immerhin zeigt Knoke (2002), dass die Preisunterschiede infolge Rotkerns nicht unwesentlich sind. Mit einem Rotkernanteil von über 30 % sind die Holzpreise um 40 % niedriger als für Weissholz. Bei Anteilen von über 50 % ist der Preis um 70 % geringer.

Die Buche ist aufgrund ihrer dünnen Rinde (die Buche bildet keine Borke aus) und ihrer breiten und starren Markstrahlen ausserordentlich empfindlich gegenüber äusseren Einflüssen und Verletzungen. Mit steigendem Durchmesser wird die sklerotische Rinde immer rissiger; Fäulepilze und andere pathogene Organismen können leicht eindringen und verursachen verschiedenen Arten von Weissfäule, was sehr rasch zu einer Zersetzung des Holzes führt. Insbesondere nach ausgeprägten Trockenjahren kann ein Befall von Buchenwollschildläusen (*Cryptococcus fagisuga*) die Verletzbarkeit der Buchenrinde gegenüber äusseren Einflüssen weiter erhöhen (Perrin 1981). Landbeck (1952) zum Beispiel erwähnt fäulnisbedingte Holzverluste in den Plenterwäldern von Keula, die am Anfang der 1950er Jahre eine Grössenordnung von rund 10.000 m³ oder 5 % des Vorrates erreichen. Die offensichtliche Ursache sind zwar die Trockenjahre 1945 bis 1947, der hohe Anteil an starkem Holz hat aber in diesem Zusammenhang sicherlich mit eine Rolle gespielt.

Die Untersuchungen von Polge (1973, 1980, 1981) und Ferrand (1982) bringen einen anderen Aspekt ins Spiel. Es wird vor allem in bezug auf Spannungen im Holzkörper und Drehwuchs (Ferrand 1982, Keller et al. 1976) davon ausgegangen, dass gutbekronte Buchen ein holztechnologisch besseres Holz liefern. Bei den Ergebnissen von Polge und Ferrand, die einen klaren Zusammenhang zwischen Kronendimension und Holzspannungen darlegen, ist aber zu beachten, dass nicht die Spannungen selbst entscheidend sind, sondern ihre Wirkung auf die Holzprodukte, d.h. auf die Bildung von Stammrissen oder auf das Aufreissen der Rundhölzer (übrigens vermuten die Autoren bzw. weisen nach, dass auch noch andere Faktoren wie Standort und Genetik an der Entstehung von Spannungen beteiligt sind). Lenz und Strässler (1979) zum Beispiel konnten in einer schweizerischen Studie über das Aufreissen von Buchenklötzen den positiven Einfluss der Kronengrösse nicht bestätigen. Zusätzlich ist zu beachten, dass allzu grosskronige Buchen den Wuchsraum schlecht ausnutzen. Das Ziel bei der Bestandespflege ist deshalb, einen Kompromiss zwischen einer guten Ausnutzung des Wuchsraumes und optimalen Voraussetzungen für die Ausbildung von guten Holzstruktureigenschaften zu finden. In den meisten Fällen bedeutet dies, einen Mittelweg zu beschreiten.

Unter Berücksichtigung aller Aspekte scheint starkes Buchenholz nicht so unvorteilhaft zu sein wie allgemein vermutet wird. Die Erzeugung starker Sortimente bringt zweifellos wirtschaftliche Vorteile. Allerdings ist es nicht angezeigt, Buchen in ähnliche Stammdimensionen wie Nadelbäume wachsen zu lassen, wobei der Hauptgrund die schlechte Ausnutzung des Wuchsräume ist. Folglich sollte der maximale Zieldurchmesser (BHD) auf 60 bis 70 cm begrenzt werden.

4.1.8 Folgerungen für die Plenterung mit Buchen

Trotz aller aufgeführten Vorbehalte scheint das Plentermodell bei der Holzproduktion interessante wirtschaftliche Vorteile zu besitzen. Aus waldbaulicher Sicht besteht das Hauptproblem darin, zwischen dem Wunsch nach kleinflächig unterschiedlichen Strukturen und den Erfordernissen einer baumartengerechten Bestandeserziehung einen guten Kompromiss zu finden – und zugleich für einen in jeder Hinsicht ausreichenden Nachwuchs zu sorgen. Die Lösung für dieses Problem ist nicht einfach. Sie kann darin bestehen, die Erziehung in Kleinkollektiven, die einer qualitativ guten Stammentwicklung förderlich ist, mit einem nicht allzu hohen maximalen Erntedurchmesser zu kombinieren.

4.2 DIE PLENTERUNG MIT LICHTBEDÜRFTIGEN LAUBBAUMARTEN: VOM MITTELWALD ZUM LICHTEN HOCHWALD

4.2.1 Der Mittelwald als Vorläufer der Plenterung mit lichtbedürftigen Laubbaumarten

In Wäldern aus wenig schattenertragenden Laubäumen, wozu die meisten Laubbaumarten gehören, schafft die Plenterung ähnliche Probleme wie in Buchenwäldern. Die Lösung dieser Probleme, erweist sich aber als noch schwieriger.

Die Plenterung in diesen Wäldern gründet auf einer Jahrhunderte alten waldbaulichen Tradition, der Mittelwaldbewirtschaftung. Der Mittelwald und die entsprechende ungleichförmige Hochwaldform, der sogenannte "lichte Hochwald", sind mit dem Plenterwald nicht absolut identisch – obwohl sie auf den ersten Blick sehr ähnlich aussehen. Gleichwohl ist es möglich, den Plenterwald anhand dieser beiden traditionellen Bewirtschaftungsformen, über die viele und langjährige Erfahrungen bestehen, zu erklären.

Unter dem Mittelwald (frz.: taillis sous futaie, Abb. 4.10) verstehen wir eine spezielle Form der Waldbewirtschaftung. Der Mittelwald ist sehr vielseitig, hinsichtlich sowohl der Walderneuerung als auch der erzeugten Produkte. Er enthält eigentlich zwei Komponenten: den Niederwald (die sog. Hauschicht) und den Hochwald (die sog. Oberhölzer). Aus diesem Grund war er im französischen Sprachraum früher auch als "zusammengesetzter Wald" (frz.: taillis composé) oder, wenn bevorzugt Oberständer erzeugt werden sollten, sogar als "Hochwald über Niederwald" oder "falscher Hochwald" (frz.: futaie sur taillis) bekannt (Mathey 1929). Die zwei Bestandteile sind zum einen die Oberschicht aus Bäumen jeglicher Alter, die aus Samen hervorgegangen sind. Sie werden als Kernwüchse bezeichnet und dienen der Produktion von Nutzholz. Der andere Bestandteil ist die Unterschicht aus vegetativ erneuerten Bäumen (i.d.R. über Stockausschlag). Diese als Hauschicht bezeichnete Niederwaldkomponente erzeugt schwach dimensionierte Holzsortimente, ursprünglich vor allem Brennholz.



Abb. 4.10: Der Mittelwald als Mischform von Hoch- und Niederwald.

[Zeichnung: A. Zaric]

Der Mittelwald als wichtigste Bewirtschaftungsform unserer Vorfahren ist seit dem 12. Jahrhundert dokumentiert (Huffel 1927, Hausrath 1928). Da die Erneuerung der Hauschicht von der Fähigkeit der Bäume abhängt, aus dem Stock oder aus Wurzeln neu auszutreiben, ist diese Bewirtschaftungsform charakteristisch für Laubbaumgebiete. Trotzdem spielten vor allem in der Ostschweiz Nadelbäume, insbesondere Föhren und Fichten, in der Oberschicht eine wichtige und teilweise sogar dominierende Rolle (Grossmann 1931).

Aus geschichtlicher Sicht müssen zwei Mittelwaldformen unterschieden werden: Die archaische, unregelmäßige Form ist das Resultat einer unkontrollierten Nutzung in Zeiten eines sehr hohen Holzbedarfs. Damals diente der Wald noch anderen, zusätzlichen Zwecken wie Grasnutzung oder Viehweide. Diese Form überwog bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Landwirtschaft sesshaft wurde und die Stallhaltung bzw. die Tierhaltung auf eingezäunten Weiden in weiten Teilen des Landes den Kartoffelanbau ermöglichten (gegen Mitte des 18. Jh.). Seither ist der Waldboden der Ressource Holz vorbehalten. Nicht zuletzt wegen der erklärten Absicht der Forstleute, die übernutzten Wälder wieder aufzubauen, ist diese geschichtlich jüngere Form des Mittelwaldes zu einer bis in alle Einzelheiten geregelten forstlichen Betriebsart mit dem Ziel einer optimalen Holzproduktion geworden.

Das heutige Aussehen der Wälder, die aus einer Mittelwaldbewirtschaftung hervorgegangen sind, täuscht oft. Dies gilt umso mehr, je länger die ursprüngliche, periodische Nutzung der Hauschicht eingestellt worden ist. Da in der Schweiz die letzten Mittelwaldnutzungen aus den Jahren 1920-1930 datieren, sind unsere Mittelwaldbestände, wie sie sich heute präsentieren, keine eigentlichen Mittelwälder mehr. Sie sind das Ergebnis einer langjährigen Vorratsanreicherung und Bestandesalterung und haben mit dem Aussehen von genutzten Mittelwäldern (Abb. 4.11) nur noch wenig Gemeinsamkeiten. Für Frankreich, wo die Mittelwaldnutzung noch lange Zeit betrieben wurde, trifft diese Aussage weniger zu. In bestimmten Regionen und in Wäldern, deren Eigentümer vor allem aus steuerlichen Gründen kein Interesse an einem höheren Holzvorrat haben, finden solche Nutzungen sogar heute noch statt.



Abb. 4.11: Waldstruktur nach Mittelwaldnutzung im Schweizer Mittelland

Photographie eines Waldes nach Mittelwaldnutzung, wie sie zu Beginn der 1920er Jahre im Schweizer Mittelland praktiziert wurde. Käppeliwald, Höngg/Zürich.

[Nach Grossmann 1931]

Insbesondere in Regionen, in denen seit langer Zeit keine Nutzungen mehr stattgefunden haben, wird daher oft vergessen, dass die Betriebsart Mittelwald mit sehr niedrigen Vorräten von $60\text{--}90\text{ m}^3/\text{ha}$ verbunden ist (Derbholz nach dem Hieb). Unter der Voraussetzung, dass der Zeitraum zwischen den Eingriffen 25 Jahre beträgt, entspricht dies einem Vorrat von $100\text{--}160\text{ m}^3/\text{ha}$ vor dem nächsten Hieb. Die Forststatistik des Kantons Thurgau zum Beispiel (Anonymus 1860) berichtet von durchschnittlichen Derbholzvorräten zwischen 30 und $45\text{ m}^3/\text{ha}$. Ein weiterer Hinweis stammt von Grossmann (1931), nach dem der mittlere Vorrat der 2.700 ha Mittelwälder im Kanton Zürich zu jener Zeit $137\text{ m}^3/\text{ha}$ betragen haben soll.

4.2.2 Das problematische Miteinander von Oberschicht und Hauschicht

Für die Theoretiker des Mittelwaldes ist der stehende Vorrat der Oberschicht eine Grösse für die Beurteilung, welche Bedeutung die Oberschicht im Verhältnis zur Hauschicht besitzt. Entsprechende Aussagen müssen aber kritisch betrachtet werden, da nicht immer klar definiert ist, ob es sich bei diesem Vorrat um das gesamte nutzbare Holz, um das Derbholz oder nur um das Stammholz handelt.

Von den zahlreichen Empfehlungen zur Vorratshöhe sei an dieser Stelle diejenige von Schaeffer (1951) genannt. Er definiert den Vorrat ausdrücklich als Derbholz und empfiehlt, nach einem Hieb nicht mehr als $60\text{--}90\text{ m}^3/\text{ha}$ (Vorrat der Oberschicht) zu belassen. Bei Vorratswerten jenseits dieser oberen Grenze, so der Autor, seien ein befriedigendes Wachstum der Hauschicht und die Erneuerung der Oberschicht nicht mehr gewährleistet. Diese Angabe entspricht einem Deckungsgrad von $0,30$, wobei diese Grösse sicherlich weniger fragwürdig ist als Angaben, die auf unbekanntem und zugleich unterschiedlichen Vorratsdefinitionen beruhen. Auch Perrin (1954), ein ausgewiesener Mittelwald-Fachmann, spricht sich für einen Deckungsgrad von $0,20$ bis $0,30$ nach dem Hieb aus. Unter der Annahme, dass die Baumkronen ihren Durchmesser zwischen zwei Eingriffen nahezu verdoppeln, entspricht dies einem Deckungsgrad von $0,35$ bis $0,50$ am Ende der Periode.

Die Stammzahldichte in der Oberschicht muss so gewählt werden, dass eine nachhaltige Erzeugung der gewünschten Sortimenten gewährleistet ist. Zu diesem Zweck müssen in ihre Berechnung der Zieldurchmesser, die eingriffsbedingten Verluste (Größenordnung nach

Perrin: Eiche: 50 %; Buche 2/3) und die Wachstumsgeschwindigkeit einfließen. Das Vorgehen besteht im Grundsatz darin, die Zahl der jungen Bäume (Lassreitler) zu bestimmen, die bei einem Mittelwaldhieb belassen werden müssen, um das dauernde Funktionieren des Systems zu gewährleisten. Genau diese Vorgehensweise wird auch im Plenterwald für die Berechnung der Stammzahl-Gleichgewichtskurve gewählt. Der einzige Unterschied besteht darin, dass im Plenterwald sich der Nachwuchs kontinuierlich einstellt, im Mittelwald dagegen wellenartig entsprechend des Hiebturnus von rund 25 bis 30 Jahren. Es erstaunt daher nicht, dass die von Gurnaude entwickelte Kontrollmethode direkt von seiner Sorge um die nachhaltige Bewirtschaftung des Mittelwaldes abgeleitet werden kann (Biolley 1897). Die Art und Weise, wie ein Wald erneuert und die nachhaltige Produktion gesichert wird, ist bei beiden Betriebsarten im Grundsatz dieselbe. Es muss jedoch betont werden, dass die früheren Regeln für die Zusammensetzung und insbesondere für die Dichte des Oberholzes nicht nur auf die Bedürfnisse der nachwachsenden Lassreitler abgestimmt waren. Das Interesse, in der Niederwaldkomponente eine mengenmäßig hohe Produktion an Brennholz aufrecht zu erhalten, hat in der Vergangenheit sicherlich überwogen.

