

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

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 142 (1991)

Heft: 4

Artikel: Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald

Autor: Duc, Philippe

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766467>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 17.01.2026

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

Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald¹

Von *Philippe Duc*

FDK 221.4:231:181.6:568

1. Einleitung

Das Hauptziel der Bewirtschaftung von Plenterwäldern besteht darin, einen optimalen Waldaufbau zu erreichen, welcher die dauernd höchste Wertleistung erbringt, das heisst nachhaltig die grösstmögliche Menge von Qualitätsholz produziert (nach *Leibundgut* 1946; *Schütz* 1975). Dieser optimale Waldaufbau entspricht einem dynamischen Gleichgewichtszustand mit mehr oder weniger konstanter Stammzahl und konstantem Vorrat, dem Gleichgewichtsvorrat (von *Bolley* [1916] «étale» genannt). In jeder Durchmesserstufe kompensiert dabei der Einwuchs von Stämmen aus der nächsttieferen Stufe die Abgänge durch Nutzungen und Auswüchse in die nächsthöhere Stufe, und die konstante Nutzungsmenge entspricht dem in der Einrichtungsperiode geleisteten, gleichbleibenden Zuwachs. Dieses sogenannte Plentergleichgewicht bleibt nach *Schütz* (1975) nur erhalten, wenn sich die Verjüngung genügend zahlreich einstellt und gleichzeitig eine genügend grosse Zahl von Nachwuchsstämmen in die unterste Durchmesserstufe einwächst.

Mit der Kontrollmethode lässt sich der Einwuchs von Stämmen (frz. «passage à la futaie») auf einfache Art und Weise bestimmen. Der Einwuchs weist zwar eine grosse Bedeutung für die Forsteinrichtung im Plenterwald auf (*Schütz* 1975), sagt aber wenig über die gegenwärtige Verjüngungssituation aus, da die Kluppierungsschwelle mit 17,5 (Kanton Neuenburg) bzw. 16,0 cm BHD (Kanton Bern) relativ hoch liegt, worauf schon *Ammon* (1951) hingewiesen hat.

Im Kanton Neuenburg wird die Vollkluppierung deshalb mit einer qualitativen Beschreibung des Nachwuchses ergänzt (*Bettelini* 1984). Mit dieser «description spéciale» wird insbesondere beurteilt, ob die Anzahl der vorhandenen Nachwuchsstämmen genügend ist, ob die Baumartenverteilung den Zielvorstellungen entspricht und welcher Anteil der Nachwuchsstämmen aufgrund ihrer Qualität und Vitalität als Zukunftsbäume gelten kann. Die «description spé-

¹ Zusammenfassung einer Diplomarbeit, die an der Professur für Waldbau ausgeführt wurde (*Duc* 1988).

ciale» gibt zweifellos wichtige Hinweise für die Bewirtschaftung von Plenterwäldern; sie liefert jedoch keine genauen Zahlengrundlagen. Aus diesem Grund kann der Bewirtschafter nur bedingt abschätzen, ob die Verjüngung der durch ihn betreuten Wälder genügt, die bestehende Plenterstruktur zu erhalten.

Von besonderem Interesse ist diese Problematik durch die seit längerem zu beobachtenden bedeutenden Ausfälle an Jungpflanzen im Plenterwald, welche hauptsächlich auf die hohen Wildbestände zurückgeführt werden (Frehner 1969; Kammerlander 1978; Eiberle und Holenstein 1985).

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, für einige ausgewählte Plenterbestände im Emmental eine Antwort auf folgende Fragen zu erhalten:

- Wie viele Nachwuchsstämmme sind vorhanden?
- Wie setzt sich der Nachwuchs zusammen, wie ist er räumlich verteilt?
- Welchen Einfluss hat der Vorrat auf die Nachwuchsstammzahl?
- Welches sind die Hauptursachen für den Ausfall von Jungpflanzen?
- Ist der vorhandene Nachwuchs quantitativ und qualitativ ausreichend, um den bestehenden oder berechneten Gleichgewichtszustand zu erhalten?

Zur Klärung dieser Fragen wurden Stichprobeninventuren durchgeführt. Die letzte Frage wurde mit Hilfe eines Modelles über das Plentergleichgewicht (Schütz 1975) zu beantworten versucht.

Tabelle 1. Übersicht über die Untersuchungsflächen.

| WSL-Nr. Name | Höhe m ü.M. | Expo- sition | Neigung ca. % | Standort EK Nr. | Fläche ha | Vorrat m ³ /ha | Fi % | Ta % | Zuwachs m ³ /ha.a | Ein- wuchs St./ha.a |
|-------------------|----------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------|------------------------------|---------|---------|---------------------------------|---------------------------|
| 015-1 Toppwald | 960 | WNW | 30 | 18/ 46 | 1,77 | 455 | 28 | 70 | 9,5 | 7,9 |
| 015-2 Toppwald | 950 | NW | 10 | 18/ 46 | 1,24 | 378 | 44 | 53 | 9,5 | 4,6 |
| 019 Hasliwald | 570 | — | 0 | 8/ 46 | 1,99 | 466 | 18 | 80 | 12,5 | 14,3 |
| 027 Badwald | 880 | NW | 50 | 18 | 1,99 | 362 | 30 | 65 | 10,6 | 6,7 |
| 028 Scharrweg | 960 | N | 25 | 18 | 1,19 | 335 | 24 | 66 | 10,6 | 8,6 |
| 031 Biglenwald | 920 | W | 25 | 18/ 46 | 1,31 | 424 | 62 | 37 | 9,5 | 4,9 |
| 046 Unterhubel | 930 | W | 10 | 46 | 2,00 | 517 | 28 | 71 | 10,7 | 5,7 |
| 047 Rauchgrat | 1060 | SSW | 50 | 19/ 18 | 2,47 | 492 | 7 | 78 | 12,4 | 5,4 |

EK = Ellenberg und Klötzli 1972

Der Vorrat entspricht dem Anfangsvorrat (Vorrat nach dem Eingriff).

Der Zuwachs und der Einwuchs gelten für die vergangene Inventurperiode.

2. Material und Methode

2.1 Untersuchungsflächen

Als Untersuchungsobjekte dienten acht Plenterwald-Versuchsf lächen (*Tabelle 1*) der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Die Versuchsf lächen befinden sich im Emmental und liegen, mit Ausnahme der Flächen Hasliwald (570 m ü.M.) und Rauchgrat (Südexposition), zwischen 800 und 1100 m ü.M. in West- bis Nordexposition.

Die mittlere Jahrestemperatur der Region liegt zwischen 5 und 7 °C, die jährliche Niederschlagsmenge bei 1100 bis 1300 mm. Die geologische Unterlage wird grösstenteils von Nagelfluh gebildet, auf welcher sich tiefgründige Braunerden entwickelt haben. Pflanzensoziologisch sind die Flächen dem Abieti-Fagetum und dem Abietetum zuzuordnen.

2.2 Nachwuchsinv entur

Als Aufnahmeverfahren wurde eine systematische Stichprobeninv entur mit kreisförmigen Probef lächen gewählt. Wegen der zu erwartenden grossen Stammzahlunterschiede von Jungwuchs und Dickung (*Kern 1966; Kammerlander 1978*) drängte sich die Wahl unterschiedlicher Probekreisradien mit konzentrischer Anordnung um das Stichprobenzentrum auf (*Tabelle 2*).

Die Nachwuchs-Stämme wurden unterteilt in die Klassen Jungwuchs (Höhe bis 130 cm) mit den Stufen J1 (10 bis 49 cm), J2 (50 bis 89 cm) und J3 (90 bis 130 cm) und Dickung (Höhe grösser als 130 cm, BHD kleiner als 7,5 cm) mit den Stufen D1 (0,1 bis 3,4 cm BHD) und D2 (3,5 bis 7,4 cm BHD). Die Keimlinge und Sämlinge kleiner als 10 cm wurden zusammengefasst als Keimlinge. Die Aufnahmeargumente sind in der *Tabelle 2* zusammengestellt.

Tabelle 2. Stufeneinteilung, Messargumente und Probef lächengrösse.

| Stufe | Abkürzung | Höhe/ BHD (in cm) | Messargumente | Flächen- grösse |
|-------------|-----------|----------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Keimlinge | K1 | 0 – 9 | Baumart | 10 m ² |
| Jungwuchs 1 | J1 | 10 – 49 | Baumart | 10 m ² |
| Jungwuchs 2 | J2 | 50 – 89 | Baumart, Höhe H, Zuwachs δ H, | 25 oder |
| Jungwuchs 3 | J3 | 90 – 130 | Vitalität, Schäden, Brauchbarkeit | 50 m ² |
| Dickung 1 | D1 | 0,1 – 3,4 | Baumart, Durchmesser (BHD), | 100 m ² |
| Dickung 2 | D2 | 3,5 – 7,4 | Vitalität, Schäden, Brauchbarkeit | 100 m ² |

Die Vitalität wurde aufgrund der Benadelungsdichte angesprochen. Bäume mit schwacher Benadelung wurden als kümmerlich (*kü*) bezeichnet.

