Zur Auswahl der Auslesebäume in der schweizerischen Auslesedurchforstung

Autor(en): **Schütz, Jean-Philippe**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **138 (1987)**

Heft 12

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-766077

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Zur Auswahl der Auslesebäume in der schweizerischen Auslesedurchforstung

Von *Jean-Philippe Schütz*
(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung der ETH-Zürich,
Fachbereich Waldbau, CH-8092 Zürich)

Oxf.: 242:228.1

Einleitung

Die Prinzipien einer auf die waldbaulichen Erziehungs- und Veredelungsmöglichkeiten hin konzipierten Auslesedurchforstung wurden von Schädelin Ende der zwanziger Jahre entwickelt *(Schädelin,* 1926 und 1934). Diese Durchforstungsart, welche sich auf das Erreichen höchster Wertleistung ausrichtet, hat sich seither als erfolgreiche Waldpflegetechnik *(Schütz,* 1981) praktisch weltweit durchgesetzt. Wenngleich die Auslesedurchforstung heute nach wie vor im wesentlichen nach den Grundsätzen von Schädelin praktiziert wird, so haben sich doch die betrieblichen Produktionsbedingungen, namentlich durch die hohen Arbeitskosten, teilweise erheblich verändert. Hingegen konnten seither auch aus zahlreichen praktischen Durchforstungsfeldversuchen neue ertragskundliche sowie ökophysiologische Erkenntnisse (zum Beispiel *Aussenac et al.* 1984) gewonnen werden, deren Resultate zur Optimierung der Durchforstungsfrage berücksichtigt werden müssen.

In der Zwischenzeit sind verschiedene Varianten der Auslesedurchforstung entwickelt und vorgeschlagen worden, zum Beispiel die Z-Baum-Durchforstungstechnik nach *Abetz* (1974), so dass es nicht unnötig erscheint, den aktuellen Kenntnisstand in der Durchforstungsfrage festzuhalten.

Das Auftreten neuartiger Waldschäden hat neuerdings die Durchforstungsfrage insofern in ein anderes Licht gerückt, als dass sie sich noch eindeutiger als bisher auf die Notwendigkeit eines frühzeitigen Beginns der Pflegetätigkeiten fokussiert (Schütz, 1984b), in einer Entwicklungsstufe also, in welcher die Jungbestockungen aufgrund ihres natürlichen Reaktionsvermögens auf waldbauliche Eingriffe günstig reagieren können. Nach dem Prinzip der zeitlichen Risikoverteilung sollte die Phase der Auslese solange wie möglich ausgedehnt

werden können. Auch wenn heute die Auswahlkriterien für die Auslesebäume etwas anders sind, so haben doch die neuartigen Waldschäden die bisherigen Prinzipien der Auslesedurchforstung nicht grundsätzlich in Frage gestellt.

Unterschiede zwischen Dickungspflege und Durchforstungseingriffen

Das Ziel der Dickungspflege besteht darin, eine für die spätere Auslese hinreichende Anzahl von zukünftigen Wertträgern (das heisst Auslesebaumanwärter oder sogenannte Kandidaten) mit guten Entwicklungsaussichten, genügender Stabilität sowie dem Produktionsziel entsprechenden Qualitätseigenschaften herauszuarbeiten. In dieser Phase müssen die Bestockungen also grundsätzlich noch stammzahlreich und kompakt gehalten werden. Unterschiede in der Bestockungsdichte ergeben sich aus den verschiedenen Baumarteneigenschaften, insbesondere ihrer Fähigkeit, dank guter Achsendominanz und geeigneter Schaftarchitektur (zum Beispiel Monopodialaufbau) eine durchgehende, lotrechte Stammachse auszubilden, sei dies nun selbständig oder dank dem erzieherischen Einfluss der sie umpackenden Artgenossen möglich. Des weiteren hängt die anzustrebende Bestockungsdichte nicht unwesentlich davon ab, ob eine systematische Wertastung möglich und vorgesehen ist oder nicht.

Die Idee, in der Dickungsphase eine hinreichende Auslesebasis beizubehalten, findet ihre Begründung darin, dass viele der für die Ausbildung der zukünftigen Eigenschaften entscheidenden Einwirkungen wie Fröste oder Beschädigungen der Endtriebe und Endknospen durch Schädlinge irgendwelcher Art nicht voraussehbar sind. Vorab gilt diese Forderung für diejenigen Baumarten, welche eine erzieherische Umgebung für die Bildung einer durchgehenden Stammachse benötigen (zum Beispiel Buche, Linde, Eiche, Ulme), weniger hingegen für lichtbedürftige (Lärche) und in der Bildung durchgehender Stammachsen unproblematischere Baumarten (Fichte).

Die Erhaltung einer relativ hohen Bestockungsdichte darf selbstverständlich nicht zu Lasten der späteren Entwicklungsfähigkeit, das heisst vor allem nicht zu Lasten der Stabilität erfolgen. Es muss aber betont werden, dass die Erziehung der Kandidaten in der Dickung eindeutig den Vorrang besitzt.