Zwischen dem Mittelwald und dem sogenannten lichten Hochwald (frz.: "futaie claire", "futaie composée" oder "futaie d'âges multiples") bestehen auf den ersten Blick, zumindest was das Aussehen betrifft, nur geringe Unterschiede. Der Begriff des lichten Hochwaldes wird dazu verwendet, eine besondere Form des ungleichförmigen Hochwaldes zu charakterisieren. Sehr schön wird dies in einem Bericht (Anonymus 1909) über eine Exkursion des Forstvereins des Franche-Comté im Jahre 1909 in den Wald von Amance nahe Nancy beschrieben. Der lichte Hochwald, so der unbekannte Autor, kann mit einem Mittelwald verglichen werden, in dem der Unterwuchs auf ein Minimum reduziert wurde, welches nur noch den Nachwuchs für die Bäume der Oberschicht sichert. Weiter heisst es in der Beschreibung – und dies scheint eine essentielle Aussage zu sein –, dass häufige Hiebe eine unverzichtbare Voraussetzung dafür sind. Somit haben wir es mit nichts anderem als mit einem Plenterwald zu tun! Auch Schaeffer (1920) betont, dass der lichte Hochwald in der Summe nichts anderes ist als ein besonderer Fall in der langen Reihe der Plenterwaldtypen, in der auch der Mittelwald nur eine der vielen Formen ist.

Der Mittelwald war trotz der bewussten Auswahl und Schonung der Lassreitler in seinem Ursprung eine extensive Form der Waldnutzung. Allein die heilsame Wirkung der relativ langen Zeiträume zwischen den Hiebseingriffen von rund 25 bis 30 Jahren ermöglichte dem Wald, sich selbsttätig zu erneuern. Solange man sich damit begnügte, hauptsächlich Brennholz zu erzeugen, welches von der Hauschicht geliefert wurde, und alles akzeptierte, was im Wald wuchs (einschliesslich Weichholzarten und Sträucher wie Hartriegel oder Hasel), spielte die Art und Weise der Waldnutzung keine Rolle. Als im Laufe der Zeit das Interesse an einer höheren Menge an wertvollem Nutzholz (vor allem Eichen) stieg, genügte eine allein aus starken Haupteingriffen bestehende extensive Nutzung nicht mehr.

Bei der extensiven Nutzung wird die Verjüngung vor allem der Edellaubbäume, die für das Heranwachsen der späteren Lassreitler unverzichtbar ist, von den schnell wachsenden Stockausschlägen vollständig unterdrückt. Ohne rasche Eingriffe zur Freistellung der Ansamung, die nach de Lempis (1949) spätestens vier Jahre nach dem Haupteingriff erfolgen müssen, gelingt es nicht, eine genügende Anzahl an Lassreitlern heranzuziehen, um die Nachhaltigkeit des Nachwuchses zu sichern. Bei sehr starker Konkurrenz durch die Stockausschläge sind sogar Eingriffe zur Begünstigung der natürlichen Ansamung erforderlich.

Zahlreiche erfahrene und bekannte Praktiker sind davon überzeugt, dass eine natürliche Verjüngung im Mittelwald zwangsläufig misslingen muss. Ihre ernüchternde Feststellung ist grundsätzlicher Art und betrifft ganze Regionen wie das Haute Saône (Jolyet 1908), Lothringen (Hudault 1930) und das Saône-Tal (de Lempis 1949, 1951). Die Autoren vertreten die Meinung,

dass die natürlich verjüngten Edellaubbäume von den Stockausschlägen der Hauschicht vollständig unterdrückt werden. De Lemp (1951) zum Beispiel schätzt, dass aufgrund des Mangels an Kernwüchsen 90 % der ausgewählten Lassreiteln Stockausschläge sind. Er schliesst daraus, dass der Mittelwald im Grunde ein instabiles System ist, welches infolge der Alterung der Hochwaldkomponente unvermeidbar auf einen einfachen Niederwald aus Sekundärbaumarten zusteuert. Alle Bemühungen, die beiden grundsätzlich unterschiedlichen Formen der Bestandenerneuerung und damit zwei inkompatible Teile ohne häufige und kostspielige Eingriffe zusammenzuführen, haben bisher wenig Wirkung gezeigt. Lanier (1986) folgert daher, dass der Mittelwald sowohl in theoretischer als auch in praktischer Hinsicht einen Irrweg darstellt.

Es bleibt anzufügen, dass der Mittelwald im Vergleich zu einem Hochwald mit denselben Baumarten nur eine mässige Leistung erbringt. Triou und Vacherat (zit. in Dubourdiou 1991) schätzen die Wertleistung auf 37 % eines vergleichbaren Hochwaldes. Eine ähnliche Studie aus der Schweiz kommt zum Ergebnis, dass die Nettoerlöse eines gemischten Hochwaldes und eines mit wenigen Oberstämmern ausgestatteten Mittelwaldes im Verhältnis 7,2 zu 1 gegenüberstehen (Schmid 1989).

Der oben beschriebene Zusammenhang zwischen der Intensität der Waldpflege und der Baumartenzusammensetzung der Oberschicht erklärt auch, warum die Angaben von Grossmann (1931) für die Ostschweizer Mittelwälder hohe Nadelbaumanteile (vor allem Fichte und Föhre) belegen. Die schattenertragende Fichte kann nämlich, wie Surber (1950) gezeigt hat, die Konkurrenz eines oder sogar mehrerer Hauschicht-Zyklen ertragen, ohne ihr akrotones Wachstum zu verlieren. Diese Eigenschaft befähigt sie, schliesslich doch noch in die Oberschicht einzuwachsen.

4.2.3 Vom Mittelwald zum lichten Hochwald

Die Gratwanderung zwischen einem hohen Vorrat in der Oberschicht (auch als "Oberholz" bezeichnet) und einer ausreichenden Anzahl an Lassreiteln wurde mit dem wachsenden Interesse an der Erzeugung von hochwertigem Nutzholz immer schwieriger. Grundsätzlich bieten sich mehrere Möglichkeiten, das Dilemma zu beheben. Der am häufigsten vorgeschlagene und auch eingeschlagene Weg, zumindest in Deutschland und der Schweiz, war die Überführung in einen geschlossenen Hochwald. Dabei muss zwischen der Überführung auf der Grundlage des vorhandenen Bestandes und der Umwandlung, d.h. der Räumung mit nachfolgender Bestandenerneuerung durch Pflanzung, unterschieden werden. Ein anderer Weg baut auf der dem Mittelwald zugrundeliegenden Idee auf und versucht, die Voraussetzungen für den notwendigen Nachwuchs und eine gewisse Vorratsanhäufung in der Oberschicht in Einklang zu bringen. Zu diesem Zweck wird eine zumindest teilweise Trennung der Komponenten und eine Konzentration der Verjüngung auf Löcher in Gruppen- oder sogar Horstgrösse angestrebt. Perrin (1954), der dieser Lösung sehr zugeneigt war, betrachtete eine horstweise Erneuerung als sehr wirkungsvoll. Dies erlaube eine bessere Konzentration des Vorrates auf die übrigen Bestandesteile und insgesamt eine bessere Ausnutzung des Kronenraums. Der Autor schätzte, dass dadurch ein mittlerer Schlussgrad von rund 0,75 erreicht werden könne. Ähnliche Hinweise stammen von Schaeffer und Schaeffer (1951) sowie von in der Praxis tätigen Forstleuten aus Deutschland – aus Zeiten, in denen noch Mittelwaldwirtschaft betrieben wurde (Brecher 1886, Hamm 1900).

Eine andere Betrachtungsweise führt zum sogenannten lichten Hochwald, der im Grunde nichts anderes ist als ein ungleichförmiger Wald. Aber auch der Auffassung, es handle sich um einen Plenterwald aus Laubbäumen, steht eigentlich nichts entgegen. Für Schaeffer (1927) sind "lichter Hochwald" und "Plenterwald" sogar nahezu synonyme Begriffe. Der Verfasser selbst

zieht es vor, den Ausdruck "lichter Hochwald" für diejenige Bewirtschaftungsform zu reservieren, die dem Wald zu seinen besonderen Eigenschaften und zu seinem typischen, lichten Aussehen verhilft. Auf diesen Umstand weisen auch Schaeffer und Schaeffer (1951) hin. Beim ungleichförmigen Hochwald aus Edellaubbäumen, so die Autoren, mache man zwischen dem lichten Hochwald und dem Plenterwald meist keinen Unterschied. Dies setze aber voraus, dass das Kronendach niemals unterbrochen werde.

Der lichte Hochwald ist sicherlich eine der Stationen auf der Suche nach dem idealen Wald, der sich selbst erhält und verjüngt. Die Idee dazu wird Gurnaude zugeschrieben, vermutlich um das Jahr 1870 (Schaeffer 1947). Im Jahre 1885 wird der lichte Hochwald zum Versuchsobjekt (Claudot 1894). Auf Veranlassung von Puton, damals Direktor der Forstschule Nancy (Huffel 1927), wird auf einer Mittelwaldparzelle im Staatswald Champenoux, im Wald von Amance (heute: Brin) eine Versuchsfläche angelegt. Der Versuch wird von der Forstschule betreut und läuft unter der Bezeichnung "Kontrollreihe" (série du contrôle). Gurnaude selbst wurde mit der Einrichtung beauftragt, die er 1886 durchführte. Die Absicht war, durch häufige Eingriffe zunächst die Stockausschläge einzudämmen und anschliessend die natürliche Verjüngung zu fördern. Das Aushauen der Stockausschläge brachte nicht den erhofften Erfolg, weil Brombeeren bald alles überwucherten (Anonymus 1909). Gurnaude selbst vereinbarte, dass der Zeitraum zwischen den Pflegeeingriffen verlängert wurde; auf Anweisung von Huffel (1927) wurden sie später ganz eingestellt. Im Jahre 1907 wurde die Fläche auf 200 ha ausgedehnt und ging in einem Versuch zum lichten Hochwald auf (Huffel 1909). Leider verlief im Ersten Weltkrieg die Frontlinie quer durch die Fläche, wodurch die Bestände – und damit auch der Versuch – fast völlig vernichtet wurden.

Das Hauptproblem bei der Plenterung mit lichtbedürftigen Laubbaumarten ist ein ähnliches wie bei der oben beschriebenen Verjüngung im Mittelwald. Das Vorgehen bei der Verjüngung wird kontrovers diskutiert. Da sind zunächst solche, die eine Verjüngung ohne Unterbruch des Kronendachs als zwecklos ansehen. Das Kronendach muss nach ihrer Meinung weit geöffnet und zu diesem Zweck der Vorrat stark abgesenkt werden. Zuwachsverluste sind daher unvermeidlich, wobei die Einbussen hinsichtlich der Stammqualität (Starkäste, Wasserreiser, Sonnenbrand) noch nicht eingerechnet sind. Diese Position vertritt auch Schaeffer (1951). Er ist der Meinung, dass es mit der Eiche noch aussichtsloser ist als mit der Buche, eine einzelstammweise, ungleichaltrige Mischung erreichen zu wollen. Schaeffer (1927) schätzt, dass bei der Eiche die kritische Bestandesdichte bei einer Grundfläche von 13,5 m² bzw. bei einem Derbholtzvorrat von rund 180 bis 200 m³ liegt. Er schlägt daher ein horstweises Vorgehen vor. Auch Perrin (1954) verweist auf die Schwierigkeiten bei der Verjüngung, die den Hauptgrund für Misserfolge darstellen. Er vertritt die Auffassung, dass eine Plenterung nur auf relativ schlechten Standorten und auch dort nur mit der Traubeneiche in Frage komme, die etwas mehr Schatten ertrage als die Stieleiche.

Eine weitere Schwierigkeit ergibt sich aus der unterschiedlichen Häufigkeit und Stärke der Fruktifikation. Perrin beobachtete im Wald von Amance, dass bei den dort vorhandenen Strukturen eine brauchbare Verjüngung sich nur dann einstellte, wenn zuvor eine Vollmast gewesen war und anschliessend eine starke Freistellung erfolgte. Eine horstweise Bestandenserziehung erschien ihm daher wirkungsvoller zu sein. Bei Berücksichtigung aller Umstände wäre es nach der Auffassung von Perrin unklug, den lichten Hochwald zum allgemein gültigen Ziel bei der Bewirtschaftung von Eichenwäldern zu erklären. Die notwendigerweise häufigen Eingriffe in die Unterschicht, so der Autor, führen zu mehr Weichhölzern und zu mehr Totholz auf dem Boden, was die nachfolgende Bewirtschaftung wesentlich erschwere.

Es gibt nur ganz wenige Beispiele für eine beabsichtigte einzelstammweise Plenterung mit lichtbedürftigen Edellaubbäumen, die sich über einen ausreichend langen Zeitraum erstrecken,

um auch die Nachhaltigkeit beurteilen zu können. Zwar stellt der Mangel an solchen Beispielen keinen absoluten Beweis für die Unmöglichkeit des Tuns dar, aber er weist darauf hin, dass offensichtlich hohe Hindernisse oder zumindest Schwierigkeiten bestehen, die angestrebte Ungleichförmigkeit zu erreichen. Eines der wenigen auch mit Zahlen dokumentierten Beispiele ist ein Versuch aus Jütland in Dänemark (Sabroe 1959). Es handelt sich um zwei Plenterwaldflächen mit Esche und Bergahorn, die aus Naturverjüngung hervorgegangen und durch starken Wildverbiss beeinflusst sind. Der Vorrat beträgt rund 170 bis 180 m³/ha.

Das in dieser Hinsicht wohl bemerkenswerteste Beispiel dürfte sich auf der Südseite des Schweizer Juras im Kanton Neuenburg befinden. Die dortigen Hangfusswälder in mittlerer Höhenlage sind das Ergebnis von langjährigen Bemühungen um Plenterstrukturen. In diesen Gebieten ist die Plenterung zu Beginn des 20. Jahrhunderts im Zuge der Begeisterung für die Ideen Biolleys in den Rang einer allgemein gültigen waldbaulichen Lehrmeinung erhoben worden. Aus Überzeugung und mit einer ungewöhnlichen Strenge und Beharrlichkeit ist sie seither flächendeckend praktiziert worden – und das nicht nur in den montanen Tannen- und Buchenwäldern, sondern auch in den Laubmischwald-Gesellschaften. Die Anstrengungen um die Plenterstruktur sind während vieler Jahrzehnte fortgesetzt worden. Ein Ergebnis ist, dass selbst der glühende Verfechter der Plentergrundsätze und brillante Waldbaupraktiker Jaëmes Peter-Comtesse gezwungen war, nach 36 Jahren aktiver waldbaulicher Tätigkeit die Ausweglosigkeit der einzelstammweisen Bewirtschaftung von Lichtbaumarten einzugestehen (Peter-Comtesse 1953, 1972). Die heutigen Bewirtschafter dieser Wälder haben zwar weiterhin die Absicht, möglichst vielfältige Bestände zu schaffen, sie schlagen zu diesem Zweck aber wissentlich den Weg über eine Bewirtschaftung in Form von kleinflächigen Femelschlägen ein – womit sie sich in Gesellschaft der besten Fachleute auf dem Gebiet des Waldbaus wie Perrin, A. Schaeffer oder L. Schaeffer befinden.