Es wurden folgende Schäden unterschieden:

- krumm (*kr*): starke Krümmung der Hauptachse, welche die Brauchbarkeit des betreffenden Bäumchens in Frage stellt.
- Zwiesel (*Zw*): Verlust der Endknospe mit anschliessender Übernahme des Spitzenwachstums durch zwei Seitentriebe.
- Wipfelbruch (*Wi*): Bruch der Stammachse.
- Fegschaden (*Fe*): Verletzung der Stammachse durch Fegen des Rehes.
- Verbiss der Stammachse (*Vs*): mindestens zwei sichtbare Verbisssspuren an der Stammachse (einschliesslich Endknospe).

Die Brauchbarkeit wurde anhand der Schäden, der Vitalität und der sozialen Stellung innerhalb des Nachwuchses für die nächsten fünf Jahre beurteilt. Für die Laubbäume wurde, entsprechend ihrer zukünftigen Hauptfunktion als Nebenbestand, ein weniger strenger Massstab angesetzt. Der Stichprobenumfang wurde mit Hilfe einer Pilotinventur für jedes Untersuchungsobjekt getrennt berechnet. Die zu erreichende Genauigkeit d wurde für die Stufen D1 und D2 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% je auf $\pm 20\%$ festgelegt, was eine Stichprobenzahl zwischen 48 und 62 pro Untersuchungsfläche und insgesamt 452 Stichproben ergab.

2.3 Plentergleichgewicht

Gleichgewichtsmodelle für den Plenterwald sind schon Ende des letzten Jahrhunderts aufgestellt worden. Das Liocourtsche Gesetz (*de Liocourt 1898*), welches die Stammzahlverteilung eines sich im Gleichgewicht befindenden Plenterwaldes als fallende geometrische Reihe darstellt, wie auch die von *H. A. Meyer* (1933) daraus abgeleitete Formel $V(x) = y = k \cdot e^{-\alpha x}$ können nur als allgemeine statistische Ausgleichsformeln betrachtet werden (nach *Prodan* 1949). Erst *François* (1938) entwickelte ein Modell, mit welchem unter Berücksichtigung der natürlichen Gegebenheiten und der waldbaulichen Konzeption Stammzahlverteilungen im Gleichgewicht berechnet werden können. Der Grundgedanke seiner Modellbetrachtung besteht darin, dass bei bekanntem Durchmesserzuwachs und festgelegter Eingriffsstärke pro Durchmesserstufe für jede Stufe eine Stammzahl bestimmt werden kann, welche sich im Verlauf der Zeit nicht ändert. Es wachsen nämlich jeweils nur so viele Stämme in eine bestimmte Stufe ein, wie im gleichen Zeitraum in die nächsthöhere Stufe auswachsen oder durch die Nutzung und auf natürlichem Weg ausfallen.

Neben weiteren Autoren (*Prodan* 1949; *Mitscherlich* 1952) hat *Schütz* (1975) diesen Gedanken weitergeführt. Er untersuchte den Einfluss der Bestandesdichte auf den Durchmesserzuwachs und die Einwüchse und bestimmte mit Hilfe aller vorliegenden Inventuren die durchschnittliche relative Eingriffsstärke pro Durchmesserstufe. Die Erkenntnisse dieser Untersuchung erlauben

es, wirklichkeitsnahe Gleichgewichtsverteilungen herzuleiten und für verschiedene Eingriffsstärken und Zieldurchmesser zu variieren.

Als Grundlage der Gleichgewichtsberechnung dienen nach Schütz (1989):

- der Anteil p (= *passage*) der auswachsenden Stämme pro BHD-Stufe, das heisst der Anteil derjenigen Bäume, welche innerhalb einer Inventurperiode in eine höhere BHD-Stufe einwachsen. Er lässt sich entweder nach der Kontrollmethode oder mit Hilfe des Durchmesserzuwachses nach der folgenden Formel (1) berechnen:

$$\text{Formel 1: } p(\%) = \frac{d*T}{b}$$

p: Anteil der auswachsenden Stämme
d: Ø jährlicher Zuwachs (mm/Jahr)
T: Untersuchungszeitraum (Jahre),
das heisst Dauer der Inventurperiode
b: Stufenbreite = 4 cm BHD

- Der Anteil e (= *exploitation*) der innerhalb einer Inventurperiode genutzten oder natürlich ausgefallenen Stämme pro BHD-Stufe. Er ist abhängig von der waldbaulichen Konzeption des Bewirtschafters (Eingriffsstärke, Zieldurchmesser) und von Umwelteinflüssen.

Bei einer Stammzahlverteilung im Gleichgewicht werden die im Verlauf einer Inventurperiode auswachsenden, ausfallenden oder genutzten Stämme jeder BHD-Stufe durch die gleiche Anzahl einwachsender Stämme ersetzt: Einwüchse = Auswüchse + Ausfälle/Nutzungen bzw.

$$\text{Formel 2: } n_{i-1} * p_{i-1} = n_i * p_i + n_i * e_i$$

(Formel von François)

n_i: Stz. der BHD-Stufe i
n_{i-1}: Stz. der BHD-Stufe i-1
p: % passage (Auswuchs)
e: % exploitation (Nutzung)

Es gibt zwei Möglichkeiten zur Bestimmung der Gleichgewichtsverteilung:

1) Man legt den Zieldurchmesser und dadurch die grösste Durchmesserstufe der theoretischen Stammzahlverteilung fest und berechnet anschliessend nach Formel 2 die Modellstammzahlen der gegen unten sich anschliessenden Durchmesserstufen. Für die Stammzahl der obersten Stufe darf dabei nicht 1 gesetzt, sondern muss etwa 0,1 gewählt werden.

2) Man betrachtet die Veränderung des Einwuchses bzw. der Stammzahl der Durchmesserstufe 1 (10 cm) in Abhängigkeit des Gesamtvorrates. Im Schnittpunkt der festgestellten Regressionsgeraden und einer vom Zieldurchmesser und von der Ausleseintensität abhängigen Modellgeraden kann dann nach Schütz (1981) der Gleichgewichtsvorrat und die notwendige Stammzahl n_1 , welche bei entsprechendem Vorrat für die Erhaltung der Gleichgewichtsverteilung benötigt wird, bestimmt werden. Ausgehend von dieser Anfangsstammzahl n_1 kann die ganze Stammzahlenreihe für die Gleichgewichtsverteilung mit Hilfe der Formel 2 berechnet werden. Danach muss überprüft werden, ob der

berechnete Modellvorrat V_m ($= \sum n_i^* t_i$, wobei t_i dem Tarifvolumen der BHD-Stufe i entspricht) dem Gleichgewichtsvorrat entspricht und ob der Modellzuwachs I_v ($= \sum n_i^* p_i^* \delta t_i$) den Nutzungen ($= \sum n_i^* e_i$) entspricht.

Bei bekannter Anfangsstammzahl n_i der Gleichgewichtsverteilung lassen sich aber auch die für die Erhaltung des Modellgleichgewichts benötigten Stammzahlen der Nachwuchsstufen berechnen. Voraussetzung dazu ist, dass der Anteil e der ausfallenden Stämme genügend genau bestimmt werden kann. Der Anteil p der auswachsenden Stämme pro Durchmesser- bzw. Höhenstufe lässt sich mit Hilfe der Formel 1 leicht bestimmen, wenn der durchschnittliche Durchmesserzuwachs (Stufen D1 und D2) bzw. der Höhenzuwachs (Stufen J2 und J3) bekannt ist.

3. Ergebnisse

3.1 Stammzahlen

Die Tabellen 3 und 4 enthalten die Nachwuchsstammzahlen aller untersuchten Plenterwaldflächen mit den Variationskoeffizienten VK ($=$ Standardabweichung s geteilt durch den Mittelwert \bar{x}).

Tabelle 3. Stammzahl/ha und Variationskoeffizient der Stufen Keimlinge und Jungwuchs 1 bis 3.

| Nr. | Keimlinge | | Jungwuchs 1 | | Jungwuchs 2 | | Jungwuchs 3 | | J2/J3 | |
|-----------|-----------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------|------|
| | Stz. | VK | Stz. | VK | Stz. | VK | Stz. | VK | Stz. | VK |
| 015-1 | 6950 | 1,36 | 1967 | 1,15 | 820 | 2,13 | 280 | 1,94 | 1100 | 1,97 |
| 015-2 | 1020 | 1,72 | 1431 | 2,27 | 212 | 2,55 | 118 | 2,83 | 330 | 1,98 |
| 019 | 27000 | 1,71 | 2667 | 3,08 | 793 | 1,59 | 700 | 1,57 | 1493 | 1,41 |
| 027 | 1320 | 1,82 | 2484 | 2,01 | 858 | 1,58 | 410 | 1,48 | 1268 | 1,40 |
| 028 | 6080 | 1,83 | 1500 | 1,58 | 267 | 2,26 | 192 | 1,85 | 459 | 1,98 |
| 031 | 7307 | 2,33 | 10490 | 1,75 | 1408 | 1,48 | 370 | 1,93 | 1778 | 1,36 |
| 046 | 2840 | 2,14 | 1098 | 1,21 | 325 | 1,84 | 170 | 1,97 | 495 | 1,70 |
| 047 | 2250 | 1,93 | 1304 | 1,80 | 246 | 2,09 | 171 | 2,02 | 417 | 1,95 |
| \bar{x} | 6845,9 | | 2867,6 | | 616,1 | | 301,4 | | 917,5 | |
| s | 8524,3 | | 3130,7 | | 425,2 | | 191,1 | | 562,2 | |
| VI | 12061,9 | | 4430,0 | | 601,6 | | 270,4 | | 795,4 | |

VI = Vertrauensintervall ($p = 80\%$) des Mittelwertes \bar{x} .