Der grösste Wertanteil der schliesslich zu produzierenden Stämme liegt im untersten Stammstück. Daher gilt es, sobald eine etwa zehn Meter hohe Stammachse ausgebildet ist, das heisst beim Eintritt in die Stangenholzphase, eine zielgerichtete Auslese mit entsprechender Regelung der Produktion durch Kronenfreistellung durchzuführen. Hier beginnt sodann die Phase der Auslesedurchforstung.

Die drei Effekte der Auslesedurchforstung

Die ab der Stangenholzphase einsetzende Auslesedurchforstung fundiert also auf folgenden drei Förderungsmöglichkeiten:

- einem Ausleseeffekt, indem man die Produktion auf die bestveranlagten Individuen konzentriert,
- einem Produktionsförderungseffekt, indem man diese ausgewählten Zuwachsträger durch entsprechende Kronenpflege (Hochdurchforstungseingriffe) im Hinblick auf ein optimales Wachstum sowie das Erreichen der Produktionsziele (Enddurchmesser) fördert,
- einer möglichst optimalen Ausnützung der Wuchspotentiale in Zeit und Raum. Einerseits soll eine Verteilung der Auslesebäume herausgearbeitet werden, welche den Kronenraum möglichst lückenlos ausschöpft, andererseits soll die Stabilität der einzelnen Bäume (sogeannte individuelle Stabilität) wie auch der gesamten Bestockung (sogenannte kollektive Stabilität) bei dieser Steuerung mitberücksichtigt werden, da jeder Ausfall auch Produktionsverlust bedeutet.

Die Krux der ganzen Durchforstungsfrage besteht also einerseits in der richtigen Auswahl und optimalen Verteilung der Auslesebäume im Hinblick auf die bestmögliche Ausnützung des Standraumes, andererseits in der richtigen Dosierung der Pflegeeingriffe (sogenannte Durchforstungsstärke und -intensität) im Hinblick auf die Produktionsziele unter Berücksichtigung des Faktors Stabilität. Dies ist offensichtlich ein eminentes Optimierungsproblem.

In der Folge wird am Fallbeispiel der Fichte, weil für diese Baumart die relevanten ertragskundlichen Erkenntnisse am besten aufgearbeiten sind, im wesentlichen auf den ersten Aspekt dieser Optimierungsaufgabe, nämlich die Auswahl der Auslesebäume, eingegangen.

Die Problematik der optimalen Auswahl der Auslesebäume

Wiewohl es für das Erreichen einer günstigen Verteilung begründet erscheint, vermag eine allzu frühe Festlegung der Auslesebäume im Endabstand nicht zu befriedigen. Scheiden Bäume aus Gründen biotischer, abiotischer oder nutzungstechnischer Natur aus, bringt dies auch einen Produktionsverlust mit sich. Das Prinzip der zeitlichen Risikoverteilung verlangt hingegen, dass die Auslese solange wie möglich zeitlich gestaffelt bzw. ausgedehnt werden kann.

Der Beurteilung der Ausfallrisiken für die frühzeitig bestimmten Auslesebäume kommt demzufolge hier eine massgebende Bedeutung zu. Sind solche Risiken, wie dies zum Beispiel im Falle des Waldsterbens der Fall sein dürfte, gross, so sollten die Auslesebäume unter Berücksichtigung der aktuellen Kon-

kurrenzverhältnisse der Bestockung *ad hoc* ausgewählt werden. Dabei ist den in der Zeit sich ändernden Raumbedürfnissen der Bäume, der ständig abnehmenden Stammzahl und den entsprechenden neuen Abständen Rechnung zu tragen. Ist das Risiko hingegen nahezu Null, können ab dem schwachen Stangenholz die Auslesebäume im endgültigen Abstand ausgesucht und bestimmt werden. Eine weitere Bedingung für diese vorzeitige waldbauliche Entscheidung ist, dass man über die Zielbestockung und die dazu notwendige Eingriffsart und -folge genügend genaue Vorstellungen besitzt. Es sei noch darauf hingewiesen, dass die Praxis einer systematischen Wertastung ohnehin eine sehr frühzeitige Bestimmung der Auslesebäume praktisch im Endabstand voraussetzt: das heisst spätestens bei Erreichen des Oberdurchmessers (BHD der 100 stärksten Bäume pro ha) 16 cm.