Dem Verfasser ist trotz sorgfältigster Suche kein lichter Hochwald bekannt, der hinsichtlich der Dauerhaftigkeit der Strukturen befriedigen könnte. Die Versuche in den Abteilungen 13.2 und 14 des Lehr- und Forschungswaldes der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich haben gezeigt, dass bei den Bemühungen um eine stammzahlmässig und vor allem auch qualitätsmässig befriedigende Verjüngung zwei Probleme im Vordergrund stehen: Zunächst handelt es sich um das richtige Verhältnis zwischen dem stehendem Vorrat und dem Nachwuchs von Bergahorn, Esche und anderen Laubbaumarten. Eine Ansamung lässt sich in der Regel leicht erzielen, da diese Baumarten in der frühen Jugend eine gewisse Beschattung gut ertragen. Das Problem besteht darin, die Jungwüchse bis zur Stangenholzstufe vital zu erhalten und ihnen anschliessend zu ermöglichen, in höhere Bestandesschichten einzuwachsen.

Die einzigen überzeugenden Beispiele für eine (noch) funktionierende Plenterung auf eutrophen oder sogar mesotrophen Laubwaldstandorten sind Bestände, in denen beigemischte Nadelbäume zur Strukturdifferenzierung beitragen. Mit Hilfe eines Fichtenanteils von 30 bis 50 %, der für die Bildung eines einzelbaumweisen und gewissermassen eigenständigen Gerüsts ausreicht, lässt sich, solange der Vorrat auf einem relativ niedrigen Niveau bleibt, eine ungleichförmige Struktur dauerhaft erhalten.

4.3 PLENTERWÄLDER IM HOCHGEBIRGE

4.3.1 Subalpine Fichtenwälder

Zu Beginn dieses Skriptes wurde bereits darauf hingewiesen, dass laut dem schweizerischen Landesforstinventar (LFI) sich ungefähr ein Viertel der Plenterwälder in der subalpinen Höhenstufe befindet, d.h. über 1.450 m ü.M. Diese Angabe mag erstaunen, zumal wenn man weiss, dass es in diesen Gebieten im allgemeinen weder regelmässige Eingriffe noch eine Plentertradition gibt.

Korpel (1982b, 1995) konnte aufgrund seiner Untersuchungen über die Merkmale der subalpinen Fichtenurwälder im slowakischen Teil der Hohen Tatra zeigen, dass zwischen den montanen und den subalpinen Fichtenurwäldern beachtliche Strukturunterschiede bestehen. Während die montanen Urwälder geschlossen, dicht und sehr homogen aufgebaut sind, sind die subalpinen Urwälder unregelmässig strukturiert und licht (Abb. 4.12). Die Grenze zwischen diesen beiden Plenterwaldausbildungen zieht der Autor bei 1.400 m ü.M.



Abb. 4.12: Profilstreifen eines subalpinen Fichten-Urwaldes im Wald von Nefcerka, Hohe Tatra.

Höhenlage 1500-1550 m ü.M., Anfangsphase des Stadiums des Heranwachsens.

[Nach Korpel (1995)]

Die Ursachen für diese besondere Struktur in der subalpinen Stufe und in der Kampfzone des Waldes (wo der Wald aufgrund rauher klimatischer Bedingungen um sein Überleben kämpft) sind das rauhe Klima und Naturereignisse (z.B. Schneebruch, Eis, Frostrocknis), die dazu führen, dass das Kronendach immer wieder unterbrochen wird. Zugleich begünstigen sie eine Baumverteilung in Form von kleinen dichten Baumkollektiven, die bessere Überlebenschancen haben. Diese Kollektive werden von Kuoch und Amiet (1970) als „**Rotten**“ bezeichnet. Sie bilden selbständige Lebensgemeinschaften, bei denen die Mitglieder einen gemeinsamen Kronenmantel ausbilden und sich so gegenseitig vor den Witterungseinflüssen wie Schnee, Frost und Wind schützen. (siehe Abb. 4.13)

Bei der schweizerischen Landesforstinventur wurde festgestellt, dass nur ungefähr ein Viertel der subalpinen Fichtenwälder die oben beschriebene Struktur aufweist. Nach Zeller (1993) entspricht der Durchmesser dieser natürlichen Baumkollektive normalerweise der halben bis ganzen Höhe eines ausgewachsenen Baumes. Dabei variieren die Formen der Kollektive je

nach ihrer Entstehung (Abb. 4.13). Tatsache ist, dass nicht alle subalpinen Fichtenwälder aus diesen kleinflächigen Kollektiven aufgebaut sind.

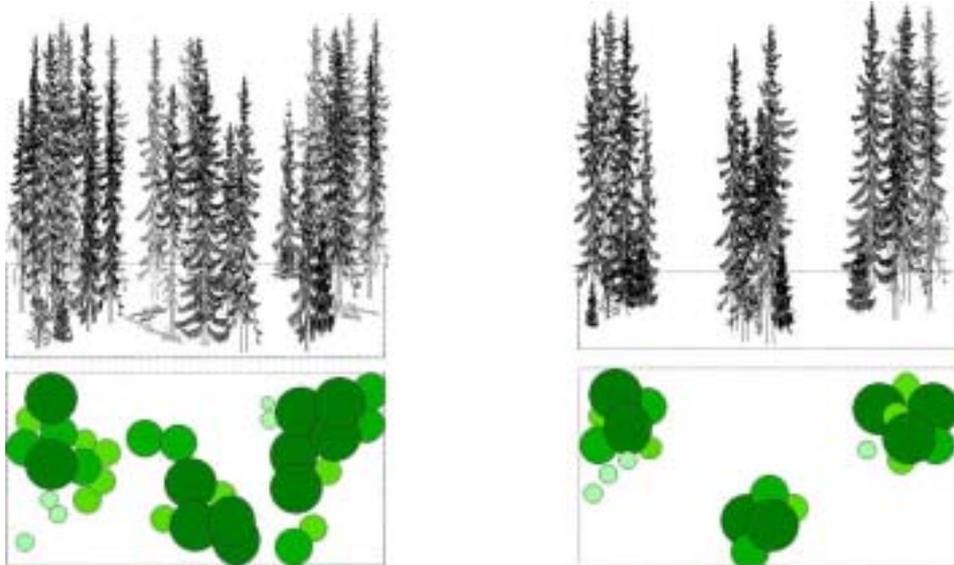
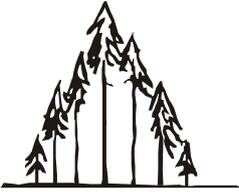


Abb. 4.13: Typen der Rottenstrukturierung in subalpinen Fichtenwäldern.
Nach Bebi (2000)

Die Schaffung solcher Baumkollektive in der subalpinen Stufe hat natürliche Vorbilder. Bei diesen ist der enge Zusammenschluss von Bäumchen nicht auf die Phase der Verjüngung beschränkt, sondern der gegenseitige Schutz des Kollektivs ist während der ganzen Entwicklung wirksam. Die Ausbildung eines gemeinsamen, möglichst tief angesetzten, dichten Kronenmantels ist vermutlich sogar eine der Bedingungen für das Überleben. Die einzelnen Baumkollektive sind räumlich getrennt und voneinander unabhängig, was dem Wald eine ausgesprochen ungleichförmige Struktur verleiht. Es erscheint daher gerechtfertigt, für die Charakterisierung dieses Waldtyps den Begriff 'Gebirgsplenterwald' zu verwenden: Er ist von selbst entstanden, er besitzt eine ausgeprägte Fähigkeit, sich selbst zu erneuern, und er verfügt vor allem über eine hohe Stabilität.

Der Unterschied zu einem Plenterwald der montanen Stufe ist neben dem dichten Zusammenschluss der Bäumchen vor allem ein funktionaler. Die subalpinen Wälder sollen vor allem Stabilitätsanforderungen genügen. Aus diesem Grund ist nicht die ideale oder nachhaltige Stammzahlverteilung nach Durchmesserstufen entscheidend, sondern die dauernde Stabilität. Deshalb sind die waldbaulichen Eingriffe vor allem darauf ausgerichtet, stabile Kollektive zu formen, ohne die Kronenmäntel aufzureissen, eine gute räumliche Verteilung und genügende Abstände zu gewährleisten und die innere Verfassung der Baumkollektive zu verbessern (Zeller 1993). Fragen des Nachwuchses oder des Vorrates werden angesichts der speziellen Anforderungen im Gebirgswald zweitrangig oder sogar belanglos.

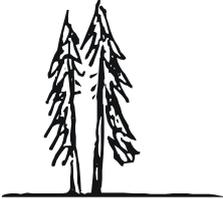
1. Klassische Rottenform (stufig, kegelförmig)



2. Rotte mit Mantel und Kern



3. Rotte ohne Kern



4. Rotte ohne Mantel

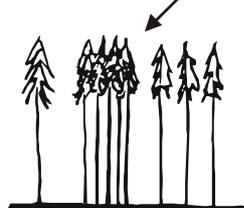


Abb. 4.14: Unterschiedliche Rottenformen im subalpinen Wald

[Nach Zeller (1993)]

4.3.2 Die Lärchen-Arvenwälder

Auch die Lärchen-Arvenwälder (Arve oder Zirbe, *Pinus cembra*) in den Tälern der trockenkontinentalen Zentralalpen, denen bei genügend Feuchtigkeit Fichten beigemischt sind, können plenterartig bewirtschaftet werden. Es handelt sich jedoch um keine dauernde Form der Plenterung, sondern eher um eine Sukzessionsphase. Unter dem von Natur aus lichten Schirm der Lärchen stellen sich die schattenertragenden Baumarten Arve und Fichte ein und mischen sich allmählich unter die herrschenden Lärchen. Die Entwicklung endete natürlicherweise in einem arvenreichen Wald. Es ist jedoch möglich, solche Bestände – zumindest während einer gewissen Zeit – in Form eines mehr oder weniger herkömmlichen Plenterwaldes zu bewirtschaften. Da sich der Nachwuchs überwiegend nur aus den beiden schattenertragenden Baumarten zusammensetzt – die Lärche dürfte unter den geschilderten Voraussetzungen keine Möglichkeit mehr finden, sich in ausreichendem Masse zu verjüngen –, wird sich die Baumartenzusammensetzung ändern.

Die Eidgenössische Forschungsanstalt WSL verfügt im Gebiet von St. Moritz (Engadin) über zwei Plenterversuchsflächen (Gian d'Alva). Die Auswertungen dieser Flächen zeigen, dass ein nachhaltiger Nachwuchs bei einem Gleichgewichtsvorrat von rund 220 m³/ha gewährleistet sein dürfte.

5. DIE ÜBERFÜHRUNG IN PLENTERWALD

5.1 PROBLEME BEI DER ÜBERFÜHRUNG

Die Überführung ist zweifellos die schwierigste und heikelste Phase auf dem Weg zum Plenterwald. Sie verlangt vom Bewirtschafter Entschlossenheit, mutige Entscheidungen und konsequentes Handeln. Diese hohen Ansprüche erklären, warum in unseren Gebieten Plenter- und Plenterüberführungswälder trotz ihrer beachtlichen Vorteile nur geringe Flächenanteile besitzen. Die Überführung von Wäldern, die sich durch eine noch sehr regelmässige Struktur auszeichnen, stösst auf folgende Probleme:

- Das System der Selbstregulierung im Plenterwald beginnt erst nach einem langen Zeitraum anzulaufen. Ob das System schliesslich funktioniert, hängt in erster Linie davon ab, ob eine bestimmte, demographisch nachhaltige Menge an Nachwuchs vorhanden ist. Bei der auf die Unterschicht wirkenden Beschattung braucht es sehr viel Zeit, bis sich eine Verjüngung einstellt und aufwächst. In gleichförmigen Beständen, insbesondere wenn sie nur aus einer Baumart bestehen, kommt eine Verjüngung, zumindest in der Anfangsphase der Überführung, nur unter Schwierigkeiten und daher nur sehr spärlich an. Es bestehen diesbezüglich offensichtliche Unterschiede zwischen Fichte und Tanne. Letztere, wie die Beobachtungen von Nagel (1950) zeigen, verjüngt sich ohne zu grosse Probleme unter sich selbst, im Gegensatz zu der Fichte.
- Bäume, die im und für den gleichförmigen Hochwald erzogen wurden, zeigen ein entsprechendes Wachstumsverhalten. Sie altern sehr rasch, was unter anderem auf die schlechte Kronenausbildung zurückzuführen ist. Um aber die Überführung zu ermöglichen bzw. um das System der Selbstregulierung in Gang zu bringen, muss eine bestimmte Anzahl an Bäumen möglichst lange erhalten werden. Dazu gehören zumindest diejenigen Bäume, welche die zukünftige Oberschicht bilden sollen. Eine Überführung läuft daher immer Gefahr, durch das vorzeitige Absterben dieser Bäume zu scheitern. Die folgenden Kapitel zeigen, wie diese Gefahr einzuschätzen ist und wie sie verringert werden kann.
- Nach der zunächst zögerlichen Entwicklung in der Anwuchsphase tendiert eine Verjüngung, insbesondere wenn sie durch zu regelmässige Öffnungen im Kronendach gefördert wird, zu einer schubweisen Entwicklung und zu flächigem Vorkommen. Dies führt meist zur unerwünschten Bildung einer gleichförmigen Unterschicht, welche der beabsichtigten Differenzierung entgegenwirkt.

5.2 KENNZEICHEN DER ÜBERFÜHRUNG

5.2.1 Kontinuität des Nachwuchses

Zwischen dem ideal strukturierten Plenterwald im Gleichgewicht und dem gleichförmigen, einschichtigen Hochwald gibt es zahlreiche Zwischenformen, die über eine mehr oder weniger stark differenzierte Struktur verfügen. Je nach dem Grad der strukturellen Differenzierung im konkreten Bestand werden sehr unterschiedliche Überführungstechniken angewendet. Mit dem

Begriff **Plenterdurchforstung** oder **Strukturdurchforstung** (frz.: "éclaircie jardinatoire" oder "éclaircie de différenciation") werden Eingriffe bezeichnet, die einen ungenügend stufigen oder von der Plenterstruktur noch weit entfernten Bestand in Richtung des Plentergleichgewichts lenken sollen. Die Plenterdurchforstung unterscheidet sich also von der Plenterung durch den Grad der strukturellen Differenzierung im betreffenden Bestand. Wenn ein Bestand bereits so ungleichförmig ist, dass die Selbstregulierung einigermaßen funktioniert, werden die Eingriffe als Plenterung bezeichnet. Bei fehlender Selbstregulierung, z.B. weil ein dauernder Nachwuchs nicht gewährleistet ist, kommt die Überführung bzw. eine ihrer Formen zur Anwendung.