In allen Nachwuchsstufen sind zwischen den Untersuchungsflächen grosse Unterschiede in den Pflanzenzahlen erkennbar. Deshalb sind die angegebenen Mittelwerte \bar{x} der Pflanzenzahlen pro Stufe wenig aussagekräftig. Ein Charakteristikum der untersuchten Flächen sind die durchwegs hohen Variationskoeffizienten VK sowohl in der Jungwuchs- als auch in der Dickungsstufe. Sie geben Hinweise auf die Nachwuchsverteilung. Die Fläche 015-2 (Toppwald) weist fast in allen Stufen die niedrigste, die Fläche 019 (Hasliwald) die höchste Pflanzen-

Tabelle 4. Stammzahl/ha und Variationskoeffizient der Stufen D1 und D2.

| Nr. | Dickung 1 | | Dickung 2 | | Total Dickung | |
|-----------|-----------|------|-----------|------|---------------|------|
| | Stz. | VK | Stz. | VK | Stz. | VK |
| 015-1 | 417 | 1,32 | 295 | 0,90 | 712 | 0,98 |
| 015-2 | 124 | 1,78 | 133 | 1,17 | 257 | 1,20 |
| 019 | 1333 | 0,98 | 600 | 0,92 | 1933 | 0,82 |
| 027 | 687 | 1,23 | 360 | 0,98 | 1047 | 1,05 |
| 028 | 540 | 1,19 | 281 | 1,11 | 821 | 1,05 |
| 031 | 1056 | 1,44 | 356 | 1,44 | 1412 | 1,21 |
| 046 | 466 | 1,11 | 351 | 0,85 | 817 | 0,88 |
| 047 | 663 | 0,75 | 318 | 0,96 | 981 | 0,69 |
| \bar{x} | 660,8 | | 336,8 | | 997,5 | |
| s | 379,6 | | 129,4 | | 499,0 | |
| VI | 537,2 | | 183,0 | | 706,1 | |

zahl auf. Beide Flächen sind bezüglich Nachwuchs für Plenterwälder nicht repräsentativ: im Toppwald verhindert eine stellenweise dichte Unkrautvegetation die Verjüngung, im Hasliwald werden seit Jahrzehnten zusätzlich zur natürlichen Verjüngung systematisch Fichten gepflanzt.

Da bei den Keimlingen in den ersten Lebensjahren mit grossen natürlichen Ausfällen zu rechnen ist (Leibundgut 1983), geben die Keimlingszahlen höchstens Hinweise auf die Ansammlungsbedingungen des vorangegangenen Jahres. Auch die Pflanzen der Stufe J1 können noch nicht als gesichert angesehen werden, da der Verbiss durch Rehwild in der Höhenklasse 40 – 70 cm am grössten ist (Zai 1964) und als Folge davon mit erheblichen Verlusten zu rechnen ist. Für eine erste quantitative Beurteilung des Jungwuchses wurden deshalb die Pflanzenzahlen der Stufen J2 und J3 zusammengefasst. Vier Untersuchungsflächen (015-2, 028, 046 und 047) weisen mit weniger als 500 Pflanzen/ha eine mässige Verjüngung auf, vier Flächen (015-1, 019, 027, 031) dagegen können mit mehr als 1100 Pflanzen/ha als stark verjüngt bezeichnet werden.

In der Dickungsstufe (Stufen D1/D2) liegen die Stammzahlen der Flächen 015-2 (Toppwald) und 019 (Hasliwald) ausserhalb des 80%-Vertrauensintervallum des Mittelwert \bar{x} (= 997,5). Alle andern Flächen enthalten zwischen 800 und 1400 Dickungsstämmen/ha. Im Gegensatz zur Jungwuchsstufe werden die Resultate der Dickungsstufe durch die Nachwuchspflege beeinflusst, welche nicht auf allen Flächen durchgeführt wird.

Zwischen der Nachwuchsstammzahl und dem durchschnittlichen Hektarvorrat konnte in keiner der Stufen ein Zusammenhang nachgewiesen werden.

3.2 Nachwuchsverteilung

Neben der Stammzahl interessiert uns für die waldbauliche Beurteilung des Nachwuchses auch dessen räumliche Verteilung.

Der Variationskoeffizient VK der Stammzahlen (*Tabelle 3* und *Tabelle 4*) beträgt in den Jungwuchsstufen in allen Fällen mehr als 1.0, das heisst die Standardabweichung s (und auch die Varianz s^2) ist grösser als der Mittelwert \bar{x} . Nach *Linert* (1973) liegt somit eine Überdispersion vor. Zudem ist der Anteil der Stichproben ohne Jungwuchs ziemlich hoch (*Tabelle 5*). Beides deutet darauf hin, dass die Jungwuchsverteilung nicht einer Normalverteilung entspricht, sondern einer negativen Binomialverteilung ähnlich ist (*Farrokhpur* 1981). In der Dickungsstufe liegen trotz kleineren Variationskoeffizienten und deutlich kleinerem Anteil von Stichproben ohne Stämme ähnliche Verhältnisse vor. Deshalb können für die Nachwuchsstammzahlen der einzelnen Untersuchungsobjekte keine Vertrauensintervalle angegeben werden. Die in den *Tabellen 3* und *4* angegebenen Variationskoeffizienten $VK = s/\bar{x}$ sagen etwas aus über die Homogenität der Nachwuchsverteilung. Grosse Variationskoeffizienten weisen auf eine inhomogene Stammzahlverteilung hin, kleine auf eine homogene. Um dies zu verdeutlichen, wurde untersucht, welcher Anteil der insgesamt 452 Stichproben 0, 1 bis 9, 10 bis 19, 20 bis 29 und mehr als 30 Pflanzen der Keimlings-, der Jungwuchs-(J2/J3) bzw. der Dickungsstufe (D1/D2) aufweist (*Tabelle 5*).

Tabelle 5. Relative Häufigkeit der Pflanzenzahlen pro Stichprobe (mit Minima/Maxima der einzelnen Untersuchungsflächen).

| Stufe | Probeflächen-grösse | Pflanzenzahl/ Stichprobe | | | | |
|------------------------|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|------|
| | | 0 | 1–9 | 10–19 | 20–29 | ≥30 |
| Keimlinge min./max. | 10 m ² | 44,3 | 37,6 | 8,8 | 2,9 | 6,3 |
| | | 19/65 | 31/62 | 0/20 | 0/7 | 0/32 |
| J2/J3 min./max. | 50 m ² | 50,0 | 32,3 | 10,6 | 3,5 | 3,5 |
| | | 43/71 | 19/49 | 4/19 | 0/10 | 0/14 |
| D1/D2 min./max. | 100 m ² | 10,6 | 53,3 | 19,3 | 10,4 | 6,4 |
| | | 2/31 | 20/67 | 4/30 | 0/22 | 0/22 |

Im Schnitt weisen 44,3% der 10 m² grossen Stichproben keine Keimlinge und 50% der 50 m² grossen Stichproben keine Jungwuchsbäumchen auf. Umgekehrt weisen nur 18,0 bzw. 16,8% der Stichproben mehr als 9 Pflanzen der Stufen Keimlinge bzw. Jungwuchs (J2/J3) auf. Die Verjüngung stellt sich also nicht überall und flächendeckend ein, sondern ungefähr auf der halben Fläche unregelmässig zerstreut. Die Stämme der Dickungsstufe sind wesentlich homogener verteilt: nur auf 10% der 100 m²-Stichproben finden sich keine Dickungsstämmen, der überwiegende Teil der Stichproben enthält 1 bis 9 Stämme zwischen 0,1 und 7,4 cm BHD. Zwischen den Untersuchungsflächen bestehen bezüglich Nachwuchsverteilung erhebliche Unterschiede (vgl. minimale und maximale Werte in *Tabelle 5*). Zur graphischen Darstellung der räumlichen Verteilung des Nachwuchses wurden Pläne der Versuchsflächen mit den Stichprobepunkten ergänzt und die Nachwuchsstammzahl mit Balken angegeben, deren

Höhe proportional zur Jungwuchs- (J2/J3) bzw. Dickungsstammzahl (D1/D2) ist. *Abbildung 1* gibt als Beispiel die Nachwuchsverteilung der Fläche Badwald (027) wieder.