Grundsätzlich ist unser Wissen noch zu lückenhaft, um diese Frage endgültig beantworten zu können. Immerhin erlauben gewisse Hinweise, die Ausfallrisiken für die früh ausgewählten Auslesebäume einzuschätzen. *Merkel* (1976, 1978) beispielsweise hat aufgrund der Ergebnisse langfristiger Beobachtungen in Fichten- und Buchen-Auslesedurchforstungsversuchsflächen von Philipp im Land Baden, bei welchen ab der Stangenholzstufe die Auslesebäume praktisch im endgültigen Abstand (N = 300 bis 400/ha) bestimmt wurden, nach 30 bzw. 45 Jahren Beobachtungsdauer folgende Feststellungen gemacht: Bei der Buche erwiesen sich 15 bis 46%, bei der Fichte 34 bis 64% dieser früh erwählten Auslesebäumen wegen Ausfalls bzw. ungenügender Eigenschaften als nicht mehr tauglich und mussten im Rahmen der späteren Eingriffe durch andere ersetzt werden. Andererseits wissen wir auch, dass die heutige Nutzungstechnik, insbesondere das Rücken mit mechanischen Mitteln wie etwa den Forsttraktoren, zu nicht unbedeutenden Beschädigungen der verbleibenden Bäume (inklusive Auslesebäume) führt. Die entsprechenden Folgeschäden sind Kernfäulen und Wundfäulen *(Dimitri,* 1978). Nach den Erhebungen von *Butora et al.* (1986) erreichen in einem coupierten Land wie der Schweiz solche Durchforstungsfolgeschäden in der Baumholzstufe im Durchschnitt einen Anteil von 37% der Auslesebäume. Auch bei optimaler Schonung des verbleibenden Bestandes, beispielsweise mittels Einsatz von Metallabweisern und Markierung der Auslesebäume weisen bei der konventionellen Holznutzung nach einem einzigen Durchforstungseingriff immer noch 20% der Auslesebäume Ernteschäden auf. Die aus waldbaulicher Sicht gestellte Forderung, das Ausmass von 10% beschädigter Auslesebäume nicht zu überschreiten, stellt für den Arbeitstechniker offenbar eine anspruchsvolle Herausforderung dar (Schütz, 1985).

Alles weist darauf hin, dass es illusorisch ist zu glauben, alle im Stangenholz ausgewählten Auslesebäume würden bis in den Endbestand intakt bleiben. Es liegt also in unserem Interesse, solange als möglich eine höhere Anzahl Auslesebäume herauszuarbeiten und während der Bestandesentwicklung zu erhalten, als dies für den Endbestand nötig wäre. Dies jedoch ohne nachteilige Auswirkungen auf ihre optimale Entwicklung und Verteilung. Da einerseits die

Bäume einer Bestockung nicht in beliebigen Abständen zueinander stehen, sondern nach bestimmtem Verteilungsmuster, und da andererseits die Abstände mit der Stammzahlabnahme im Laufe der Bestandesentwicklung nicht kontinuierlich zunehmen, sondern diskret, das heisst schrittweise, nach bestimmten Regeln, kann das Problem der optimalen Verteilung der Auslesebäume erst richtig angegangen werden, wenn zuvor folgende Fragen beantwortet sind:

- In welcher Endverteilung sollen die Bäume, als Ziel der Bestandespflege hinsichtlich der festgelegten Produktionsziele und Baumdimensionen, am Schluss des Produktionszeitraumes stehen?
- Nach welchem Muster verteilen sich die Bäume in einer Bestockung und nach welchen Gesetzmässigkeiten verändert sich diese Verteilung bei der Stammzahlreduktion?

Die Verteilung der Bäume in einer Bestockung

Die folgenden Betrachtungen basieren auf der theoretischen Annahme, dass alle Bäume dieselbe Gestalt (Höhe, kreisrunde Kronenprojektion usw.) aufweisen und sich regelmässig auf einer Fläche verteilen. Dabei gelangen die zwei in *Abbildung 1* erklärten Verteilungsmuster, der Quadratverband sowie der Verband im gleichseitigen Dreieck, zur Anwendung. Letzterer liefert eine um 15% (genau: $2/\sqrt{3}$) günstigere Ausnützung des Standraumes, weil die Kronenzwischenräume entscheidend kleiner sind als im Quadratverband. Bezogen auf eine bestimmte Fläche gibt es im Dreieckverband für die Bäume 1,155mal mehr Platz als im Quadratverband. Umgekehrt formuliert beträgt der mittlere Abstand (a) zwischen den Bäumen:

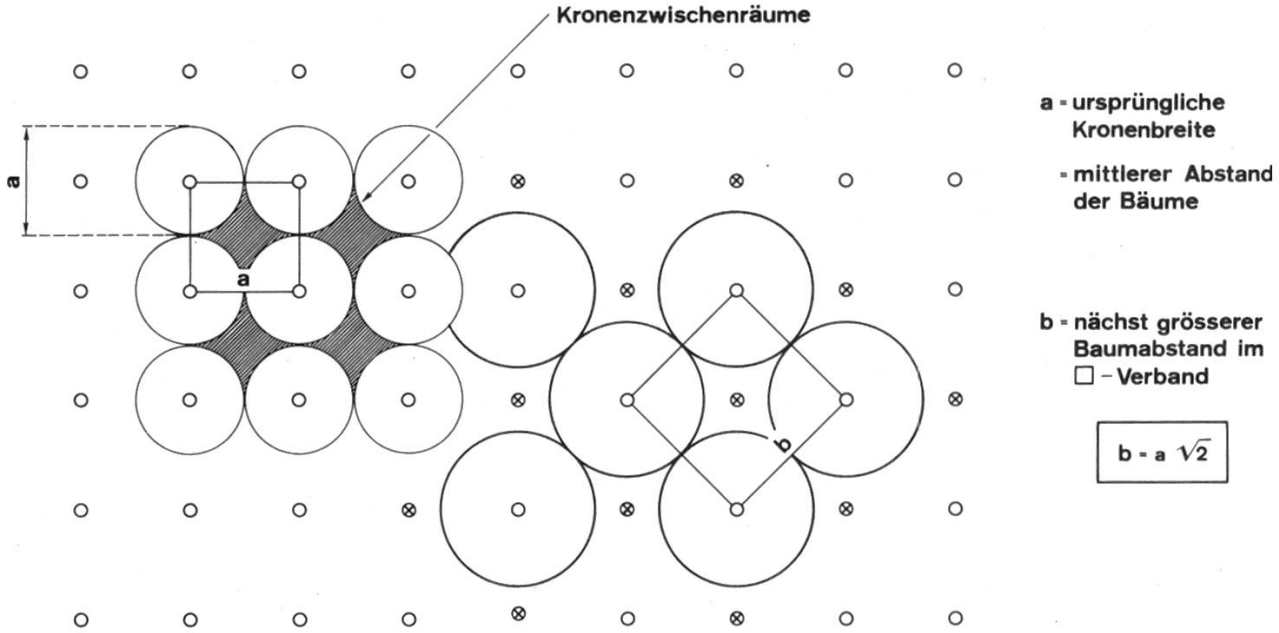
$$a = \sqrt{\frac{F \times f}{N}}$$

wenn F die Bestandesfläche, N die Stammzahl
und f ein Raumausnützungskoeffizient ist, welcher vom Verteilungsmuster abhängig ist.

Bei einer quadratischen Verteilung ist f = 1 und bei einer dreieckigen f = 1,155. Im Quadratverband hat jeder Baum vier direkte Nachbarn, im Dreieckverband, wo die Fläche in seitengleiche Sechsecke aufgeteilt wird, deren sechs.

In Wirklichkeit haben die Bäume selbstverständlich nicht alle die genau gleiche Gestalt und sind nicht genau in der gleichen Schicht angeordnet. Immerhin darf als Arbeitshypothese angenommen werden, dass sich die Bäume, im Wettbewerb ums Licht, eher in einer Dreiecksverteilung einstellen. Unter-

a) Quadratische Verteilung



b) Verteilung im gleichseitigen Dreieck-Verband

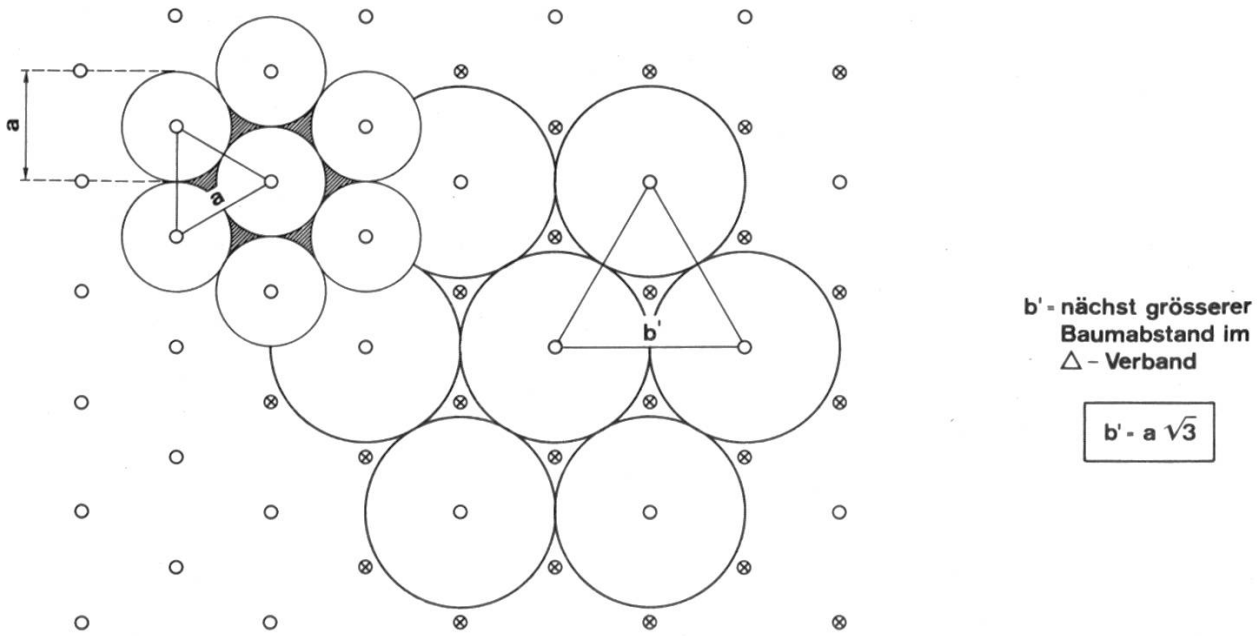


Abbildung 1. Verteilungsmuster der Bäume.

suchungen der Anzahl der direkten Nachbarn und der mittleren Abstände in Fichtenbestockungen unterschiedlicher Entwicklungsstufen ergeben tatsächlich eine mittlere Anzahl direkter Nachbarn zwischen 5 und 6, im Durchschnitt 5,43.