Die Abgrenzung von zwei Beständen, von denen der eine aufgrund seiner relativen Nähe zum Ideal bereits als Plenterwald bezeichnet werden kann, der andere aber noch lenkender Eingriff bedarf, erfolgt anhand des Kriteriums der dauernden Verjüngung. Die Analyse auf der strategischen Ebene verwendet als Richtschnur die ideale Stammzahlabnahmekurve, d.h. die Kurve eines Plenterwaldes im Gleichgewicht, weil ihr die Gleichgewichtsbedingungen zugrunde liegen. Insbesondere wichtig sind hier die Stammzahlen der ersten Durchmesserstufen, welche den Nachwuchs darstellen. Ausgehend von der Gleichgewichtskurve kann eine untere Grenze festgelegt werden, bei deren Unterschreitung die langfristige Erhaltung der Plenterstruktur nicht mehr gewährleistet ist. Ihre Berechnung erfolgt insbesondere für die unteren Durchmesserstufen auf die gleiche Art und Weise wie die Gleichgewichtskurve (Abb. 2.9). Der einzige Unterschied besteht darin, dass als Nutzungsrate nur die natürliche Mortalität eingesetzt wird. Die so ermittelte untere Grenzlinie beschreibt die Mindeststammzahl, die für die Aufrechterhaltung der Selbstregulierung und damit für die Erhaltung der Plenterstruktur erforderlich ist. Die Kurve erlaubt somit eine eindeutige und objektive Unterscheidung zwischen Überführungsbeständen und plenterartigen Beständen.

Überführungsbestände zeichnen sich durch einen mehr oder weniger ausgeprägten Mangel an Bäumen bestimmter Durchmesserstufen aus. Diese Lücken müssen aufgefüllt werden, ohne die gewünschte räumliche Strukturdifferenzierung aus den Augen zu verlieren. Im Grunde genommen geht es um eine Beschleunigung des Nachrückens aus den unteren Durchmesserstufen durch die Förderung des Nachwuchses und vor allem der bestehenden Verjüngungsansätze bzw. allen bestehenden brauchbaren Stangen, auch wenn sie sehr zerstreut vorhanden sind. Diese Aussage macht deutlich, dass während der fortgeschrittenen Überführung mit Vorräten gearbeitet werden muss, die wesentlich niedriger sind als der entsprechende Gleichgewichtsvorrat. Eine allzu gleichmäßige Auflichtung des Kronendachs, die einen der beabsichtigten Strukturdifferenzierung entgegenwirkenden Verjüngungsschub auslösen würde, sollte aber in jedem Fall vermieden werden. Günstiger sind punktuelle Eingriffe, d.h. in kleinen Lichtschächten. Eine solche Vorgehensweise ist übrigens auch bei fehlender Verjüngung angezeigt. Es kommt hinzu, dass gerade in der Phase der Einleitung der Verjüngung die Entwicklung nicht durch eine zu rasche Öffnung des Kronendachs gestört werden sollte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Bewirtschaftung solcher Bestände sehr viel Geduld erfordert, was angesichts ihrer gleichförmigen Struktur waldbaulich äusserst schwierig ist. Nichts besser als das Wortgebilde "Eile mit Weile" widerspiegelt das hier geltende Vorgehen. Wer zu rasch vorgehen oder gar Phasen überspringen möchte, läuft Gefahr, alles zu verlieren! De Coulon (1962) hat die Vorratsentwicklung in der Überführungsphase sehr treffend beschrieben: Die zunächst noch ansteigende Form der Vorratskurve geht später in eine abfallende Form über und nähert sich schliesslich pendelnd dem Gleichgewichtsvorrat (Abb. 5.1).

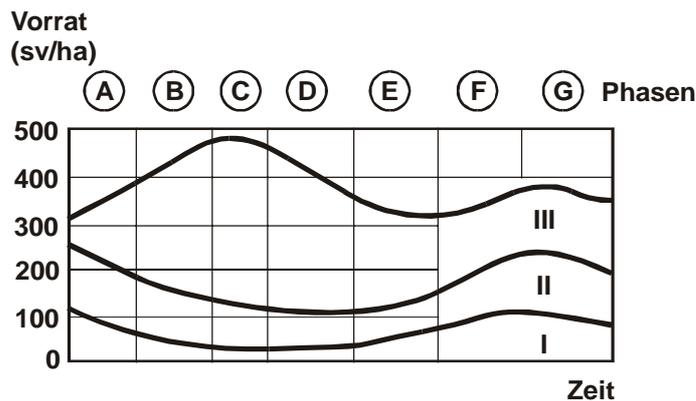


Abb. 5.1: Vorratsentwicklung während der Überführung in Plenterwald

[Nach de Coulon (1962)]

Datengrundlage: Waldgebiet Grande Joux, Stadtwald Neuchâtel bei La Chau-du-milieu, Neuenburger Jura, Schweiz.

Phasen: A: Einleitung der Überführung und Strukturierung;	I	Schwachholz (BHD 20-30 cm)
B: Vorratsaufbau;		
C: Gleichgewicht;		
D: Vorratsabbau;	II	Mittelholz (BHD 35-50 cm)
E: Erneuerung;		
F: Strukturausformung und Auslese;		
G: Förderung der Stufigkeit und Anpassung an den Gleichgewichtszustand	III	Starkholz (BHD > 55 cm)

5.2.2 Erhaltung des Kronenschirms

Eine Überführung gestaltet sich umso schwieriger, je weniger strukturiert der zu überführende Bestand ist und je weniger Verjüngung vorhanden ist. Eine zusätzliche Schwierigkeit besteht darin, dass während des gesamten Überführungszeitraums eine bestimmte Zahl an Bäumen erforderlich ist, um eine dauerhafte und für die gewünschte differenzierte Entwicklung des Nachwuchses ausreichende Überschirmung zu gewährleisten. Dieser Schirm aus Baumkronen muss solange erhalten bleiben, bis die ersten Bäume der neuen Generation in die Oberschicht einwachsen und dort die Aufgaben ihrer Vorgänger übernehmen. Je grösser der Durchmesserunterschied zwischen aufsteigender Folgegeneration und bestehender Oberschicht ist, desto länger wird die Überführungsphase dauern und desto länger müssen die den Schirm bildenden Bäume erhalten bleiben. Damit ist das grösste Risiko und zugleich der häufigste Grund für einen Misserfolg bei der Überführung in Plenterwald angesprochen: Im Zuge der Auflösung der ungenügend reaktionsfähigen Reste des Ausgangsbestandes stellt sich eine flächige Folgegeneration ein, die sich aufgrund der fortschreitenden, altersbedingten Auflösung des Kronenschirms zu gleichförmig entwickelt. Die Versuche, die Verjüngung zu differenzieren, scheitern.

Nur Bäume mit gut entwickelter Krone (mehr als ein Drittel der Baumhöhe) und mit einem hohen Entwicklungspotential, also stadial junge Bäume, erfüllen die Voraussetzungen, die für den Erfolg der Überführung unabdingbar sind. Wir nennen die schirmbildenden Elemente Deckungsträger. Bäume, die im gleichförmigen Hochwald aufgewachsen sind, bringen solche Voraussetzungen leider nicht immer mit, wenn sie nicht frühzeitig auf ihre spätere Aufgabe vorbereitet wurden. Diese Vorbereitung geschieht durch frühe Kronenpflege. Wenn aber eine geringe Stabilität im Bestand diese kronenausformenden Eingriffe nicht zulässt, muss durch entsprechende Eingriffe zunächst die Stabilität erhöht werden.

Biolley (1897) erkannte schon früh, dass für die Sicherstellung der Überführung eine Auslese nach anderen Kriterien als in der klassischen Plenterung notwendig ist. Zu diesem Zweck

formulierte er das Kriterium "Fähigkeit zur langen Baumkarriere". Anderenfalls, so der Autor, müsse in der Folgegeneration wesentlich drastischer vorgegangen werden.

5.2.3 Hierarchie der Voraussetzungen für die Überführung

Die waldbaulichen Eingriffe im Rahmen der Überführung werden weitgehend vom Grad der strukturellen Differenzierung im betreffenden Überführungsbestand vorgegeben. Ob ein bestimmter Eingriff, der zugleich für eine bestimmte Phase der Überführung steht, vorgenommen werden kann, hängt davon ab, ob die hierarchisch höher stehende Voraussetzung erfüllt ist. Die Voraussetzungen lassen sich nach ihrer Priorität folgendermassen reihen:

1. mechanische Stabilität des Hauptbestandes,
2. hohe Lebenserwartung (Entwicklungspotential) der Bäume, die während des gesamten Überführungszeitraums die Oberschicht bilden sollen (Deckungsträger),
3. gestaffelte Verjüngung, welche die Selbstregulierung sicherstellt,
4. Annäherung an die ideale Plenterstruktur.

Wenn die erste Voraussetzung einigermassen erfüllt ist, kann sich die Tätigkeit auf die in der Priorität nachfolgende Voraussetzung konzentrieren. Beispielsweise sollte in einem noch gleichförmigen und sehr dichten Bestand mit Hilfe von geeigneten waldbaulichen Massnahmen (Stabilitätsdurchforstung oder stabilitätsfördernde Auslesedurchforstung) zunächst die mechanische Stabilität sichergestellt werden. Der Unterschied liegt darin, dass im ersten Fall nur die minimal notwendigen **Deckungsträger der Überführung**, d.h. 40 bis 60 Bäume pro ha gefördert werden, im anderen Fall (Auslesedurchforstung) die flächendeckende Endstammzahl, d.h. bei Fichte 250 /ha. Die Anzahl der zu fördernden Bäume hat natürlich grosse Konsequenzen bezüglich des Risikos der Destabilisierung. Gemessen an der Auflösung des Kronenschirmes wird das Risiko im ersten Fall fünf mal geringer als im zweiten, umsomehr als die 40 bis 60 Deckungsträger aus dem Kollektiv der Bestherrscher ohnehin eine angeborene Tendenz haben, sich ohne grosse pflegerische Hilfe in der Hauptschicht zu behaupten und somit eine ohnehin günstige individuelle Stabilität aufweisen.

Ein völlig anderer Fall liegt in einem Bestand vor, der bereits ungleichförmig und mit ausreichend Verjüngung ausgestattet ist. Hier wird sich die Überführung hauptsächlich mit der Verbesserung der Struktur befassen.

5.3 MASSNAHMEN VOR BEGINN DER ÜBERFÜHRUNG

5.3.1 Massnahmen mit allgemeiner Wirkung

Vor der eigentlichen Überführung steht eine Reihe von Massnahmen, welche das spätere Vorhaben wesentlich erleichtern oder sogar erst ermöglichen. Dazu gehören alle Massnahmen, welche die natürliche Differenzierung und die natürliche Verjüngung begünstigen. Die Verjüngung ist ganz offensichtlich einer der ausschlaggebenden Faktoren im Hinblick auf den Erfolg einer Überführung. Gaspersic (1974) konnte am Beispiel der dinarischen Buchen-Tannenwälder zeigen, dass in gemischten Beständen sich eine natürliche Verjüngung sehr viel leichter als in Reinbeständen einstellt. In zahlreichen Gebieten in der montanen Höhenstufe der Schweiz wurden im 19. Jahrhundert die Schattenbaumarten Tanne und Buche durch die

Nutzung in Form von Kahlschlägen stark dezimiert und teilweise sogar nahezu ausgerottet. Die Förderung oder auch die künstliche Wiedereinbringung dieser Baumarten sind somit Massnahmen, die zwar nicht absolut unabdingbar sind, die aber – lange vor der eigentlichen Überführung – erste wichtige Schritte darstellen. Wo zu hohe Wilddichten jeden Überführungsversuch scheitern lassen, gehören auch Massnahmen zur Kontrolle der Wildbestände in diesen Zusammenhang.

5.3.2 Spezielle Massnahmen in gepflanzten Beständen

Für die Überführung ursprünglich gleichförmiger Wälder sind meist starke Eingriffe in das Bestandesgefüge notwendig. Gleichwohl ist es unnötig und unwirtschaftlich, übertrieben stark einzugreifen, um das Ankommen der Verjüngung und ihr Aufwachsen zu ermöglichen. Im Zusammenhang mit der Frage, zu welchem Zeitpunkt begonnen werden sollte, der Gleichförmigkeit entgegen zu arbeiten bzw. den Kronenschluss zu unterbrechen, wies schon Biolley (1897) darauf hin, dass alte, gleichförmige Bestockungen sich einer Überführung völlig widersetzen können. Favre (1956), Nachfolger von Biolley als Forstmeister von Couvet, ist sogar der Meinung, dass in der Praxis Überführungen nur dann einen Erfolg versprechen, wenn sie in der ersten Hälfte der möglichen Lebensdauer des betreffenden Bestandes begonnen werden. Bernasconi (1984) bestätigt diese Aussage am Beispiel der Wälder von Couvet.

Der vorangehende Absatz gilt für Bestände, die flächendeckend und mit nur einer Baumart begründet wurden. Wird die Pflanzung von Beginn an so gestaltet, dass sie eine Selbstdifferenzierung begünstigt, z.B. durch Beimischung von Treibholzarten, durch geeignete Mischungsformen und -anteile oder durch strukturierend wirkende Pflanzmuster, kann das Vorgehen bei der Überführung anders aussehen.

Bei Aufforstungen stellt sich also die Frage, nach welchem Muster oder Pflanzverband vorzugehen ist, damit der heranwachsende Bestand für die spätere Schaffung von ungleichförmigen Strukturen günstige Ausgangsbedingungen aufweist. Hierzu gibt die Aufforstung "La Joux-Pélichet" bei Le Locle im Neuenburger Jura interessante Einblicke. Die 44 ha grosse Fläche befindet sich auf einer Hochebene aus Kalkgestein (Höhenlage 1.020 bis 1.040 m) und wurde zwischen 1898 und 1906 mit mehr als 15 Baumarten aufgeforstet. Folgende Aufforstungsvarianten kamen zur Anwendung:

- flächige Aufforstung
- Mischung aus Fichte und verschiedenen Laub- und Nadelbäumen in schachbrettartiger Anordnung (Feldgrösse 1 ar),
- Mischung mit Esche und Bergahorn als treibende Baumarten.

Da im Kanton Neuenburg und insbesondere in den dortigen Berggebieten schon damals eine konsequent plenterfreundliche Einstellung herrschte, wurde die Aufforstung von Anfang an mit dem Ziel "Plenterwald" gepflegt. Bereits ab der Dickungs- und Stangenholzstufe arbeitete die Pflege auf eine Differenzierung der Bestockung hin. Zusätzlich liessen klimatische Umstände praktisch alle Baumarten ausser Fichte, Esche, Bergahorn und vereinzelt Douglasien eingehen, sodass z.B. in den schachbrettartigen Pflanzungen sich Felder mit Fichte und Lücken abwechselten. Schmidt (1995) konnte nachweisen, dass 90 Jahre nach der Pflanzung in der Aufforstung beachtliche Strukturunterschiede vorhanden sind (Tab. 5.2).