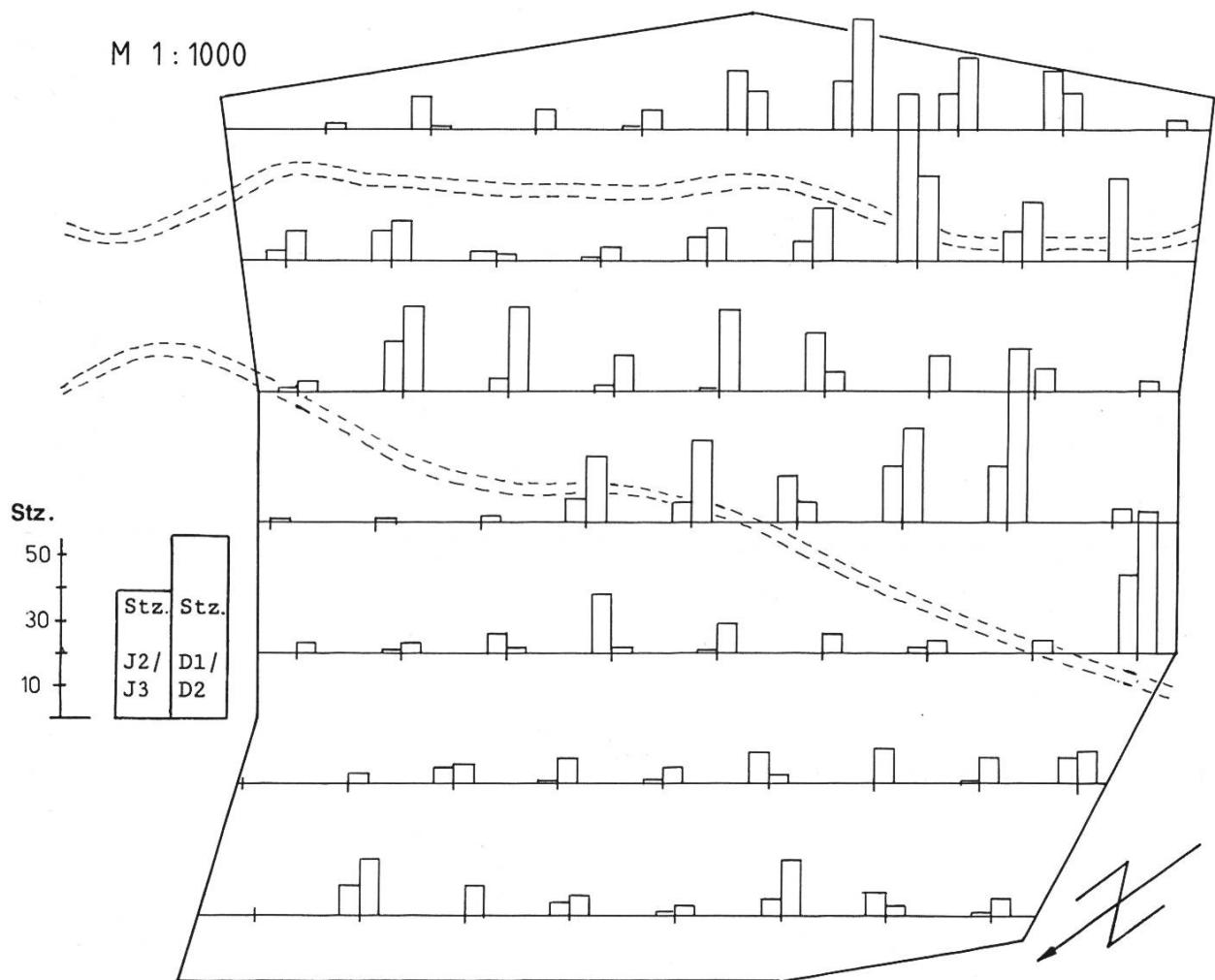


Abbildung 1. Räumliche Nachwuchsverteilung auf der Fläche Badwald (027).

Der Nachwuchs verteilt sich in den Versuchsflächen mehr oder weniger zufällig über die ganze Fläche. In einigen Flächen können aber im Bereich von Waldstrassen Nachwuchskonzentrationen festgestellt werden, welche vermutlich auf zusätzliches Seitenlicht zurückzuführen sind.

3.3 Baumartenzusammensetzung

Der Plenterwald besteht zur Hauptsache aus den Baumarten Tanne, Fichte und Buche, wobei letztere aus wirtschaftlichen Gründen meist stark zurücktritt. Von den strukturprägenden Hauptbaumarten ist die Weisstanne aufgrund ihrer hohen Schattenverträglichkeit und ihrer Fähigkeit, Beschirmung über eine lange Zeitdauer (nach Schütz [1969] bis zu 200 Jahre) aushalten zu können, die zur Plenterung prädestinierte Baumart (Schütz 1989). Zur Erhaltung der Textur

und Struktur von Plenterwäldern ist es nötig, dass sich sowohl die Tanne wie auch die Fichte genügend zahlreich natürlich verjüngen. Die Baumartenzusammensetzung des Nachwuchses spielt deshalb für die Beurteilung der Verjüngungssituation und der Nachhaltigkeit im Plenterwald eine wichtige Rolle. In *Tabelle 6* sind die durchschnittlichen Stammzahlen/ha und die prozentualen Anteile von Fichte, Tanne und Laubholz (überwiegend Buche) für jede Nachwuchsstufe zusammengestellt.

Tabelle 6. Mittlere Stammzahl/ha und Anteil (%) von Fichte, Tanne und Laubholz.

| Stufe | Fichte | Tanne | Laubholz | % Fi | % Ta | % Lbh |
|----------------|--------|-------|----------|------|------|-------|
| K1 | 1222 | 5343 | 281 | 17,9 | 78,0 | 4,1 |
| J1 | 1807 | 695 | 366 | 63,0 | 24,2 | 12,8 |
| J2 | 533 | 45 | 38 | 86,5 | 7,3 | 6,2 |
| J3 | 251 | 35 | 17 | 83,2 | 11,1 | 5,7 |
| D1 | 436 | 124 | 101 | 65,9 | 18,8 | 15,3 |
| D2 | 168 | 133 | 36 | 49,8 | 39,6 | 10,6 |
| Σ J2-D2 | 1388 | 337 | 192 | 72,4 | 17,6 | 10,0 |

Σ J2-D2 = Stufen J2, J3, D1, D2 (gesicherter Nachwuchs).

Die Baumartenzusammensetzung ändert sich von Stufe zu Stufe sehr stark. Bei den Keimlingen überwiegt die Tanne mit einem durchschnittlichen Anteil von rund 80%. In den Stufen J2 und J3 kehrt sich das Zahlenverhältnis von Tanne zu Fichte um: Mehr als 80% Fichten stehen nur rund 10% Tannen gegenüber. Die starke Abnahme der Tanne lässt sich auch mit dem Rückgang der absoluten Pflanzenzahlen dokumentieren: Die Pflanzenzahl der Stufe J2 zum Beispiel entspricht bei der Fichte 30% der Pflanzenzahl der Stufe J1, bei der Tanne bloss 6%. In der Dickungsstufe liegen sowohl der Anteil wie auch die absolute Anzahl der Tannen wieder deutlich höher als im Jungwuchs. Der durchschnittliche Laubholzanteil liegt in allen Stufen unter 20%, die mittlere Stammzahl/ha noch unter derjenigen der Tanne.

3.4 Vitalität und Schäden

Insgesamt wurden an 5280 Nachwuchsstämmen die Vitalität und die vorhandenen Schäden untersucht. Die *Tabellen 7 bis 9* geben für die Stufen J2/J3, D1 und D2 den mittleren Anteil der kümmerlichen und geschädigten Stämme und den Anteil unbrauchbarer Stämme insgesamt und nach Baumarten getrennt an.