Dies bedeutet, dass die Bäume nicht sehr stark vom Muster der Dreiecksverteilung abweichen. Der durchschnittliche Raumausnützungskoeffizient von hiebsreifen Beständen nähert sich in Wirklichkeit dem Wert 1,05. Dies bestätigt generell die oben erwähnte Hypothese, dass die Bäume sich eher in einer Dreiecksverteilung zusammenfügen.

Für praktische Zwecke darf also der mittlere Baumabstand in einer Bestockung mit folgender Formel berechnet werden:

$$a = \sqrt{\frac{F \times 1{,}05}{N}}$$

wobei N die Anzahl der an der oberen Kronenschicht beteiligten Bäume (das heisst die Summe der herrschenden und mitherrschenden) ist.

Inkrementierung der Abstände mit zunehmender Stammzahlabnahme

Von Interesse ist nun das Verständnis der Art und Weise, wie sich die Abstände zwischen den Bäumen mit abnehmender Stammzahl schrittweise verändern. Gemäss dem theoretischen Modell des Verbandes gleichseitiger Dreiecke sind verschiedene Inkrementierungsschritte möglich, nämlich mit den Faktoren $\sqrt{3}$, 2, $\sqrt{7}$, 3, 2 x $\sqrt{3}$ usw. multiplizierte Vielfache des ursprünglichen Abstandes (siehe *Abbildung 2)*. Für die Praxis der Durchforstung ist nur der erstmögliche Inkrementierungsschritt von $\sqrt{3}$ von praktischer Bedeutung. Auch wenn in Wirklichkeit die Bäume nur annähernd nach diesem Muster verteilt sind, liesse sich theoretisch mit einer Reduktion der Stammzahl der ursprünglichen Bäume um ⅔ und einer Verlängerung der Abstände um $\sqrt{3}$ (= 1,73) die optimale Endverteilung erreichen. Umgekehrt formuliert, erreicht man mit einer dreifachen Anzahl von Auslesbäumen im vorletzten Abstand (entspricht 0,58 des Endabstandes) die optimale Endverteilung. Für die Durchforstungspraxis stellt sich die Schlüsselfrage, bis wann dieser Schritt vom vorletzten zum Endabstand, unter Berücksichtigung der Konkurrenz zwischen den Auslesebäumen, noch möglich ist.

Bei der Quadratverteilung ist die Situation im Hinblick auf eine möglichst lange Ausnützung der Auslesemöglichkeiten insofern günstiger, als es möglich ist, im Inkrementierungsschritt vom vorletzten zum Endabstand ausgehend von einer doppelten Anzahl Bäume in einem Schritt von $\sqrt{2}$ (= 1,41) zur Endverteilung überzugehen. Es lässt sich wohl überlegen, ob sich der Nachteil der