Tabelle 5.2: Bestandesstruktur der mehr als 90-jährigen Aufforstungen von La Joux-Pélichet (Neuenburger Jura-Hochlagen) nach ursprünglichem Mischungstyp

Mischungstyp zu Beginn der Aufforstung →	Nadelbäume Fichte (Tanne) dominieren	Laubbäume Esche, Ahorn dominieren	Aufforstungs- fläche insgesamt
Bestandesstruktur im Jahre 1994 ↓	[% Fl.-Anteil]	[% Fl.-Anteil]	[% Fl.-Anteil]
• gleichförmige Bestockung, meist mit unbrauchbarer Lbh-Unterschicht	75	40	70
• zweischichtiger, gleichförmiger Bestand	0	2	1
• gut strukturierte und differenzierte, plenterartige Bestockung	25	58	29
Summe	100	100	100

Standortsverhältnisse: Ausgangsgestein: Kreide-Kalk und Oberer Jura-Kalk (Malm-Kalk), Höhenlage 1.020 bis 1.040 m, Waldgesellschaft Abieti-Fagetum.
[Nach Schmidt (1995)]

In Tabelle 5.2 werden nur diejenigen Bestandesteile betrachtet, die sich einigermaßen ungestört entwickeln konnten; grosse Sturm- und Schneedrucklücken sind nicht berücksichtigt. Die ungestörten Partien weisen auf 70 % der Fläche eine ausgeprägt gleichförmige Struktur auf. Die Bestockung ist praktisch ohne Differenzierung und verfügt höchstens über eine Unterschicht aus Laubbäumen, die sich infolge von Durchforstungen eingestellt hat, als nachfolgende Generation aber unbrauchbar ist. Nur auf 29 % der Fläche konnte eine befriedigende Plenterstruktur erreicht werden.

In den Teilen, die mit einem höheren Eschen-Anteil bepflanzt wurden, ist das Ergebnis wesentlich besser: 58 % der Fläche weisen plenterartige Strukturen auf. In den von Nadelbäumen (v.a. Fichte) dominierten Teilen hat sich ein Erfolg dagegen nur dort eingestellt, wo die schachbrettartige Anordnung vorhanden war (25 % plenterartige Strukturen, Feldgrösse 1 ar). Die Kronen sind bei dieser Anordnung oft asymmetrisch gewachsen.

Die Beimischung von Laubbäumen, auch in geringen Anteilen, hat offensichtlich einen sehr günstigen Einfluss. Die Esche begünstigt zusätzlich die spätere Ansamung von anderen Baumarten. Insbesondere die Fichte verjüngt sich unter dem Schirm der Esche siebenmal so häufig wie im Fichten-Reinbestand. Die Qualität der jungen Fichten und auch der Tannen ist aber nur mässig; sie sind sehr astig. In den ausschliesslich von Fichten dominierten Bestandesteilen verjüngt sich später vor allem die Tanne.

Flächige Aufforstungen sind für die beabsichtigte Schaffung von ungleichförmigen Strukturen ungünstig bzw. brauchen mehr Zeit. Hier erweist sich zu regelmässige Auflösung des Kronenschirmes als ungeeignet. Schmidt (1995) begründet dies mit den massiven Eingriffen, die erforderlich werden, wenn die für die Bestandesdifferenzierung notwendige Verjüngung ankommen und sich zu brauchbarem Nachwuchs entwickeln soll. Tatsächlich weist die Verjüngung nur dann ein ausreichendes Wachstum und befriedigende Formen auf, wenn der Deckungsgrad einen Wert von 0,5 bis 0,6 nicht übersteigt. Ist das nicht der Fall, entwickeln sich

ausser den schattenfesten Tannen nur schattenertragende, aber schräg (plagiotrop) wachsende Sträucher (Hasel, Holunder) bzw. stark im Wachstum gehemmten, verbissenen und verformten Laubholzarten wie Esche oder Ahorn, welche durch flächiges und dichtes Vorkommen die Ansamung und die Entwicklung gewünschter Baumarten wie Fichten erschweren.

Die waldbauliche Folgerung ist bei die Konzeption von flächigen Pflanzungen und Aufforstungen, dass eine plenterartige Struktur nur dann erreicht werden kann, wenn eine gewisse natürliche Differenzierung von Anfang an ermöglicht wird. Geeignete Massnahmen sind, Baumarten und insbesondere Laubbaumarten mit lichtdurchlässigen Kronen beizumischen sowie bestimmte Flächen bei der Pflanzung frei zu lassen. Ob die Form der Flächen rund, oval oder quadratisch ist (schachbrettartige Anordnung), spielt dabei keine Rolle. Entscheidend ist, dass die Flächen nicht zu klein gewählt werden. Die Erfahrungen mit Feldern von 1 ar Grösse haben gezeigt, dass zu kleine Flächen asymmetrische und damit instabile Kronen hervorbringen.

5.4 DIE TECHNIK DER ÜBERFÜHRUNG

5.4.1 Formen der Überführung

Um angesichts der Vielfalt an Waldformen im Übergangsbereich zwischen gleichförmigem Hochwald und Plenterwald etwas Klarheit zu schaffen, werden im Folgenden drei Formen der Überführung unterschieden. Kriterium für die Unterscheidung ist die anzuwendende Technik. Selbstverständlich existieren daneben zahlreiche Zwischenformen, die sich an die eine oder andere Grundform anlehnen. Die Formen, die letztendlich alle zum Plenterwald führen, können auch als unterschiedliche Phasen eines Prozesses, ähnlich einer Sukzession, aufgefasst werden.

In Beständen, die bereits ausreichend differenziert erscheinen, kann sofort die klassische Plenterdurchforstung angewendet werden. In diesem Fall zielen die waldbaulichen Massnahmen darauf ab, die Struktur im Hinblick auf das waldbauliche Ideal zu verbessern und zu verfeinern.

Am anderen Ende stehen die noch gleichförmigen Bestände mit oder ohne vorhandener Verjüngung. In diesen Fällen stellt sich die Frage, ob genügend Bäume vorhanden und in der Lage sind, während der gesamten Dauer der Differenzierungsphase einen Schirm aufrecht zu erhalten. Falls zu Beginn keinerlei Verjüngung vorhanden ist, dauert dieser Zeitraum im günstigsten Fall 60 bis 80 Jahre. Mindestens 40 bis 60 Bäume je Hektar (Deckungsträger) sollten über ein ausreichendes Entwicklungspotential verfügen, um diese lange Differenzierungsphase zu überdauern. In älteren Beständen kommt damit der Beurteilung der Kronenausbildung und der individuellen Vitalität eine entscheidende Bedeutung zu. In jungen Beständen, die sich durch ein noch gutes Höhenwachstum auszeichnen, bietet sich die Möglichkeit, durch die Freistellung der Kronen einer bestimmten Anzahl an Bäumen deren voraussichtliche Lebenserwartung zu erhöhen.

Wenn die oben genannten Bedingungen zutreffen, kann eine direkte Überführung des betreffenden Bestandes mittels punktueller Differenzierung ins Auge gefasst werden, was schliesslich zu einer einzelbaumweisen Ungleichförmigkeit führt. Wenn aber die Wahrscheinlichkeit einer altersbedingten Auflösung des Bestandes vor Abschluss der

Differenzierungsphase als hoch eingeschätzt wird, empfiehlt es sich, mit der Folgegeneration zu arbeiten. Ein erster Schritt dazu ist die zeitlich und räumlich gestaffelte, gruppenweise Einleitung der Verjüngung. Eine feine Differenzierung innerhalb der Verjüngungsgruppen kann erst sehr viel später eingeleitet werden.

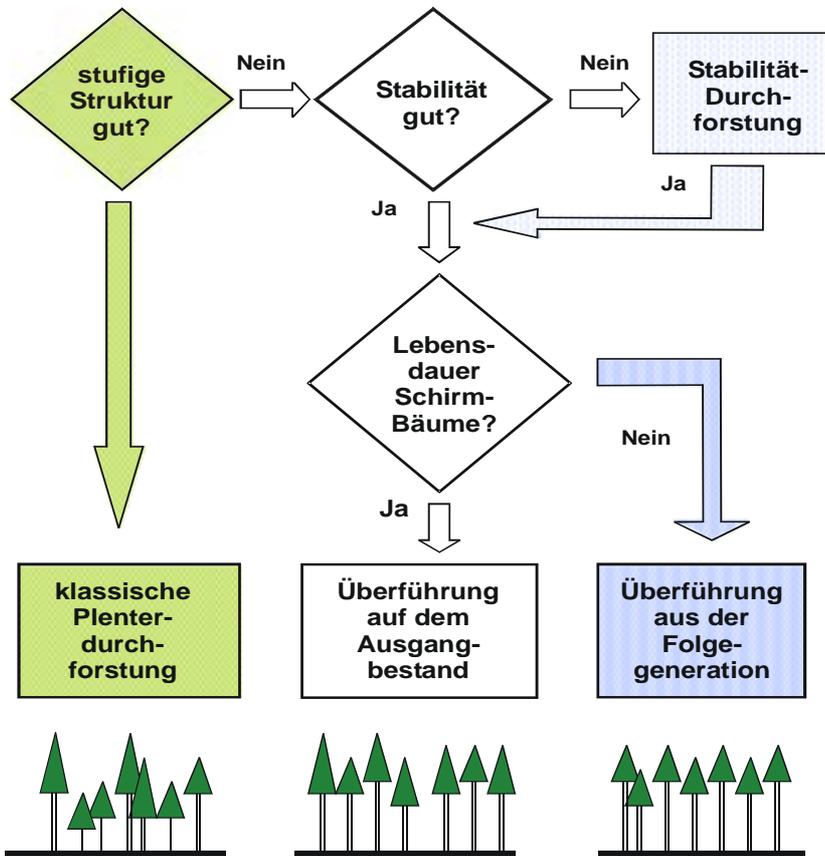


Abb. 5.3: Entscheidungsschema für die Überführung gleichförmiger Bestockungen in Plenterwald

[Nach Schütz (1999a)]

Das in Abbildung 5.3 dargestellte Schema zeigt das Vorgehen bei der Entscheidung für eine der drei Überführungsformen. Es versteht sich von selbst, dass einem solchen Entscheid eine umfassende waldbauliche Analyse vorangehen muss, die nicht nur den Zustand des Bestandes berücksichtigt, sondern auch die standörtlichen Voraussetzungen und deren Einflüsse auf die Alterung des Ausgangsbestandes sowie die Verjüngungsgunst des Standortes.

5.4.2 Klassische Plenterdurchforstung

Die klassische Plenterdurchforstung wird in Beständen angewendet, die bereits ausreichend differenziert sind, aber noch keine perfekt funktionierende Selbstregulierung aufweisen. Sie geht aus einem Vergleich des momentanen Zustandes mit der angestrebten idealen Plenterverfassung für den betreffenden Bestand hervor. Die visuelle Vorstellung von der Idealstruktur erlangt dabei eine grosse Bedeutung, da sie bei der visuellen Suche nach Abweichungen von dieser Struktur als Massstab dient. Die Analyse der Stammzahlverteilung und der Vergleich mit der Gleichgewichtskurve sind zwar gute Hilfsmittel, können jedoch die visuelle Gesamtbeurteilung eines Bestandes nicht ersetzen.

Die Plenterdurchforstung steht zwar nahe bei der Plenterung, sie setzt aber den Schwerpunkt auf Massnahmen, die zur idealen Struktur hinführen. Die häufigsten Schwachpunkte sind strukturelle Mängel (z.B. ungenügend vertretene Durchmesserstufen, oft in der Mittelschicht) oder fehlende Naturverjüngung. Dadurch wird deutlich, dass der Suche und der Entnahme von Intermediär-Bäumen (siehe Abb. 3.21), d.h. von Bäumen, die mehr schaden als nutzen, eine wichtige Rolle zufällt.

Die Ausführung der Plenterdurchforstung darf nicht überstürzt geschehen und sie muss sich auf das Wesentliche konzentrieren. Für die praktische Bewirtschaftung ist es daher ausserordentlich wichtig, die Reaktion der Bestände auf mögliche Eingriffe abschätzen und voraussehen zu können. Während dieser Phase der Überführung ist es meist zweckdienlich, mit Vorräten unterhalb der Gleichgewichtsgrenze zu arbeiten, wodurch der Verjüngungsprozess beschleunigt wird. Die Struktur innerhalb der Verjüngung kann später immer noch durch eine angepasste Jungwuchspflege verfeinert werden. Weite Öffnungen des Kronendachs sollten aber unbedingt vermieden werden.

5.4.3 Direkte Überführung gleichförmiger Bestände

Die Überführung gleichförmiger Bestände, die hinsichtlich der Lebenserwartung und der Stabilität die in Abschnitt 5.4.1 genannten Voraussetzungen erfüllen, erfolgt direkt am Ausgangsbestand. In der Regel handelt es sich um Bestände, die genügend physiologisch junge Bäume mit gut entwickelten Kronen besitzen. Die Überführung am Ausgangsbestand scheint in den meisten Fällen möglich zu sein. Für eine Tauglichkeit als potentiellen Deckungsträger ist im wesentlichen der Bekronungsgrad anzusprechen. Wir beginnen einzusehen, dass es in jeder Bestockung, auch in den schlecht gepflegten und sehr gleichförmigen, eine gewisse Anzahl von Bäumen gibt, welche sich selbst in der Oberschicht auf natürliche Weise durchsetzen (Preushler et al. 1989, Ammann, 1999 für die Fichte; Pardé, 1981, Utschig, 1997 bei der Buche). Weil für die Aufgabe als Deckungsträger meistens eine nicht allzu hohe Anzahl genügender solcher übervitalen, selbstherrschenden Elemente nötig ist, scheint eine Überführung auf den Ausgangbestand viel öfters denkbar als man sich das gewöhnlicherweise vorstellt.