Ganz allgemein kann festgestellt werden, dass die Schadenanteile in den Stufen J2/J3 und D1 deutlich höher liegen als in der Stufe D2. Von den 1409 untersuchten Jungwuchsstämmchen wurde gut ein Viertel als unbrauchbar einge-

Tabelle 7. Mittlerer Anteil kümmerlicher und geschädigter Stämme der Stufen J2/J3 und Anteil unbrauchbarer Stämme.

| Schaden | kü | kr | Zw | Wi | Fe | Vs | — |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|
| Fichte | 25 | 12 | 6 | 1 | 4 | 2 | 21 |
| Tanne | 46 | 31 | 14 | 0 | 5 | 30 | 60 |
| Laubholz | 7 | 16 | 17 | 0 | 1 | 30 | 43 |
| <i>Total</i> | 26 | 14 | 8 | 1 | 4 | 8 | 27 |

Legende:

kü: kümmerlich
kr: krumm
Zw: Zwiesel

Wi: Wipfelbruch
Fe: Fegschaden
—: unbrauchbar

Vs: mindestens zwei sichtbare
Verbisssspuren

Tabelle 8. Mittlerer Anteil kümmerlicher und geschädigter Stämme der Stufe D1 und Anteil unbrauchbarer Stämme.

| Schaden | kü | kr | Zw | Wi | Fe | — |
|--------------|----|----|----|----|----|----|
| Fichte | 19 | 9 | 6 | 1 | 7 | 15 |
| Tanne | 40 | 13 | 11 | 1 | 8 | 34 |
| Laubholz | 22 | 44 | 22 | 0 | 8 | 40 |
| <i>Total</i> | 24 | 16 | 10 | 1 | 7 | 23 |

Tabelle 9. Mittlerer Anteil kümmerlicher und geschädigter Stämme der Stufe D2 und Anteil unbrauchbarer Stämme.

| Schaden | kü | kr | Zw | Wi | Fe | — |
|--------------|----|----|----|----|----|----|
| Fichte | 12 | 4 | 3 | 2 | 4 | 7 |
| Tanne | 26 | 6 | 3 | 2 | 2 | 12 |
| Laubholz | 10 | 35 | 7 | 2 | 2 | 14 |
| <i>Total</i> | 18 | 8 | 4 | 2 | 4 | 10 |

stuft, hauptsächlich krumme, zwieselige oder stark verbissene Pflanzen. In der Stufe D1 mit 2504 untersuchten Stämmen liegt der Anteil unbrauchbarer Stämme bei 23%, was auf den bedeutenden Anteil krummer, zwieseliger und gefegter Stämme zurückzuführen ist. Von den 1367 Stämmen der Stufe D2 wurden nur noch 10% als unbrauchbar klassiert. Der hohe Anteil kümmerlicher Bäumchen, das heisst die schlechte Vitalität, spielt für die Beurteilung der Brauchbarkeit nur eine untergeordnete Rolle, da sie im Plenterwald als normale Erscheinung angesehen werden muss (Ammon 1951).

Zwischen den Baumarten bestehen teilweise erhebliche Unterschiede. Die Fichte weist in allen Stufen und in den meisten Schadenkategorien bedeutend kleinere Schadenanteile auf als die Tanne und das Laubholz. In der Jungwuchsstufe (J2/J3) gilt dies insbesondere für die Verbisschäden und die Zwiesel. Zu-

sätzlich weisen die Tannen einen hohen Anteil kümmlicher und die Laubbäume einen hohen Anteil krummer Bäume auf. Daraus ergibt sich für die Linde ein sehr hoher Anteil von 60% als unbrauchbar taxierter Stämme, gegenüber 43% beim Laubholz und 21% bei der Fichte. In den Stufen D1 und D2 fallen die grossen Anteile kümmlicher Tannen und krummer, zwieseliger Laubbäume auf. Die Fegschäden treffen alle Baumarten praktisch gleich stark. Der Anteil unbrauchbarer Stämme liegt in der Stufe D1 bei der Linde und beim Laubholz über einem Drittel, bei der Fichte um 15%, in der Stufe D2 bei allen drei Baumarten im Bereich von 10%.

3.5 Höhenzuwachs

Der mittlere Höhenzuwachs von Fichte und Linde wurde in den Stufen J2 und J3 durch Messung der letzten fünf Jahrestriebe bestimmt. Er dient als Grundlage für die Berechnung der Modellstammzahlen. In *Tabelle 10* ist der durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs aller Untersuchungsflächen, der minimale und maximale mittlere Höhenzuwachs einzelner Untersuchungsflächen und der minimale und maximale Höhenzuwachs von Einzelbäumen je für Fichte und Linde getrennt angegeben.

Tabelle 10. Mittlerer, minimaler und maximaler Höhenzuwachs (cm/Jahr) von Fichte und Linde in den Stufen J2 und J3.

| | \bar{x} | Jungwuchs 2 | | \bar{x} | Jungwuchs 3 | |
|--------|-----------|--|--------------------------|-----------|--|--------------------------|
| | | Mittelwerte einzelner Flächen min./ max. | Einzelwert min./ max. | | Mittelwerte einzelner Flächen min./ max. | Einzelwert min./ max. |
| Fichte | 4,48 | 3,0/6,1 | 0,8/14,0 | 6,08 | 3,8/7,6 | 1,0/17,4 |
| Tanne | 3,93 | 2,6/4,6 | 0,6/11,4 | 5,25 | 3,2/7,2 | 1,4/17,0 |

Die Fichte weist in den beiden Jungwuchsstufen J2 und J3 einen etwas grösseren mittleren Höhenzuwachs auf als die Linde, ohne dass die Unterschiede statistisch gesichert wären. Der Höhenzuwachs von Einzelbäumen variiert sehr stark von weniger als einem cm/Jahr bis zu 17 cm/Jahr. Für weitergehende Berechnungen standen für die Linde zu wenig Werte zur Verfügung. Bei der Fichte wurde ein enger linearer Zusammenhang zwischen der Pflanzenhöhe H, unterteilt in die vier Höhenklassen 50 bis 69, 70 bis 89, 90 bis 109 und 110 bis 129 cm Höhe, und dem mittleren Höhenzuwachs δh festgestellt:

$$F(H) = \delta h = 0,0275 \cdot H + 2,635 \\ (r = 0,99).$$

3.6 Nachhaltigkeit des Plenter nachwuchses

Die eingangs gestellte Frage, ob der vorhandene Nachwuchs zur Erhaltung der Plenterstruktur mittel- bis langfristig genüge, wird nachfolgend mit Hilfe des in Kapitel 2.3 skizzierten Modells untersucht.

Die Modellberechnungen liefern uns mit den Modellstammzahlen diejenige Anzahl Nachwuchsstämmme, welche zur dauernden Erhaltung einer idealen, sich im Gleichgewicht befindenden Stammzahlverteilung nötig sind. Die für die Berechnung der Modellstammzahlen benötigten Eingangsgrößen wurden folgendermassen bestimmt oder berechnet:

- Die Modellstammzahlen der Durchmesser-Stufe 1 (7,5 bis 11,4 cm BHD) wurden einer nur teilweise veröffentlichten Arbeit von Schütz (1981) über die Gleichgewichtsverteilungen der Plenterwald-Versuchsflächen entnommen und liegen zwischen 150 und 200 Stämmen pro Hektare.
- Der *Anteil p* (= Auswuchs) der innerhalb einer bestimmten Periode t (hier $t = 10$ Jahre) aus einer Stufe x_i in die nächstobere Stufe x_{i+1} auswachsenden Stämme wurde mit Hilfe des mittleren Höhen- (Stufen J2/J3) bzw. des Durchmesserzuwachses (Stufen D1 und D2) berechnet. Der Durchmesserzuwachs der Dickungsstufen D1 und D2 wurde aufgrund von Literaturangaben (Badoux 1949) und durch eigene Messungen an Stammscheiben natürlich ausgeschiedener oder bei der Nachwuchspflege entfernter Bäume der Stufe D1 auf durchschnittlich 1,2 mm/Jahr festgelegt, was einem Auswuchsprozent von 30% in 10 Jahren entspricht.
- Der *Anteil e* (= Nutzungen) der innerhalb einer bestimmten Periode ausgefallenen oder genutzten Stämme wurde mangels langfristiger Untersuchungen gutachtlich festgelegt, unter Berücksichtigung der festgestellten Schäden (vgl. Kapitel 3.4) und der Nachwuchspflege.

Da die Anteile p und e für die Nachwuchsstufen nicht genau bestimmbar sind, wurden drei Modellvarianten berechnet, welche die mögliche Streubreite der notwendigen Nachwuchsstammzahlen angeben sollen. Die Variante 1 stellt den ungünstigsten möglichen Fall dar, nämlich grosse Ausfälle bei kleinem Zuwachs. Variante 2 stellt den wahrscheinlichsten, Variante 3 den günstigsten Fall (grosser Zuwachs, kleine Ausfälle) dar. Die Berechnungsgrundlagen sind in *Tabelle 11* zusammengestellt.

Tabelle 11. Grundlagen für die Berechnung der Modellstammzahlen.

| Stufe | Auswuchsprozent p (%) | | | Ausfallprozent e (%) | | |
|-------|-------------------------|---------|---------|------------------------|--------|--------|
| | Var. 1 | Var. 2 | Var. 3 | Var. 1 | Var. 2 | Var. 3 |
| J2 | 80–110 | 105–135 | 130–160 | 30 | 25 | 20 |
| J3 | 100–150 | 125–175 | 150–200 | 30 | 25 | 20 |
| D1 | 20 | 30 | 40 | 25 | 20 | 15 |
| D2 | 20 | 30 | 40 | 15 | 10 | 5 |

Ausgehend von der Modellstammzahl n_1 und den Anteilen p_1 und e_1 der Durchmesserstufe 1 wurden die Modellstammzahlen der Nachwuchsstufen nach der aus Formel 2 abgeleiteten Formel $n_{i-1} = n_i * (p_1 + e_1) / p_{i-1}$ berechnet.