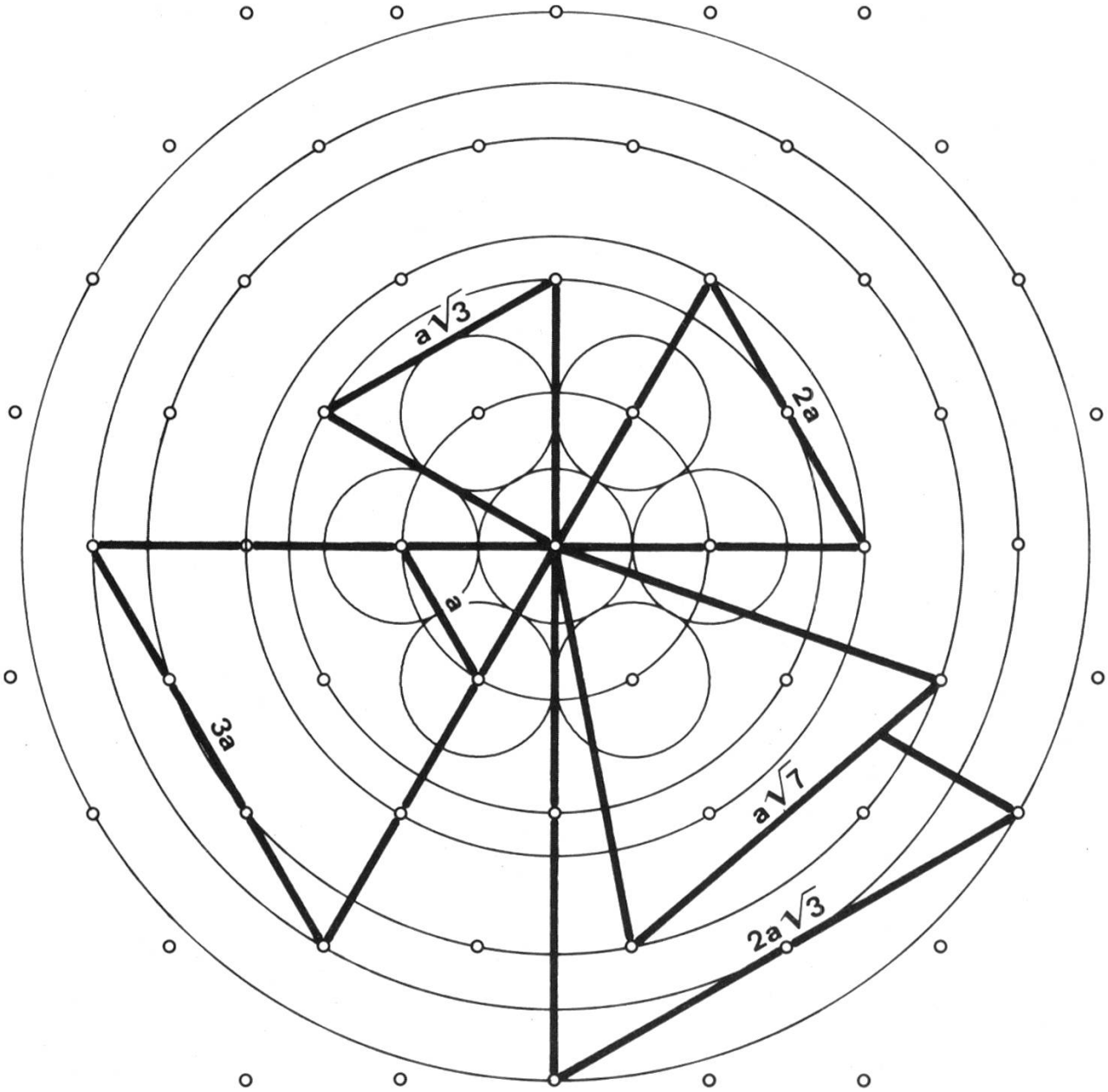


Abbildung 2. Die verschiedenen Inkrementierungsschritte bei der gleichseitigen Dreieckverteilung.

Inkrementierungsschritte von a

$\sqrt{3} \cdot a$
$2 \cdot a$
$\sqrt{7} \cdot a$
$3 \cdot a$
$2 \cdot \sqrt{3} \cdot a$
usw.

hier etwas ungünstigeren Endverteilung nicht durch den Vorteil einer zeitlich verlängerten Staffelung der Abnahme der Auslesebäume wettmachen lässt.

Für die Durchforstungspraxis stellt sich die Frage, welchem der beiden Kriterien, optimale Verteilung und entsprechende Abstände einerseits oder Qualität und Wuchseigenschaften der Auslesebäume andererseits, der Vorzug gegeben werden soll. Davon ausgehend, dass sich die realen Verhältnisse nicht

genau in ein derartiges Muster führen lassen, sind Prioritäten zugunsten der Verteilung oder Qualitätseigenschaften unumgänglich. *Abbildung 3* zeigt jedoch deutlich, dass der Zeitraum, während welchem sich der vorletzte Abstand der Auslesebäume vertreten lässt (das heisst ohne gegenseitige Konkurrenz), auf die Stangenholzstufe begrenzt ist. Bei der Fichte müssen die Auslesebäume des Endbestandes im Dreieckverband bereits bei 22 cm Oberdurchmesser (das heisst Beginn der Stufe starkes Stangenholz), beim Quadratverband bei 32 cm Oberdurchmesser (das heisst Beginn der Stufe schwaches Baumholz) endgültig bestimmt sein. Diese Abbildung zeigt auch, dass sich die Auswahl der Auslesebäume im halben Endabstand (das heisst 3,4 m bei der Fichte) bestenfalls bis zur Mitte der schwachen Stangenholzphase (Oberdurchmesser von 15 cm) vertreten lässt.

Aufgrund dieser theoretischen Erkenntnisse möchten wir für die Praxis der Auslesedurchforstung das folgende Vorgehen empfehlen: Die Auslesebäume sind primär nach Qualität und nach Wuchseigenschaft auszuwählen. Solange sie sich nicht konkurrenzieren, sind sie nach Möglichkeit in einem Abstand von $1/\sqrt{3}$ bis $1/\sqrt{2}$ des Endabstandes zu bestimmen. Bei der Fichte liegt dieser vorletzte Abstand zwischen 4 und 5 m, berechnet im Hinblick auf einen optimalen Endabstand von knapp 7 m. Zwischenabstände zwischen 5 und 7 m sind unzweckmässig und sollen möglichst vermieden werden.