Eine Überführung bedeutet nicht, ein einmal gewähltes Vorgehen über Jahrzehnte beizubehalten. Entsprechend dem Fortschritt der Strukturierung bzw. je nach Überführungsphase sind neue strategische Weichenstellungen sowie das Setzen neuer Schwergewichte erforderlich. Für die taktische Ebene ergeben sich daraus sehr differenzierte Massnahmen. Bei einer Überführung lassen sich – etwas vereinfacht und schematisch dargestellt – die vier folgenden, charakteristischen Phasen unterscheiden (Abb. 5.4):

- Phase der Differenzierung
- Phase der Nachwuchsförderung
- Phase der Strukturierung
- Phase der Verfeinerung der Plenterverfassung

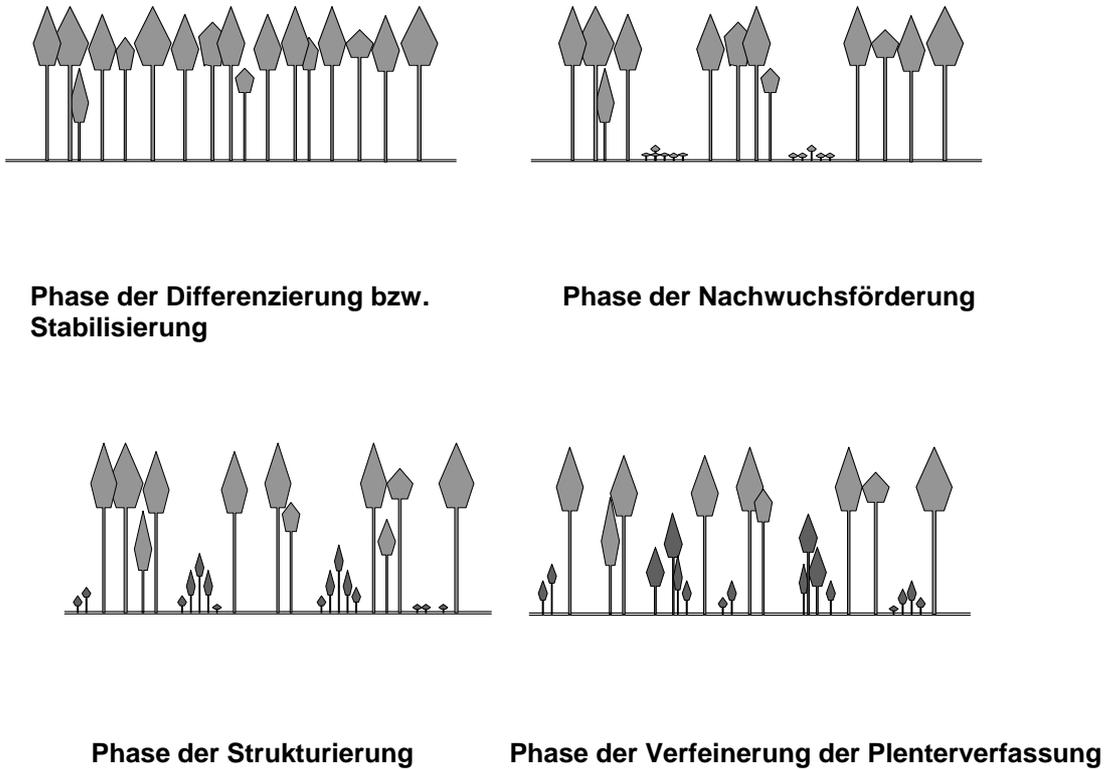


Abb. 5.4: Die vier Phasen der direkten Überführung gleichförmiger Bestockungen in Plenterwald

[Nach Schütz (1999a)]

Der erste Schritt besteht darin, eine zahlenmässig genügende Verjüngung einzuleiten bzw. zu fördern. Das Ziel, den notwendigen Nachwuchs dauerhaft sicherzustellen (nach Möglichkeit zeitlich und örtlich gestaffelt), kann aber erst dann effektiv in Angriff genommen werden, wenn die Bestockung eine genügende Stabilität aufweist. Es macht also keinen Sinn, waldbauliche Massnahmen zu Gunsten der Verjüngung zu ergreifen, solange die minimalen Stabilitätsanforderungen nicht erfüllt sind.

Bei der Beurteilung der Stabilität einer gleichförmigen Bestockung ist das Augenmerk auf eine relativ geringe Zahl von sogenannten Gerüstbäumen zu richten. Gerüstbäume sind stabile Elemente, welche einen wesentlichen Beitrag zur Stabilität des gesamten Bestandes leisten. Damit sie ihre Funktion im Hinblick auf dynamische Wirkungen erfüllen können, müssen sie einigermassen gleichmässig über den ganzen Bestand verteilt sein (funktionale Vernetzung).

Hauptmerkmal für die Ansprache der individuellen Stabilität ist der Bekronungsgrad. Interessant ist, dass dieses Kriterium nicht nur für die Stabilität entscheidend ist, sondern auch für die Chance der schirmbildenden Bäume (die Deckungsträger), die Dauer der Überführung zu überleben. Offensichtlich bleiben bei gut bekronen Bäumen die Wachstumskräfte länger erhalten und die physiologische Alterung tritt weniger schnell ein (Schütz 1969, 1989; Kramer 1979).

In jungen Beständen, die gleichförmig und dicht erwachsen, aber noch hinreichend stabil sind, müssen die Bäume durch kräftige und gerichtete Eingriffe in die Lage versetzt werden, ihr

Kronenwachstum bis zum Ende der Überführung beizubehalten. Die Eingriffe, die eine lichtschartartige Freistellung der ausgewählten Bäume beabsichtigen, ähneln einer starken Hochdurchforstung, die Bäume werden aber abweichend von den Grundsätzen der Auslese-durchforstung nach Ausformung und Entwicklungsfähigkeit der Kronen ausgesucht und stehen zueinander in einem sehr viel weiteren Abstand (etwa 13 bis 15 m).

In jedem Bestand gilt es entsprechend der oben beschriebenen Reihenfolge der Überführungskriterien zunächst festzustellen, ob diejenigen Bäume, die bis zum Ende der Überführung erhalten bleiben sollen (die Deckungsträger), bezüglich ihrer Vitalität gute Zukunftsaussichten haben. Erst wenn diese Frage bejaht wird, kann sich der Bewirtschafter der Verjüngung zuwenden, was eine sehr differenzierte waldbauliche Arbeit bedeutet.

Eine Überführung kann schlussendlich nur dann erfolgreich sein, wenn eine demographisch autarke, d.h. nachhaltig aufgebaute Verjüngung gewährleistet ist. Dabei ist darauf zu achten, dass die Verjüngung sich nicht zu gleichmässig einstellt oder aufwächst. Alle bereits vorhandenen und zugleich entwicklungsfähigen Verjüngungsformen oder Jungwaldelemente (z.B. einzelne Stangen) können übernommen werden, sofern der für die spätere Struktur-differenzierung notwendige Zwischenraum von ungefähr einer Baumlänge berücksichtigt wird. Mangelt es an Verjüngung, muss sie an besonders geeigneten Orten, z.B. auf kleinen Geländeerhebungen oder auf günstigen Kleinstandorten mit Nachmittagssonne, gefördert werden. Wenn Wild ein limitierender Faktor ist, gehören mechanische oder chemische Schutzmassnahmen ebenso dazu. Um eine allzu flächige und homogene Verjüngung zu vermeiden, müssen im Bestand abwechselnd Zonen beschleunigter und gebremster Verjüngungsentwicklung geschaffen werden. Bis die kleinen Verjüngungsgruppen sich herausgebildet und als Nachwuchsgruppen die Mittelschicht erreicht haben, bedarf es Geduld und sogar eines etwas schematischen Vorgehens. Erst danach kann sich der Bewirtschafter mit den Feinheiten der Struktur-differenzierung befassen und allmählich zur klassischen Plenterdurchforstung übergehen.

An dieser Stelle sollen nochmals einige Zusammenhänge zwischen der Bestandesöffnung und dem Aufkommen von Verjüngung dargelegt werden: Aus den Beobachtungen von Cescatti (1996) in italienischen Fichtenplenterwäldern geht hervor, dass die für eine Fichtenverjüngung optimale Strahlung zwischen 20 und 30 % der Freilandstrahlung beträgt. Die Ergebnisse basieren auf Messungen der photosynthetisch wirksamen Strahlung (PAR). Die untere Grenze für die Verjüngung liegt bei 17 % der Freilandstrahlung. Bei der mehr schattentoleranten Tanne liegt die untere Grenze tiefer (13 %), und das optimale Vorkommen der Verjüngung ist weniger klar an bestimmte Lichtverhältnisse gebunden. Allerdings muss betont werden, dass Cescatti seine Beobachtungen in der subalpinen Stufe der Südalpen machte.

Für die Einleitung der Verjüngung ist auch der sogenannte Effekt des Baumartenwechsels zu berücksichtigen. Unter einer reinen Fichtenbestockung kommt eine Fichtenverjüngung erfahrungsgemäss weniger gut an. Dafür sind vermutlich nicht nur die schlechten Strahlungsverhältnisse verantwortlich, sondern auch allelopathische Wirkungen. Bei der Tanne scheint der Baumartenwechsel schwächer ausgeprägt zu sein (Nagel 1950).

Bei der Lichtdosierung für das Aufkommen der Verjüngung ist von Bedeutung, dass der Lichteinfall nicht nur vom Schlussgrad oder vom Deckungsgrad im Bestand abhängt, sondern auch von weiteren bestandesstrukturellen Parametern, d.h. von der Art, wie die Kronen vertikal verteilt sind. Bei gleichem Deckungsgrad und gleicher Sonnenstrahlung bestehen je nach der Verteilung der Bäume im Bestand unterschiedliche Lichtverhältnisse: So wird unter einem ausgeprägt stufigen Plenterbestand, unter einem gleichmässig aufgelösten Bestand oder bei der Konzentration des Lichtes auf kleine Lichtschächte eine unterschiedliche Lichtmenge und -qualität gemessen (Wayne und Bazzaz 1993). Die Lichtextinktion ist offensichtlich stärker und

wirkungsvoller, wenn die Baumkronen sich in der gleichen Schicht konzentrieren. Demzufolge bedarf es in gleichförmigen Bestockungen einer stärkeren Auflichtung als in ungleichförmigen, um eine vergleichbare Wirkung auf dem Bestandesboden zu erzeugen. Die Konzentration der Lichtzufuhr in kleinen Lichtschächten wird durch die Kombination von Schirm- und Schachtstellung noch effizienter und günstiger. Dabei ist zu beachten, dass zumindest in der montanen Höhenstufe eher diffuses Licht und weniger direktes Licht für die Ansamung und das Aufkommen des Nachwuchses entscheidend ist.

5.4.4 Überführung gleichförmiger Bestände mittels der Folgegeneration

In den meisten gleichförmigen Beständen besteht das Risiko, dass die kurzkrönigen, in einer einzigen Bestandesschicht erwachsenen Bäume altern, bevor sich die Bestandesstruktur genügend differenziert hat. Die für eine erfolgreiche Überführung notwendige Differenzierung kann daher nur über die nachfolgende Baumgeneration erreicht werden. Die Überführung beginnt mit einer gruppen- und horstweisen Verjüngung, die sich sowohl zeitlich als auch räumlich über einen möglichst langen Zeitraum erstreckt. Die Verjüngungsansätze insgesamt bewirken eine bessere Strukturierung der Folgegeneration und dienen als Ausgangspunkte für die spätere Ausformung einer noch feineren Struktur. Die Technik ähnelt zwar der Verjüngung durch kleinflächige Femelhiebe, die Femellöcher werden aber über die ganze Fläche verteilt, sie sind nicht an der Transportgrenze orientiert und werden nicht erweitert.

Neben der Einleitung der Verjüngung ist die allgemeine Stabilität des Bestandes zu beachten. Nur eine genügende Stabilität erlaubt, die gewünschten kleinen Öffnungen zu schaffen, die sich mit den geschlossenen Bestandesteilen abwechseln. Wie im vorangehenden Fall kann eine bereits vorhandene Verjüngung übernommen werden. Da Baumartenvielfalt der beste Garant für eine gute Struktur ist, sollte zusätzlich eine den jeweiligen Verhältnissen und dem Standort angepasste Baumartenmischung angestrebt werden, notfalls auch durch Unterpflanzungen. Die zunächst noch grobe Differenzierung in den Verjüngungsgruppen kann später durch entsprechende Pflegemaßnahmen fortgeführt werden. Bei allen Massnahmen geht es letztendlich darum, gut gemischte und stabile Bestände zu schaffen, die vor allem über gut entwickelte Kronen verfügen und damit die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Überführung bieten.

Literatur

- Abetz, K., 1955: Bäuerliche Waldwirtschaft. Parey, Hamburg, 348 p.
- Abetz, K., Feinauer, H., 1987: Kann der ersten Auslesedurchforstung in einem Fichtenbestand eine Plenterdurchforstung vorgeschaltet werden? Allg. Forst. u. J.-Ztg. 158, 9: 149-156.
- Adam, H., Dong, P. H., Roeder, A., Schüler, G., 1991: Orientierende Untersuchungen zur Wurzelmorphologie in Kieferndickungen aus Paperpot- und wurzelnackter Pflanzungen. in: Jahrestagung Deutsch. Verb. forstl. Forschungsanst., Sektion Ertragskunde, 13.-15. Mai 1991 in Treis-Karden/Mosel : 137-147.
- Altherr, E., Unfried, P., 1984: Zur Wasserreiserbildung bei der Buchen-Lichtwuchs-Durchforstung. Mitt. forstl. Versuchs. u. Forsch.anst. Baden-Württemberg, H. 108: 59-65.
- Ammann, P.L., 1999: Analyse unbehandelter Jungwaldbestände als Grundlage für neue Pflegekonzepte. Schweiz. Z. Forstwes. 150, 12: 460-470.
- Ammon, W., 1937: Das Plenterprinzip in der schweizerischen Forstwirtschaft. Böhler, Bern & Leipzig. 108 p.
- Amstutz, U., 1994: Wie steht es mit der Rendite der Gebirgsforstbetriebe? Schweiz. Z. Forstwes. 145: 823-834.
- Anonymus, 1860: Forststatistik des Kantons Thurgau (1860). Ed. Huber.
- Anonymus, 1892: Compte rendu de la visite faite les 24 et 25 août (1891) par la société forestière de Franche-Comté et Belfort à la forêt de la Joux. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 1: 167-170.
- Anonymus, 1909: Excursions du Congrès de 1909. Journée du mardi 20 juillet en forêt d'Amance. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 10: 248-295.
- Badoux, E., 1949: L'allure de l'accroissement dans la forêt jardinée. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 26: 9-58.
- Badoux, E., 1967: Tables de production pour le hêtre en Suisse. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.
- Badoux, E., 1968: Tables de production pour l'épicéa en Suisse. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes., Birmensdorf.
- Balsiger, R., 1914: Der Plenterwald und seine Bedeutung für die Forstwirtschaft der Gegenwart. Böhler, Bern. 103 p.
- Bebi, P., 2000: Erfassung von Strukturen im Gebirgswald als Beurteilungsgrundlage ausgewählter Waldwirkungen. Diss. ETH-Zürich, Beih. Schweiz. Z. Forstwes. Nr. 90 128 S.
- Becker, D., Freist, H., Øllgaard, M., 1989: Zielstärkenutzung und Buchenrotkern. Forst u. Holzwirt 44: 12-14.
- Bégin, J., 1991: Productivité du Douglas vert (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii* Franco) en relation avec des caractéristiques stationnelles. Mitt. Eidg. Forschungsanst. Wald Schnee Landsch. 67: 175-313.
- Bernasconi, G., 1984: Etude de l'évolution de structure de futaies dans la phase de conversion vers le type jardiné au Val-de-Travers et caractérisation des types d'éclaircies jardinatoires. Schweiz. Z. Forstwes. 135: 793-800.
- BFN, 1997: Übersichtskarte der potentiellen natürlichen Vegetation von Deutschland und Umgebung. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Biehl, R., 1991: Buchenplenterwirtschaft, dargestellt am Beispiel des Forstreviers Langula. Diplom. Thesis, Inst. Waldwachstumskunde forstl. Informatik der TU Dresden (Tharandt), 103 p. not publ.