Tabelle 12. Modellstammzahlen der Stufen J2, J3, D1 und D2.

| Fläche Nr. | J2 nm | (50–89) ns/nl | J3 nm | (90–129) ns/nl | D1 nm | (0.1–3.4) ns/nl | D2 nm | (3.5–7.4) ns/nl |
|---------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|--------------------|----------|--------------------|
| 015-1 | 136 | 76/320 | 95 | 57/200 | 294 | 186/578 | 220 | 165/330 |
| 015-2 | 114 | 63/267 | 79 | 47/167 | 245 | 155/482 | 184 | 138/275 |
| 019 | 200 | 113/456 | 135 | 82/279 | 472 | 299/929 | 354 | 266/531 |
| 027 | 191 | 108/436 | 129 | 78/266 | 451 | 285/888 | 338 | 254/507 |
| 028 | 191 | 108/436 | 129 | 78/266 | 451 | 285/888 | 338 | 254/507 |
| 031 | 136 | 76/320 | 95 | 57/200 | 294 | 186/578 | 220 | 165/330 |
| 046 | 101 | 54/255 | 71 | 41/157 | 177 | 112/349 | 133 | 100/199 |
| 047 | 160 | 88/381 | 110 | 66/234 | 329 | 208/649 | 247 | 185/371 |

Legende:

nm: Modellstammzahl für die Variante m (mittlerer Zuwachs, mittlere Ausfälle)

ns/nl: Modellstammzahlen für die Varianten s und l (s = grosser Zuwachs, kleine Ausfälle, l = kleiner Zuwachs, grosse Ausfälle)

In den in *Tabelle 12* angegebenen Modellstammzahlen sind die Laubbäume enthalten. Der Buche als wichtigstem Laubbaum des Plenterwaldes fällt jedoch nur eine Rolle als Begleitbaumart zu (Mitscherlich 1952), und ihr Anteil sollte nach Schütz (1989) 10% des Volumens nicht überschreiten. Da der Bewirtschaf- ter in erster Linie an einer nachhaltigen Nadelholzverjüngung interessiert ist, werden zur Beurteilung der Nachwuchssituation die effektiv vorhandenen, brauchbaren Nadelbäume mit der um die Laubbäume reduzierten Modellstammzahl verglichen (*Tabelle 13*). Dabei wird der Laubholzanteil an der Nachwuchsstammzahl auf 10%, in den buchenreichen Flächen 027, 028 und 047 auf 20% festgelegt. Im Sinne des Modelles zu wenig Nachwuchs enthalten die Flächen 015-2, 028 und 047 in den Dickungsstufen D1 und D2 und die Fläche 028 in den Jungwuchsstufen J2 und J3.

Eine im Vergleich zur Modellstammzahl genügende Zahl von brauchbaren Nadelholzstämmen garantiert für sich allein mittelfristig noch nicht die Erhaltung der Plenterstruktur. Dazu müsste der Nachwuchs mehr oder weniger auf der ganzen Fläche verteilt sein, ohne aber flächendeckend aufzukommen. Zur Beurteilung der Flächenwirksamkeit des Nachwuchses wurde untersucht, welcher Anteil der Stichproben genügend verjüngt ist. Eine genügende Verjüngung liegt dann vor, wenn der Nachwuchs der Hauptbaumarten Fichte und Tanne auf der untersuchten Stichprobefläche insgesamt, das heisst unter Berücksichti- gung aller Stufen, eine bestimmte, mittels Modellberechnungen ermittelte Pflanzenzahl erreicht. Zur Berechnung des Verjüngungswertes wurde auf das Verfahren von *Gadola* und *Stierlin* (1978) zurückgegriffen. Der Verjüngungs- wert VW der Einzelstichprobe ergibt sich als Summe der Relativwerte der Ver- jüngung pro Stufe. Der Relativwert RW ist der Quotient der Zahl der brauch-

Tabelle 13. Vergleich der vorhandenen, brauchbaren Nadelholzstämme mit den korrigierten Modellstammzahlen.

| Fläche Nr. | J2 | | J3 | | D1 | | D2 | |
|---------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | n_{nb} | n_m | n_{nb} | n_m | n_{nb} | n_m | n_{nb} | n_m |
| 015-1 | 713 | > 122 | 273 | > 86 | 357 | > 265 | 255 | > 198 |
| 015-2 | 204 | > 103 | 94 | > 71 | 108 | < 221 | 118 | < 166 |
| 019 | 633 | > 180 | 593 | > 122 | 1083 | > 425 | 517 | > 319 |
| 027 | 550 | > 153 | 258 | > 116 | 448 | > 361 | 313 | > 270 |
| 028 | 92 | < 153 | 54 | < 116 | 169 | < 361 | 219 | < 270 |
| 031 | 1138 | > 122 | 311 | > 86 | 899 | > 265 | 302 | > 198 |
| 046 | 184 | > 91 | 85 | > 64 | 331 | > 159 | 287 | > 120 |
| 047 | 146 | > 128 | 89 | < 99 | 236 | < 263 | 188 | < 198 |

n_{nb} : Anzahl brauchbare Nadelholzstämme/ha

n_m : Modellstammzahl/ha abzüglich 10% (Flächen 015-1, 015-2, 019, 031 und 046) bzw. 20% (Fl. 027, 028, 047) für den Laubholzanteil.

baren Nachwuchsstämmchen und der Modellstammzahl der entsprechenden Stufe. Für die Einzelstichproben wurden folgende Modellstammzahlen abgeleitet:

Stufe Jungwuchs 2/3 (50–130 cm H): 1,5 Pflanzen auf 50 m²

Stufe Dickung 1 (0,1–3,4 cm BHD): 4,0 Stämmchen auf 100 m²

Stufe Dickung 2 (3,5–7,4 cm BHD): 3,0 Stämmchen auf 100 m²

Daraus ergibt sich für die Berechnung des Verjüngungswertes folgende Formel:

$$\begin{aligned} \text{Verjüngungswert} \quad & \text{VW} = \sum \text{RW} = \text{RW J} + \text{RW D1} + \text{RW D2} \\ & \text{VW} = (n_J/n_{mJ}) + (n_{D1}/n_{mD1}) + (n_{D2}/n_{mD2}) \end{aligned}$$

$n_J/n_{D1}/n_{D2}$: Nadelholzstammzahlen der Stufen J/D1/D2

$n_{mJ}/n_{mD1}/n_{mD2}$: Nadelholz-Modellstammzahl der Stufen J/D1/D2

Da die Ausfälle bei der Berechnung der Modellstammzahlen schon berücksichtigt wurden, gilt eine Stichprobe als genügend verjüngt, wenn der Verjüngungswert VW mehr als 1,0 beträgt. Flächen mit einem VW zwischen 2,0 und 3,99 können als gut verjüngt, solche mit einem VW über 4,0 als üppig verjüngt bezeichnet werden. Ein VW kleiner als 1,0 bezeichnet ungenügend verjüngte Stichprobeflächen. Die Anteile der erwähnten Kategorien sind in Tabelle 14 zusammengestellt.

Insgesamt weist mehr als ein Drittel der 452 Stichprobeflächen eine ungenügende Nachwuchsstammzahl auf, ein weiteres Drittel kann im Sinne des Nachhaltigkeitsmodells als üppig verjüngt bezeichnet werden. Dies weist auf eine klumpige Verteilung der brauchbaren Nadelholz-Nachwuchsstämmme hin. Die Flächen 015–1, 028 und 047, welche eine zu kleine Dickungsstammzahl aufweisen (Tabelle 13), enthalten mehr als 50% ungenügend verjüngter Stichprobeflächen.

Tabelle 14: Anteil der ungenügend, genügend, gut und üppig verjüngten Stichprobeflächen pro Untersuchungsfläche (in %).

| Fläche Nr. | < 1,0 | Verjüngungswert VW | | |
|---------------|-------|--------------------|------------|-------|
| | | 1,0 – 1,99 | 2,0 – 3,99 | ≥ 4,0 |
| 015-1 | 30 | 18 | 22 | 30 |
| 015-2 | 55 | 16 | 16 | 14 |
| 019 | 17 | 5 | 13 | 65 |
| 027 | 21 | 21 | 15 | 44 |
| 028 | 58 | 12 | 6 | 23 |
| 031 | 30 | 9 | 15 | 46 |
| 046 | 30 | 20 | 30 | 21 |
| 047 | 52 | 18 | 12 | 18 |
| Total | 35,4 | 15,0 | 16,4 | 33,2 |

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Stammzahlen der untersuchten Plenterwaldflächen betragen im Mittel sowohl in der Jungwuchs- (50 bis 130 cm Höhe) als auch in der Dickungsstufe (0,1 bis 7,4 cm BHD) um die tausend Bäumchen pro ha, wobei rund $\frac{2}{3}$ der Stämme auf die Stufe J2 bzw. D1 entfallen. Die in den *Tabellen 3* und *4* angegebenen Nachwuchs-Stammzahlen stimmen recht gut mit früheren Untersuchungen in Emmentaler Plenterwäldern (*Burger* 1942; *Leibundgut* 1972) überein.