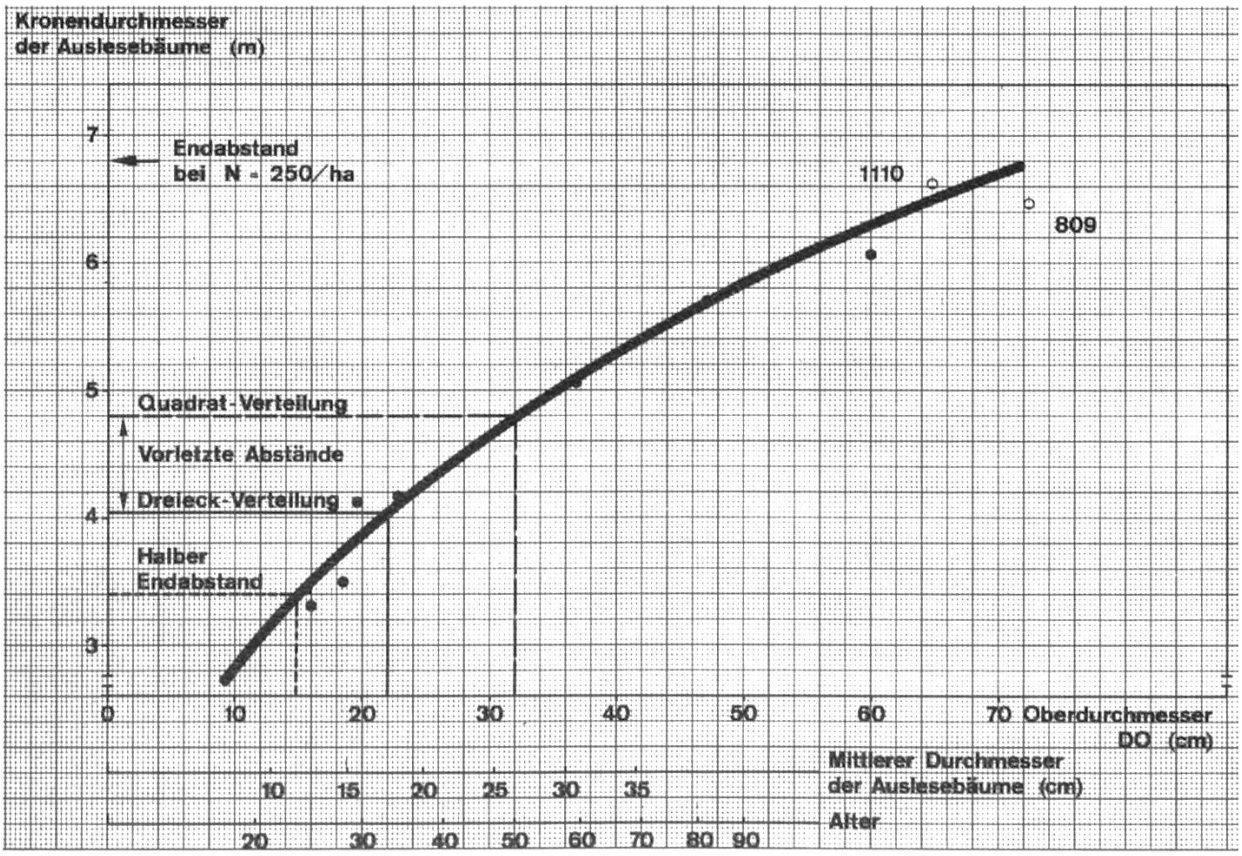


Abbildung 3. Platzbedürfnisse der Auslesebäume im Laufe der Bestandesentwicklung im Fall der Fichte.

Praktisch gesehen wird bei der Anzeichnung von den bestveranlagten Individuen, das heisst den Spitzenauslesebäumen, ausgegangen. Diese sind unbedingt zu fördern. Solange andere Auslesebäume mit genügenden Eigenschaften bezüglich Qualität, Wuchskraft, sozialer Stellung und Vitalität vorhanden sind, werden sie möglichst im vorletzten Abstand ausgesucht und ausgewählt. Die weitere Bedingung ist selbstverständlich, dass sich diese Auslesebäume im Kronenraum nicht gegenseitig konkurrenzieren. Sind keine geeigneten Kandidaten im vorletzten Abstand zu finden, so wird der nächste Auslesebaum im Endabstand ausgesucht. Gegen die Stufe des starken Stangenholzes hin sollen die Auslesebäume dann im Endabstand ausgewählt werden. Die Phase der Auslese ist alsdann beendet, und die Durchforstung wird, mit immer stärkerem Niederdurchforstungscharakter, auf die Produktionsregelung der Elite durch Kronenpflege ausgerichtet. Dies entspricht der Charakteristik der Lichtwuchsdurchforstung. Der Übergang vom vorletzten Abstand zum Endabstand sollte möglichst auf einmal und in Rücksicht auf die Risikoverteilung möglichst spät erfolgen. Der Zeitpunkt dieser endgültigen Auslese ist dann erreicht, wenn sich die Kronen der Auslesebäume im vorletzten Abstand deutlich zu konkurrenzieren beginnen.

Die optimale Bestockungsdichte und entsprechende Endstammzahlen

Ohne genaue Vorstellungen über die Endbestockungsdichte und die Konsequenzen der hierzu aufzuwendenden Durchforstungspolitik wäre die Frage der Auswahl der Auslesebäume in einer bestimmten Verteilung und mit bestimmten Abständen recht akademisch. Die Bestimmung der optimalen Zielbestokkung als Lösung dieses Problems setzt Kenntnisse der Wertleistung und des Wertzuwachses der Bestände bei unterschiedlicher Bestockungsdichte bzw. Durchforstungsstärke voraus.