- Biolley, H., 1887: Quelques réflexions sur le jardinage à propos des publications de M. Gurnaud. Schweiz. Z. Forstwes. 38: 189-192.
- Biolley, H., 1897: L'aménagement des forêts d'après la méthode du Contrôle. Couvet. 30 p. (Op. manusc., not published)
- Biolley, H., 1901: Le jardinage cultural. Jour. For. Suisse. 52: 97-104; : 113-132.
- Biolley, H. E., 1920: L'aménagement des forêts par la méthode expérimentale et spécialement la méthode du Contrôle. Attinger, Paris & Neuchâtel. 90 p.
- Bončina, D. R, Mikulič, V., 2001: Standort, Struktur und Funktion slowenischer Wälder im Höhengradienten. Schweiz. Z. Forstwes. 152, 2: 43-51.
- Borel, W., 1929: Guide pour l'application du contrôle aux futaies jardinées. Jacques & Demontrond, Besançon. 104 p.
- Borel, W., 1933: Résultats de quarante ans d'application de la méthode du contrôle dans la forêt des Erses (Jura Vaudois). Jacques & Demontrond, Besançon. 67 p.
- Borggreve, B., 1885: Die Holzzucht. Ein Grundriss für Unterricht und Wirtschaft. Parey, Berlin, 195 p.
- Brassel, P., Brändli, U.-B., 1999: Schweizerisches Landesforstinventar; Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Eidg. Forschungsanst. Wald Schnee Landschaft, Birmensdorf. Haupt, Bern & Stuttgart & Wien. 442 p.
- Brecher, G., 1886: Aus dem Auen; Mittelwalde. Springer. Berlin 71p.
- Büren, S.v., 1997: Der Farbkern der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in der Schweiz nördlich der Alpen; Untersuchungen über die Verbreitung, die Erkennung am stehenden Baum und die ökonomischen Auswirkungen. Dr.Thesis. ETH-Z, Zürich, 178 p.
- Büren, S.v., 1998: Buchenrotkern; Erkennung, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung. Schweiz. Z. Forstwes. 149: 955-970.
- Cardot, G., 1996: Interactions structures des peuplements exploitation forestière; Cas des peuplements résineux en futaie régulière et jardinée de Franche-Comté. Mémoire FIF (Formation des Ingénieurs Forestiers) de 3^e année, Nancy, 53 p + annexes (not published) .
- Cescatti, A., 1996: Selective cutting, radiative regime and natural regeneration in a mixed coniferous forest; a model analysis. in: Modelling regeneration success and early growth of forest stands. Proceeding IUFRO Conference held in Copenhagen, 10 - 13 June 1996. Skovsgaard & Johannsen (Eds). Danish Forest and Landscape Research Institute, Horsholm. : 474-483.
- Ciancio, O., Nocentini, S., 1995: Idéologies ou nouveau paradigme scientifique dans la gestion forestière? Rev. For. Fr. 47: 189-192.
- Claudot, C., 1894: La méthode du Contrôle, son application à une partie de la forêt domaniale de Champenoux. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 2: 221-243.
- Coulon, M.de, 1962: Structure et évolution de peuplements jardinés. Schweiz. Z. Forstwes. 113: 543-557.
- Dannecker, K., 1947: Das Plenterprinzip im Laubwald. Allg. ForstZ. 2: 153-156; : 163-165.
- Diaci, J., 1995: Experimentelle Felduntersuchungen zur Naturverjüngung künstlicher Fichtenwälder auf Tannen-Buchenwaldstandorten (*Homogyno sylvestris-Fagetum*) in den Savinja-Alpen (Slowenien) mit besonderer Berücksichtigung der Ansamlungsphase und unter dem Einfluss der Faktoren Licht, Vegetation, Humus und Kleinsäuger. Dr-Thesis, ETH-Z., Zürich. 169 p. (gleiche Arbeit 1997 in Beiheft z. Schweiz. Z. Forstwes. Nr. 80, 197 S.
- Dietrich, G., 1973: Untersuchungen über die Astbildung und natürliche Astreinigung der Weisstanne. Parey, Hamburg & Berlin, 88 S.
- Dittmar, O., 1991: Der Seebachsche Lichtungsbetrieb; Ein interessanter Aussenseiter der Buchenwirtschaft des 19. Jahrhunderts. Der Wald (Berlin). 41: 156-168.
- Dubourdieu, J., 1991: L'intérêt de la conversion des taillis sous futaie en futaie et ses limites. Rev. For. Fr. 43: 147-161.

- Duc, Ph., 1991: Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 299-319.
- Duc, Ph., 2000: Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neuenburger Jura). Diss. ETH-Z, Dep. Forstwissenschaften ETH-Z, Zürich, 240 S.
- Dvořák, L., Bachmann, P., 2001: Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen in Abhängigkeit vom Bestandesaufbau. Schlussbericht Prof. Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich, 87 S. + 1 Anh.
- Eggenberger, U., 1985: Charakterisierung der Plenterverfassung in Wäldern des Bergsturzgebietes von Flims. Schweiz. Z. Forstwes. 136: 503-513.
- Eiberle, K., Wenger, C.-A., 1983: Zur Bedeutung der forstlichen Betriebsart für das Reh. Schweiz. Z. Forstwes. 134: 191-206.
- Ellenberg, H., Klötzli, F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 48, 4: 589-930.
- Fabjanowski, J., Jaworski, A., Musiel, W., 1974: [The use of certain morphological features of the fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea excelsa* Link.) in the evaluation of the light requirements and quality of their up-growth] (Orig. Poln.). Acta agraria silvestris, series silv. 14: 3-29.
- Favre, E., 1956: L'évolution forestière dans le Canton de Neuchâtel. Canton de Neuchâtel, Département de l'Agriculture, La Chaux-de-Fonds. 95 p.
- Favre, L.-A., 2001: Influence des éléments météorologiques sur la production ligneuse; Enquête sur le comportement de deux parcelles de la forêt communale de Couvet. Schw. Z. Forstwes. 152, 10: 425-430.
- Favre, L.-A., Oberson, J.-M., 2002: 111 années d'application de la méthode du contrôle à la forêt de Couvet. Schw. Z. Forstwes. 153, 8: 298-313.
- Ferrand, J. C., 1982: Etude des contraintes de croissance; 2. Variabilité en forêt des contraintes de croissance du hêtre. Ann. Sci. For. 39: 187-217.
- François, T., 1938: La composition théorique normale des futaies jardinées de Savoie. Rev. Eaux For. 76, 1-18; : 101-115.
- Freist, H., 1962: Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnützung im Forstbetrieb. Beih. Forstwiss. Cbl. 17. 78 p.
- Gardiner, B. A., Stacey, G. R., Belcher, R. E., Wood, C. J., 1997: Field and wind tunnel assessment of the implication of respacing and thinning for tree stability. Forestry 70, 3: 233-252.
- Gaspersic, F., 1974: [Gesetzmässigkeiten der Naturverjüngung in Tannen-Buchenwälder des Hohen Karstes im Bergmassiv von Sneznik-Javornik] (orig. sloven.) Dr-Thesis, Biotechn. Fakult. Univ. Ljubljana. 133 p.
- Graber, D., 1994: Die Fichtenkernfäule in der Nordschweiz; Schadenausmass, ökologische Zusammenhänge und waldbauliche Massnahmen. Schweiz. Z. Forstwes. 145: 905-925.
- Graber, D., 1995: Die Kernfäuleschäden an Fichte (*Picea abies* Karst.) in der Schweiz nördlich der Alpen; Untersuchungen über das Schadenausmass, die ökologischen, waldbaulichen und mykologischen Einflussfaktoren sowie die ökonomischen Auswirkungen. Dr-Thesis Nr. 11297, ETH-Z., Zürich. 180 p + Anh.
- Gardiner, B., Marshall, B., 1997: An investigation into the stability of irregular forests using a wind tunnel. Rep. Scottish Forestry Trust, 17 S + Anh.
- Gurnaud, A., 1865: Mémoire sur la gestion des forêts. Jacquin, Besançon. 28 p.
- Gurnaud, A. 1884: La sylviculture française. Librairie Agricole de la Maison Rustique, Paris & Besançon. 91 p.
- Gurnaud, A., 1885: La méthode française et la question forestière. Jacquin, Besançon. 25 p.
- Hamm, J., 1900: Leitsätze für den Mittelwaldbetrieb. Forstwiss. Cbl. 22: 392-404.

- Höher, G.C., 1994: Waldbauliche Untersuchungen zur Entstehung, Struktur und Weiterentwicklung der Erdmannbestände im Forstamt Erdmannshausen. Dr-Thesis, G.-A. Univ. Göttingen. 203 p.
- Höwecke, B., Mahler, G., 1991: Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg; Teil I. Mitt. Forstl. Versuchs- ForschAnst Baden-Württ. H. 158 : 1-106.
- Hudault, A., 1930: Notes sur la futaie claire. Bull. Sté. For. Franche-Comté prov. Est. 18: 509-512.
- Huffel, G., 1909: La conversion en futaie des forêts traitées en taillis sous futaie. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 10: 238-247.
- Huffel, G., 1927: Les méthodes de l'aménagement forestier en France. Ann. Ecole Nat. Eaux et For. Et Stat. Rech. Exp. 1, 2 : 3-229.
- Hufnagl, L., 1939: Des Plenterwaldes Wirtschaftsziel, Normalbild und Einrichtung. Cbl. Ges. Forstwes. 65: 1-15.
- Indermühle, M.P., 1978: Struktur-, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. Beih. z. Schweiz. Forstverein. Nr 60, 98 p.
- Jolyet, A., 1908: Simples réflexions culturelles sur les futaies feuillues. Bull. Sté. For. Franche-Comté prov. Est. 7: 667-677.
- Kazarjan, V.O., 1969: Le vieillissement des plantes supérieures. (traduction du russe). Centre Nat. Rech. For., Champenoux. 228 p.
- Keller, R., Timbal, L., LeTacon, F., 1976: La densité du bois de hêtre dans le Nord-Est de la France; Influence des caractéristiques du milieu et du type de sylviculture. Ann. Sci. For. 33: 1-17.
- Keller, W., Imhof, P., 1987: Zum Einfluss der Durchforstung auf die Waldschäden; 2. Teil: Erste Ergebnisse von Waldschadenuntersuchungen in Plenterversuchsflächen der EAFV. Schweiz. Z. Forstwes. 138: 293-320.
- Kenk, G., Kremer, W., Brandl, H., Burgbacher, H., 1984: Die Auswirkungen der Walderkrankung auf Zuwachs und Reinertrag in einem Plenterwaldbetrieb des mittleren Schwarzwaldes. Allg. ForstZ. 39: 692-695.
- Kern, K.G., 1966: Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftenr. forstl. Abt. Univ. Freiburg i.Br. 5: 232 p.
- Kern, K.G., Moll, W., Braun, H.J., 1961: Wurzeluntersuchungen in Rein- und Mischbeständen des Hochschwarzwaldes. Allg. Forst.- u. J.-Ztg. 132: 241-260.
- Klädtker, J., 1997: Buchen-Lichtwuchsdurchforstung. Allg. ForstZ. 52, 19: 1019-1023.
- Klädtker, J., 2002: Wachstum grosskroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen. FVA-einblick 6: 2-3.
- Knoke, T., 1998a: Analyse und Optimierung der Holzproduktion in einem Plenterwald; Zur Forstbetriebsplanung in ungleichaltrigen Wäldern. Forstl. Forschungsber. München. 170/1998, 182 p.
- Knoke, T., 1998b: Die Stabilisierung junger Fichtenbestände durch starke Durchforstungseingriffe ; Versuch einer ökonomischen Bewertung. Forstarchiv 69: 219-226.
- Knoke, T., 1999 : Ökonomische Aspekte der Holzproduktion in ungleichaltrigen Wäldern ; Auswirkungen grossflächiger Überführungsmassnahmen. In : Überführung von Altersklassenwäldern in Dauerwälder. M. Hanewinkel (ed.). Ber. Freiburger Forstl. Forschung 8 : 175-189.
- Knoke, T., Schulz-Wenderoth, S., 2001: Ein Ansatz zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmass der Farbkernbildung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). Forstwiss. Cbl. 120: 154-172.
- Knoke, T., 2002: Eine Bewertung von Nutzungsstrategien für Buchenbestände (*Fagus sylvatica* L.) vor dem Hintergrund des Risikos der Farbkernbildung; eine waldbaulich-forstökonomische Studie. Habil. TU München, 204 S.
- Köstler, J.N., 1956: Allgäuer Plenterwald Typen. Forstwiss. Cbl. 75: 422-458.