Untersuchungen von *Mitscherlich* (1961) und *Kern* (1966) im Schwarzwald wie auch von *Kammerlander* (1978) im Raum Tirol ergaben vor allem für die Jungwuchsstufe bedeutend höhere Pflanzenzahlen. Aufgrund der Stammzahlen kann einzig auf Fläche 015-2 von einem ungenügenden Nachwuchs gesprochen werden. Die Verjüngungsschwierigkeiten sind dort auf die starke Krautkonkurrenz, vor allem durch Farne, zurückzuführen.

Aus der Untersuchung der Nachwuchsverteilung geht hervor, dass sich die Verjüngung (Keimlinge und Jungwuchs) nicht einzeln und flächendeckend, sondern in unregelmässig verteilten Gruppen einstellt. Diese Erscheinung wird bereits von *Mitscherlich* (1952, 1961) und von *Köstler* (1956) beschrieben und durch die im Lauf der Zeit wechselnden Standortsbedingungen, vor allem bezüglich Licht und Wärme, erklärt.

Wegen der starken Konkurrenz innerhalb dieser Jungwuchsgruppen wird die Nachwuchspflege als nötig erachtet, insbesondere auch, um die mässige Vitalität des Unterstandes zu fördern.

In der Baumartenzusammensetzung insbesondere des Jungwuchses besteht praktisch auf allen Flächen ein starkes Ungleichgewicht zugunsten der Fichte und zuungunsten der Tanne. Der gesamthaft sehr hohe Fichtenanteil in den vorwiegend tannenreichen Beständen (vgl. *Tabelle 1*) kann kaum durch den natürlichen Baumartenwechsel im Plenterwald (*Simak* 1951) erklärt werden, da er

auch auf Flächen mit einem hohen Fichtenanteil festgestellt wurde. Zudem weist die Dickungsstufe einen viel höheren Tannenanteil auf als die Jungwuchsstufe, ohne dass sich der Anteil der Tanne an der gesamten Grundfläche in den letzten 50 Jahren wesentlich verändert hätte. Auch hat *Nagel* (1950) zumindest für die Neuenburger Plenterwälder gezeigt, dass sich die Tanne sehr wohl unter ihresgleichen zu verjüngen vermag. Auf das Ausbleiben der Tannenverjüngung in den Plenterwäldern Süddeutschlands haben Köstler (1956) und Mitscherlich (1961) schon vor 30 Jahren aufmerksam gemacht. Mitscherlich spricht in diesem Zusammenhang sogar von einer Verfichtung des Plenterwaldes. Sollte diese Tendenz anhalten, so ist mittel- bis langfristig mit einem völligen Verlust der für den Plenterwald überaus wichtigen Baumart Tanne zu rechnen. Bestehender Tannennachwuchs ist deshalb konsequent zu schützen und zu fördern.

Der Anteil unbrauchbarer Stämme nimmt im Mittel von der Jungwuchsstufe zur Dickungsstufe 2 von 25% auf rund 10% ab. Zwischen den Untersuchungsflächen bestehen erhebliche Unterschiede, welche einerseits auf die unterschiedliche Nachwuchspflege hinweisen, andererseits aber auch auf die ungleichen biotischen Belastungen zurückzuführen sind.

Bei der Beurteilung der Brauchbarkeit fallen vor allem diejenigen Schäden negativ ins Gewicht, welche die Qualität der Bäume beeinträchtigen: starke Krümmungen der Schaftachse, Fegschäden, starker Verbiss, Zwiesel und Wipfelbrüche. Die schlechte Vitalität insbesondere der Tanne dagegen wurde für die Unterscheidung in brauchbar oder unbrauchbar nur am Rande berücksichtigt, da kümmerlicher Jungwuchs eine für den Plenterwald normale Erscheinung darstellt (*Ammon* 1951). Der hohe Anteil kümmerlicher Bäumchen gibt allenfalls Hinweise auf die dürftigen Lichtverhältnisse für den Unterstand des Plenterwaldes.

Auf die Brauchbarkeit des Nachwuchses wirken sich die Wildschäden am stärksten aus. Die Verbisschäden fallen insbesondere bei der Tanne und den Laubbäumen dermassen hoch aus, dass in einzelnen Flächen mit verbissbedingter Mortalität (vgl. *Eiberle* und *Nigg*, 1983) und längerfristig mit dem Ausfall der Tanne zu rechnen ist. Zu ähnlichen Schlüssen sind schon frühere Untersuchungen in fast allen wichtigen Plenterwaldgebieten gekommen: Köstler (1956), Mitscherlich (1961), Kammerlander (1978) und *Eiberle* und *Holenstein* (1985). Kurz- bis mittelfristig müssen deshalb bestehende Tannenverjüngungen konsequent vor Wildverbiss geschützt und allenfalls Tannen unterpflanzt werden. Mittel- bis langfristig ist die Reduktion der hohen Rehwildbestände unumgänglich.

Die Fegschäden wirken sich wegen des häufigen anschliessenden Befalls durch Wund- und Fäulepilze ungünstig auf die weitere Brauchbarkeit der Nachwuchsstämme aus. In gepflegten Nachwuchsgruppen sollten deshalb die Elitebäume mit einfachen Mitteln vor dem Fegen geschützt werden. Neben den Wildschäden beeinträchtigen auch Stammkrümmungen die Brauchbarkeit des Nachwuchses. Davon betroffen sind in erster Linie die Laubbäume (vor allem

Buchen) der Dickungsstufen, welche offensichtlich stärker auf Seitenlicht reagieren als die Nadelbäume. Als Folge der Verbissbelastung weisen aber auch die Tannen der Jungwuchsstufen einen hohen Anteil krummer Stämmchen auf.

Der durchschnittliche Höhenzuwachs beträgt in der Jungwuchsstufe sowohl für Fichte wie für Tanne 4 bis 6 cm/Jahr. Frühere Untersuchungen von Mitscherlich und *Weihe* (1952) ergaben etwas grössere (5 bis 20 cm/Jahr), solche von *Kupfer* (1980) in der Versuchsfläche Unterhubel (046) etwa übereinstimmende mittlere Höhenzuwächse. Bei der Fichte besteht ein statistisch gesicherter, linearer Zusammenhang zwischen der Pflanzenhöhe und dem Höhenzuwachs, was mit den Ergebnissen von *Kupfer* (1980) übereinstimmt.

Die Modellrechnung ergibt mittlere notwendige Nachwuchsstammzahlen von 260/ha in der Jungwuchsstufe ab 50 cm und von 600 in der Dickungsstufe von 0,1 bis 7,4 cm BHD. Bei einem Auswuchsprozent von 30% wachsen also im Schnitt jährlich 7,6 Stämme pro ha von der Stufe D2 in die Durchmesserstufe 1 ein. Diese Zahl ist weder mit dem von *Schäffer et al.* (1930) angegebenen genügenden Einwuchs von 1,5 sv pro ha und Jahr (rund 6 Stämme pro ha und Jahr) noch mit den von *Schütz* (1975) als nötig erachteten 3 bis 7 Stämmen pro ha und Jahr vergleichbar, da in diesen Untersuchungen die Kluppierungsschwelle bei 17,5 cm BHD gewählt wurde.

Die Berechnung der Flächenwirksamkeit der Verjüngung ergibt, dass durchschnittlich rund zwei Drittel aller Stichproben genügend verjüngt sind. Die Untersuchungsflächen mit ungenügenden Nachwuchsstammzahlen weisen einen Anteil von mehr als 50% ungenügend verjüngter Stichprobeflächen auf. Indirekt kann daraus abgeleitet werden, dass für eine nachhaltige Verjüngung mehr als die Hälfte der untersuchten Stichproben genügend brauchbaren Nachwuchs enthalten sollte.

Insgesamt stellt das verwendete Gleichgewichtsmodell nach *Schütz* (1975) ein gutes Hilfsmittel zur differenzierten, quantitativen Beurteilung der aktuellen Verjüngungs- und Nachwuchssituation dar. So kommt beispielsweise der mittelfristig zu erwartende Nachwuchsmangel auf den Flächen 028 und 047 allein aufgrund der Nachwuchsstammzahlen kaum, mit Hilfe der Modellrechnungen jedoch deutlich zum Ausdruck. Das Modell scheint deshalb für eine quantitative Beurteilung des Nachwuchses geeignet, vorausgesetzt, dass die dafür benötigten Parameter n_i , p_i und e_i genügend genau bestimmt werden können.

Wegen des grossen Zeitaufwandes und der hohen zusätzlichen Kosten wird die Durchführung von Nachwuchs inventuren im Plenterwald auch in Zukunft nur in besonderen Fällen, zum Beispiel bei örtlichen Verjüngungsschwierigkeiten oder als Planungsgrundlage für die Schalenwildbewirtschaftung, in Frage kommen.

Résumé

Etude de la dynamique du rajeunissement en forêt jardinée

L'importance d'un rajeunissement naturel suffisant en forêt jardinée est incontestée. Néanmoins, une idée concrète fait défaut en ce qui concerne le nombre de tiges au stade du recrû ou du fourré qui serait suffisant pour maintenir la structure jardinée existante. Le présent travail a pour but l'étude qualitative et quantitative du rajeunissement dans quelques forêts jardinées de l'étage montagnard et l'établissement de comparaisons sur la base d'un modèle. Huit parcelles ont été choisies dans l'Emmental parmi les parcelles expérimentales de l'institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP, anciennement IFRF).

Les principaux résultats sont résumés ci-dessous:

- Le nombre de tiges atteignant une hauteur de 50 à 130 cm varie entre 330 et 1780 par ha, avec une moyenne arithmétique de 920 tiges/ha. Le nombre de tiges atteignant un dhp de 0,1 à 3,4 cm varie entre 124 et 1333 par ha, avec une moyenne de 660 tiges/ha, celui des tiges atteignant un dhp de 3,5 à 7,4 cm varie de 133 à 600 tiges par ha, avec une moyenne de 336 tiges/ha, soit un total d'environ 1000 tiges/ha au stade du fourré (0,1 à 7,4 cm dhp).
- Au stade du recrû, la répartition spatiale est hétérogène, les tiges se répartissant dans des groupes irréguliers, alors qu'au stade du fourré, elle est nettement plus homogène.
- Bien que l'on trouve des semis de sapin en grande quantité, cette essence est pratiquement absente au stade du recrû. Les feuillus sont présents dans tous les stades de développement, mais ne dépassent pas 15% du nombre de tiges. L'épicéa est l'essence dominante, surtout au stade du recrû.
- Le sapin et les feuillus sont fortement abrutis par le gibier, contrairement à l'épicéa. Les fourches et les courbures de l'axe représentent d'autres dégâts ou défauts importants. Il en résulte, en particulier pour le sapin, une proportion importante d'arbres inutilisables.
- La croissance en hauteur moyenne du recrû se situe entre 4 et 6 cm/an, avec une légère supériorité de l'épicéa face au sapin.
- Le nombre de tiges suffisant d'après le modèle de répartition équilibrée se trouve entre 190 et 340 tiges/ha au stade du recrû entre 50 et 130 cm de hauteur et entre 310 et 830 tiges/ha au stade du fourré. Un nombre de tiges insuffisant au sens du modèle a été constaté dans 3 des 8 parcelles étudiées.

On peut en tirer les conclusions suivantes:

- Les groupes de rajeunissement étant relativement denses et les jeunes arbres peu vitaux, le petit jardinage est nécessaire.
- Le sapin doit être protégé individuellement contre les dégâts du gibier dans toutes les parcelles étudiées.
- Il peut s'avérer nécessaire de planter des sapins, éventuellement des épicéas en cas de difficultés majeures de rajeunissement ou d'importantes pertes dues au gibier.
- Pour maintenir une proportion importante de sapins, il est inévitable de résoudre le problème du gibier.
- Le modèle utilisé nous permet de déterminer le nombre de tiges suffisant pour maintenir un état d'équilibre en futaie jardinée.

Traduction: *P. Schneider*

- Ammon, W.* (1951): Das Plenterprinzip in der Waldwirtschaft. Verlag Haupt, Bern und Stuttgart, 158 S.
- Badoux, E.* (1949): L'allure de l'accroissement dans la forêt jardinée. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. Bd. 26 (1): 9–58.
- Bettelini, D.* (1984): La planification des exploitations ligneuses par la méthode du contrôle. Skript Fachbereich Forsteinrichtung.
- Bolley, H.* (1916): L'anomalisme du «matériel normal». Journal forest. suisse, 67 (1/2): 1–14.
- Burger, H.* (1942): Holz, Blattmenge und Zuwachs. Ein Plenterwald mittlerer Standortsgüte: Der bernische Staatswald Toppwald im Emmental. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. Bd. 22 (2): 377–445.
- Duc, Ph.* (1988): Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses in Emmentaler Plenterwaldflächen unterschiedlicher Vorratsstruktur. Diplomarbeit ETH Zürich, Abteilung für Forstwirtschaft. Unveröffentlicht.
- Eiberle, K., Nigg, H.* (1983): Über die Folgen des Wildverbisses an Fichte und Weisstanne in montaner Lage. Schweiz. Z. Forstwes., 134 (5): 361–372.
- Eiberle, K., Holenstein, B.* (1985): Angebot und Nutzung der Verbissfleden durch das Reh in unterschiedlichen Plenterwaldtypen. Cbl. f. d. gesamte Forstwesen, 102 (3): 117–133.
- Ellenberg, H., Klötzli, F.* (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. Bd. 48 (4): 589–930.
- Farrokhpur, B.* (1981): Waldbaulich-ökologische Untersuchungen zur Verjüngung von Fichten-, Tannen-, Buchen-Mischbeständen. Diss. Univ. Freiburg, 1981.
- François, T.* (1938): La composition théorique normale des futaies jardinées de Savoie. Rev. eaux et forêts, 76 (1/2): 1–18/101–115.
- Frehner, H. K.* (1969): Wild und Plenterwald. Bündnerwald, 22 (11): 16–19.
- Gadola, C., Stierlin, H. R.* (1978): Die Erfassung von Verbiss- und Fegeschäden in Jungwaldflächen. Schweiz. Z. Forstwes., 129 (9): 727–756.
- Kammerlander, H.* (1978): Aufbau, Verjüngung und Verbissgefährdung der Plenterwälder im Raum Kufstein/Tirol. Schweiz. Z. Forstwes., 129 (9): 711–726.
- Kern, K. G.* (1966): Wachstum und Umweltfaktoren im Schlag- und Plenterwald. Schriftenreihe d. forstl. Abt. d. Univ. Freiburg i. Br., Bd. 5.
- Köstler, J. N.* (1956): Allgäuer Plenterwaldtypen. Forstw. Cbl., 75 (9/10): 423–458.
- Kupfer, F.* (1980): Analyse der Höhenentwicklung und der waldbaulichen Brauchbarkeit des Nachwuchses in einem Plenterwald der montanen Stufe in Zusammenhang mit Bestandesstrukturmerkmalen. Diplomarbeit ETH Zürich, Abteilung für Forstwirtschaft. Unveröffentlicht.
- Leibundgut, H.* (1946): Femelschlag und Plenterung: Beitrag zur Festlegung waldbaulicher Begriffe. Schweiz. Z. Forstwes., 97 (7): 306–317.
- Leibundgut, H.* (1972): Struktur eines Emmentaler Plenterwaldes. Forstw. Cbl., 91 (4): 222–237.
- Leibundgut, H.* (1983): Der Wald: Eine Lebensgemeinschaft. Verlag Huber, Frauenfeld und Stuttgart, 214 S.
- Linert, G. A.* (1973): Vertilgungsfreie Methoden in der Biostatistik. Bd. 1, Meissenheim, 736 S.
- de Liocourt, F.* (1898): De l'aménagement des sapinières. Bull. soc. forest. Franche-Comté et Belfort, 4: 396–409.
- Meyer, H. A.* (1933): Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes. Schweiz. Z. Forstwes., 84 (1/3/4): 33–46/88–103/124–131.
- Mitscherlich, G.* (1952): Der Tannen-Fichten-(Buchen-) Plenterwald. Schriftenreihe Bad. forstl. Versuchsanst., Heft 8, Freiburg i. Br.
- Mitscherlich, G.* (1961): Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. Allg. Forst- u. J. Ztg., 132 (3/4): 61–73/85–96.
- Mitscherlich, G., Weihe, J.* (1952): Untersuchungen an Tannenjungwüchsen. Allg. Forst- u. J. Ztg., 124 (1): 33–39.
- Nagel, J.-L.* (1950): Changement d'essences. Schweiz. Z. Forstwes., 101 (2/3): 95–104.
- Prodan, M.* (1949): Die theoretische Bestimmung des Gleichgewichtszustandes im Plenterwalde. Schweiz. Z. Forstwes., 100 (2): 81–99.
- Schaeffer, A., Gazin, A., d'Alverny, A.* (1930): Sapinières: Le jardinage par contenance. Presses univ. France, Paris, 100 S.

- 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. Forstver.*, 44, 115 S.
- Schütz, J.-Ph.* (1975): Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinés sur les stations de la hêtraie à sapin. *Schweiz. Z. Forstwes.* 126 (9): 637–671.
- Schütz, J.-Ph.* (1981): Que peut apporter le jardinage à notre sylviculture? *Schweiz. Z. Forstwes.* 132 (4): 219–242.
- Schütz, J.-Ph.* (1989): Le régime du jardinage. Skript Fachbereich Waldbau, ETH Zürich, 1989.
- Simak, M.* (1951): Untersuchungen über den natürlichen Baumartenwechsel in schweizerischen Plenterwäldern. *Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes.*, Mitt. Bd. 27 (7): 406–468.
- Zai, L.* (1964): Untersuchungen über Methoden zur Beurteilung von Rehwildverbiss in Waldbeständen. Diss. ETH Zürich, Nr. 3388.

Verfasser: Philippe Duc, dipl. Forsting. ETH, Departement Wald- und Holzforschung der ETHZ, Professur für Waldbau, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.