- Köstler, J.N., 1958: Plenterbestände im Bregenzer Wald. Cbl. Ges. Forstwes. 77: 224-256.
- Korpel, S., 1982b: Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on example of natural forests of Slovakia. Acta Facult. Forest. Zvolen. 24: 9-31.
- Korpel, S., 1995: Die Urwälder der Westkarpaten. Fischer, Stuttgart. 310 p.
- Kozlowski, T.T., 1963: Physiological implications in tree improvment. in: World consultation on forest genetics and tree improvment. FAO & FORGEN (Eds.). FAO, Rome. : 63-5/1.
- Kramer, H., 1979: Zum Wachstum der Uraltfichten "Dicke Tannen". Forstarchiv 50: 214-219.
- Kuhn, N., 1998: Flächenanteile bedeutender Waldformationen in der Schweiz; für die Arbeitsgruppe Waldreservate. Interner Bericht 4.6.1998. (not published).
- Kuiper, L.C., 1994: Architectural analysis of Douglas-fir forests. Dr-Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen. 188 p.
- Kuoch, R., Amiet, R., 1970: Die Verjüngung im Bereich der oberen Waldgrenze der Alpen mit Berücksichtigung von Vegetation und Ablegerbildung. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes. 46: 159-328.
- Kurth, A., 1946: Untersuchungen über Aufbau und Qualität von Buchendickungen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 24, 2: 581-658.
- Landbeck, H., 1952: Ueber die Buchenplenterwälder in Nordthüringen. Der Wald (Berlin). 2: 244-247; : 279-282.
- Lanier, L., 1986: Précis de sylviculture. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Nancy, 468 p.
- Leibundgut, H., 1946: Femelschlag und Plenterung; Beitrag zur Festlegung waldbaulicher Begriffe. Schweiz. Z. Forstwes. 97: 306-317.
- Leibundgut, H., 1975: Über den Arbeitsaufwand für Holzernte, Kulturen und Waldpflege im Plenterwald. Schweiz. Z. Forstwes. 126: 901-903.
- Leibundgut, H., 1978: Über die Dynamik europäischer Urwälder. Allg. ForstZ. 33:686-690.
- Leibundgut, H., 1979: Ueber Grundlagen und Geltungsbereich der Plenterprinzipie. Schweiz. Z. Forstwes. 130: 775-783.
- Leibundgut, H., 1991: Die Plenterung einst und jetzt. Schweiz. Z. Forstwes. 142: 61-67.
- Lemps, F. de, 1949: A propos de la régénération du chêne dans les taillis sous futaie de la vallée de la Saône. Rev. For. Fr. 1: 314-323.
- Lemps, F. de, 1951: Volume critique, plan de balivage et composition normale des taillis sous futaie. Rev. For. Fr. 3: 552-572.
- Lenz, O., Strässler, H.J., 1979: Contribution à l'étude de l'éclatement des billes de hêtre (*Fagus sylvatica* L.). Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes. 35, 5: 369-411.
- Liocourt, F.de., 1898: De l'aménagement des sapinières. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 4: 396-409; : 645.
- Mahrer, F., 1988: Schweizerisches Landesforstinventar; Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986. Ber. Nr. 305 Eidg. Forschungsanst. für Wald Schnee u. Landschaft, Birmensdorf. 375 p.
- Mathey, A., 1898: Les taillis sous futaie dans le bassin de la Saône. Rev. Eaux For. 37: 698-703; : 721-738; : 753-765.
- Mathey, A., 1909: Traitement et aménagement d'un taillis sous futaie. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 10: 221-227.
- Mathey, A., 1929: Traité théorique et pratique des taillis. Vilaire, Le Mans. 353 p.
- Mayer, H., Neumann, M., Sommer, H.-G., 1980: Bestandesaufbau und Verjüngungsdynamik unter dem Einfluss natürlicher Wilddichten im kroatischen Urwaldreservat Corkova Uvala/Plitvicer Seen. Schweiz. Z. Forstwes. 131: 45-70.
- Meyer, H.A., 1933: Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Z. Forstwes. 84: 33-46; : 88-103; : 124-131.
- Mitscherlich, G., 1952: Der Tannen-Fichten-(Buchen)-Plenterwald. Schriftenr. Bad. Forstl. Versuchsanst. Freiburg i.Br. 8: 3-42.
- Mitscherlich, G., 1963: Untersuchungen in Schlag- und Plenterwäldern. Allg. Forst.- u. J.-Ztg. 134: 1-12.

- Möller, A., 1922: Der Dauerwaldgedanke ; Sein Sinn und seine Bedeutung. Springer, Berlin. 84p.
- Mohr, C., Schori, C. 1999: Femelschlag oder Plenterung; Ein Vergleich aus betriebswirtschaftlicher Sicht. Schweiz. Z. Forstwes. 150: 49-
- Nagel, J.-L., 1950: Changement d'essences. Schweiz. Z. Forstwes. 101: 95-104.
- Pardé, J., 1981: De 1882 à 1976/80 les places d'expériences de sylviculture du hêtre en forêt domaniale de Haye. Rev. For. Fr. 33, No spec.: 41-64.
- Pechman, H.v., Lippenmeier, P., 1975: Untersuchungen über die Schnittholzqualität von Tannen- und Fichtenholz aus Plenterbeständen. Forstwiss. Cbl. 94: 351-364.
- Perrin, R., 1981: De quoi souffre l'écorce du hêtre? Schweiz. Z. Forstwes. 132: 1-16.
- Péter-Comtesse, J., 1953: Sur les peuplements non en station. Schweiz. Z. Forstwes. 104: 296-308.
- Péter-Comtesse, J., 1972: Quelques problèmes rencontrés en 36 ans de gestion d'un arrondissement forestier neuchâtelois. Schweiz. Z. Forstwes. 123: 349-363.
- Pfeiffer, K., Abegg, B., Kuhn, P., 1978: Tarifs de façonnage et tarif de débardage des stères. Instructions No 8. Communauté suisse pour le bois d'industrie, Birmensdorf. 28 p.
- Pintaric, K., 1978: Urwald Perucica als natürliches Forschungslaboratorium. Allg. ForstZ. 33: 702-707.
- Piussi, P., 1994: Selvicoltura generale. Unione Tipografico Editrice Torinese, Torino. 421 p.
- Polge, H., 1973: Etat actuel des recherches sur la qualité du bois de hêtre. Bull. Techn. ONF. 1973, No 4 : 13-22.
- Polge, H., 1980: Un défaut méconnu du hêtre: les contraintes de croissance. Bull. Techn. Off. Nat. For. 12: 31-39.
- Polge, H., 1981: Influence des éclaircies sur les contraintes de croissance du hêtre. Ann. Sci. For. 38: 407-423.
- Preuhsler, T., Schmidt, R., 1989: Beobachtungen auf einem spät durchforsteten Fichtenversuch. Forstwiss. Cbl. 108: 271-288.
- Pretzsch, H., Kahn, M., 1996: Wachstumsmodelle für die Unterstützung der Wirtschaftsplanung im Forstbetrieb. Allg. ForstZ. 51: 25: 1414.
- Prodan, M., 1949: Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. Schweiz. Z. Forstwes. 100: 81-99.
- Reh, J., 1963: Structure, development and yield conditions of beech virgin forests in the Popricny mounts. In: Symposium über die Urwälder. Forstl. Fakult. Techn. Univ. Zvolen, Zvolen:23-25.
- Ritchie, M.W., Hann, D.W., 1985: User's guide to the stand prognostic model. For. Res. Lab. Oregon State Univ., Res. Bull., 9 p.
- Roches, D., 1970: Etude comparative des prix de revient d'une récolte en forêt régulière et en forêt jardinée. Schweiz. Z. Forstwes. 121: 215-238.
- Röhe, P., 1996: Ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Aspekte der Kiefern-naturverjüngungswirtschaft. Forst u. Holz. 51: 38-44.
- Roisin, P., 1981: Sylviculture des futaies feuillues jardinées ou d'allure jardinée en Belgique. Rev. For. Fr. 33, No. spéc. : 113-127.
- Sabroe, A.S., 1959: Plenterartige Behandlung in gemischten Laubwälder. Forstarchiv 30: 125-130.
- Safar, J., 1954: Die Entwicklung des Tannenjungwuchses in den Plenterwäldern Kroatiens. Schweiz. Z. Forstwes. 105: 592-613; : 712-733.
- Schaeffer, A., 1920: Essai de futaie jardinée de feuillus; Conférence à l'occasion du Congrès de 1920 de la Société forestière de Franche-Comté. Bull. Soc. For. Franche-Comté et Belfort. 13: 239-247.
- Schaeffer, A., 1927: Futaie jardinée et futaie claire. Bull. Soc. Forest. Franche-Comté provinces Est 17: 304-306.
- Schaeffer, A., 1938: Le jardinage appliqué aux essences feuillues. Bull. Soc. Forest. Franche-Comté provinces Est. 22: 67-78.

- Schaeffer, A., Gazin, A., D'Alverny, A., 1930: Sapinières; Le jardinage par contenance (Méthode du contrôle par les courbes). Presses Univ. France, Paris. 100 p.
- Schaeffer, L., Schaeffer, A., 1951: Amélioration des taillis sous futaie. Rev. For. Fr. 3: 538-551.
- Schilling, 1949: Studien aus den Buchenblenderwäldern des Hainich. Forstwirtschaft Holzwirtschaft. 3 (16): 252-255.
- Schmidt, M., 1995: Struktur der Plenterüberführungsbestände im Wald La Joux Pélichet (Le Locle/Schweiz). Diplom Thesis, Forstwiss. Fak. Univ. Göttingen, Institut für Forsteinrichtung und Ertragsk. 102 + Anh. p. (not published).
- Schmidt, M., Schütz, J.-Ph., Gadow, K.v., 1997: Strukturanalyse in vier Plenterüberführungsbeständen. Schweiz. Z. Forstwes. 148: 335-352.
- Schneider, O., 1994: Inventaire des recrûs, fourrés perchis et des dégâts causés par le gibier; Val-de-Travers. Rapport à l'attention de la Fondation Binding, Neuchâtel, 27 p + Ann. (not published).
- Schober, R., 1980: Massen-, Sorten- und Wertertrag der Fichte bei verschiedener Durchforstung. Teil II. Allg. Forst- u. J.-Ztg. 151, 1: 1-21.
- Schrempf, W., 1986: Waldbauliche Untersuchungen im Fichten-Tannen-Buchen-Urwald Rothwald und in Urwald-Folgebeständen. Verlag Verbandwiss. Ges. Österr., Wien. 147 p.
- Schütz, J.-Ph., 1969: Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin (*Abies alba* Mill.) et de l'épicéa (*Picea abies* Karst.) dans deux peuplements jardinés et une forêt vierge. Beih. z. Schweiz. Forstverein. (Nr. 44), 115 p.
- Schütz, J.-Ph., 1975: Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin. Schweiz. Z. Forstwes. 126: 637-671.
- Schütz, J.-Ph., 1985a: La production de bois de qualité dans la forêt jardinée. Ann. Gembloux. 91: 147-161.
- Schütz, J.-Ph., 1990c: Sylviculture 1; Principes d'éducation des forêts. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 243 p.
- Schütz, J.-Ph., 1992a: Die waldbauliche Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. Schweiz. Z. Forstwes. 143: 442-460.
- Schütz, J.-Ph., 1994a: Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa. Allg. Forst.- u. J.-Ztg. 165: 106-114.
- Schütz, J.-Ph., 1997: Sylviculture 2; La gestion des forêts irrégulières et mélangées. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 178 p.
- Schütz, J.-Ph., 1998c: Möglichkeiten des Plenterprinzips im mitteleuropäischen Waldbau. in: Bayerischer Forstverein, Jahresber. 1996/97: 108-122.
- Schütz, J.-Ph., 1999a: Praktische Bedeutung der Überführung für die Umsetzung der Plenteridee. Forst u. Holz. 54: 104-108.
- Schütz, J.-Ph., 1999b: Principles of functioning of mixtures in forests stands; Experience of temperate central European forest conditions. in: Management of mixed-species forest; silviculture and economics. Olsthoorn, Bartelink, Gardiner et al. (Eds), IBN Scientific contribution 15, Inst. For Forestry and Nature Research, Wageningen: 219-234.
- Schütz, J.-Ph., 1999c: Erfassung der situativen Konkurrenz in gleichförmigen Fichtenbestockungen aufgrund physiologischen Erkenntnissen und Positionsparametern. in: Beiträge zur Jahrestagung Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst., Sektion Ertragsk., Volpriehausen, 19.-21. Mai 1999, K.G. Kenk (Ed.) : 70-78.
- Schütz, J.-Ph., Rotach, P., 1993: Mittelwaldbetrieb: nostalgische Illusion oder zukunftsträchtiges Waldbaukonzept? Wald Holz. 74, 7 : 8-12.
- Schulz, G., 1993: Betriebswirtschaftliche Aspekte des Plenterwaldes. Allg. ForstZ. 48: 731-733.
- Siegmund, E., 1975: Aufwand und Ertrag bei waldbaulichen Betriebsformen. Dr-Thesis, Forstwiss. Fakultät Univ. Freiburg i.Br. 108 p.
- Siegwald, G., 1994: La gestion des forêts; Réflexions éthiques sur un défi de notre temps. in: Pour une vraie forêt productive et belle. Actes du 1er congrès européen PRO

- SILVA, du 21 au 24 juin 1993 à Besançon. PRO SILVA, Union. des forestiers aux conceptions de gestion proche de la nature (ed.), Besançon:35-44
- Spellmann, H., 1997: Ertragsentwicklung im "LÖWE"-Wald der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. Forst u. Holz 52: 711-718.
- Spellmann, H., 1999: Überführung als betriebliche Aufgabe. Forst u. Holz 54, (4): 110-116.
- Spiecker, H., 1986: Das Wachstum der Tannen und Fichten auf Plenterwald-versuchsflächen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1950 bis 1984. Allg. Forst.- u. J.-Ztg. 157: 152-164.
- Spies, T.A., Franklin, J.F., Klopsch, M., 1990: Canopy gaps in Douglas-fir forests of the Cascade Mountains. Can. J. For. Res. 20: 649-658.
- Steiger, P., 1994: Wälder der Schweiz. Ott, Thun, 359 p.
- Surber, E., 1950: Untersuchungen an Mittelwaldfichten im nordostschweizerischen Laubmischwaldgebiet. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 26, 2 : 635-681.
- Thieme, F., 1999: Erhebliche Kosteneinsparungen durch Harvestereinsatz. Allg. ForstZ. 54, 18: 940-941.
- Torelli, N., 1978: Beitrag zur Oekologie und Physiologie der fakultativen Farbkernbildung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). Dr-Thesis , Biowissenschaftl. Fakultät, Humbolt
- Utschig, H., 1997: Buchenweiserflächen zur Durchforstung der Buchen. Versuchskonzeption und Steuerung. In: Jahrestagung Sekt. Ertragsk. Deutsch. Verb. Forstl. Forschungsanst in Grünenberg, 12.-15.5.1997: 173-185.
- Voss, A., Brandl, H., 1991: Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg; Teil II: Betriebswirtschaftliche Aspekte und Folgerungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche in Baden-Württemberg. Mitt. Forstl. Versuchs-ForschAnst Baden-Württ. (Heft 158) , 92 p.
- Wayne, P., Bazzaz, F.A., 1993: Birch seedling responses to daily time courses of light in experimental forest gaps and shadehouses. Ecology 74: 1500-1515.
- Weidmann, A., 1961: Eignung verschiedener Messargumente und Berechnungsmethoden für die Erfassung von Zustand und Zustandsänderung von Bestockungen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes. 37, 1 : 1-125.
- Wykoff, W.R., Crookston, W.L., Stage, A.R., 1982: User's guide to the stand prognostic model. USDA For. Ser. Techn. Rep.(INT-113):112 p.
- Zeller, E., 1993: Rottenpflege. Ausformung und Benutzung von Baumkollektiven als stabile Bestandeselemente. Ber. Projekt Gebirgswaldpflege II, Nr 3A: 1-49.
- Zycha, H., 1948: Ueber die Kernbildung und verwandte Vorgänge im Holz der Rotbuche. Forstwiss. Cbl. 67: 80-108.