Die als optimal anzustrebende Bestockungsdichte ist noch nicht endgültig abgeklärt. Immerhin erlaubt die in langfristigen Durchforstungsfeldversuchen gewonnene Erfahrung aus dem In- und Ausland, eine derartige optimale Bestockungsdichte mit genügender Genauigkeit allgemein festzulegen. Die zu optimierende Grösse hierbei ist die Wertleistung der Bestände während des gesamten Produktionszeitraumes, das heisst bis zum optimalen Verjüngungszeitpunkt. Vereinfachend kann man diese Wertleistung als erntekostenfreien Erlös der Holzproduktion zu den aktuellen Kosten bei Hiebsreife, das heisst unter Annahme eines Diskontierungszinssatzes von Null für die Vornutzungen, betrachten. Da aufgrund der fortlaufenden Indexierung der Holzpreise sowie der Arbeitskosten entsprechend der Zunahme des allgemeinen Kostenniveaus die realen Zinse der Forstwirtschaft relativ kleine Beträge ausmachen, ist dies gerechtfertigt (*Abegg,* 1978).

Es existieren nur wenige ertragskundliche Arbeiten, welche sich mit der Wertleistung der Bestände befassen. Die meisten dieser Arbeiten – und die Ertragstafeln praktisch ausnahmslos – sind auf die Maximierung der Holzvolumenproduktion ausgerichtet. Sämtliche der die Wertleistung behandelnden Arbeiten führen zum Schluss, dass die Bestockungsdichte für eine optimale Wertleistung erheblich tiefer als für die einer optimalen Volumenleistung zu wählen ist (siehe *Abbildung 4)*.

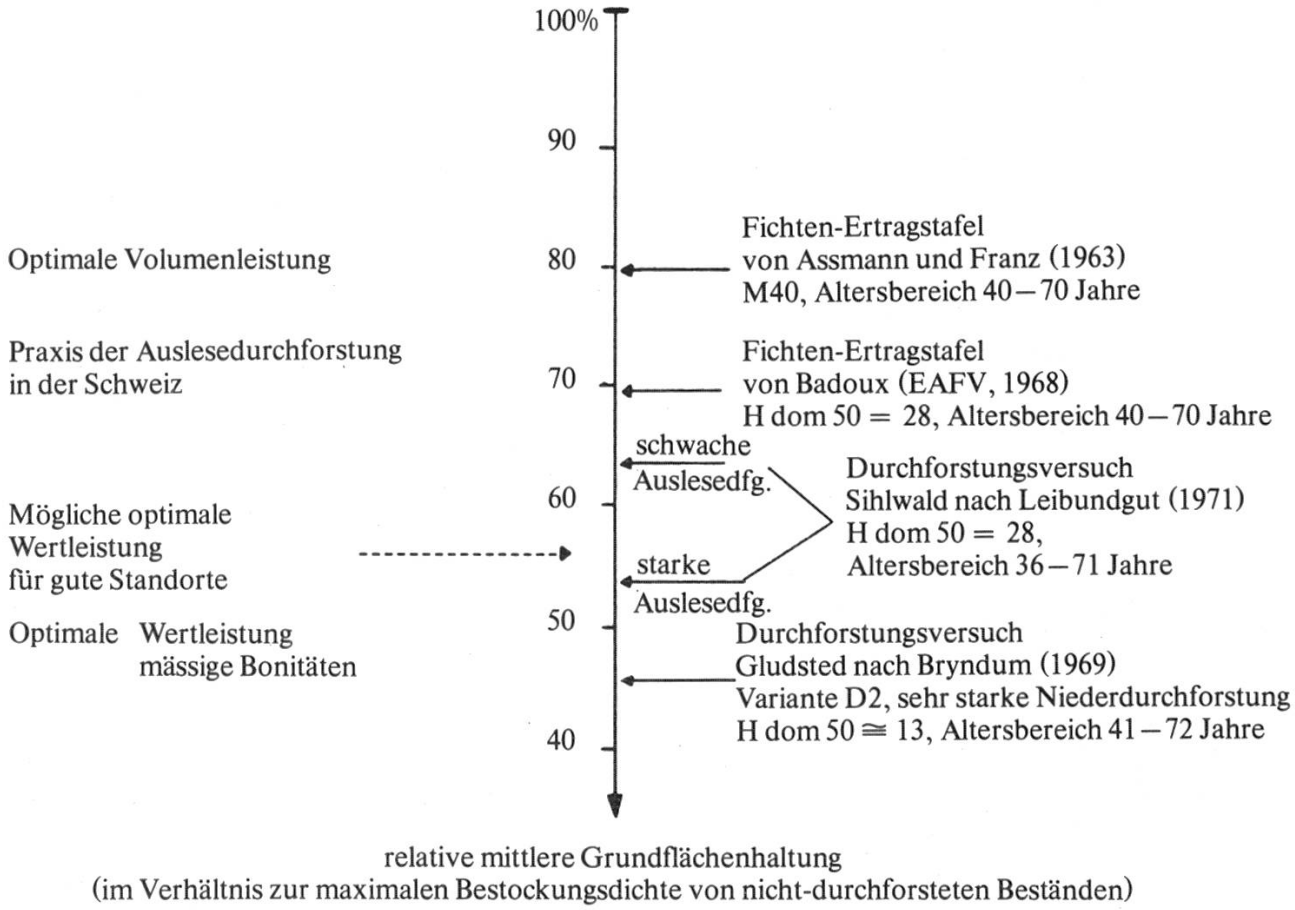


Abbildung 4. Relative Bestockungsdichte der für die Beurteilung der optimalen Bestandesdichte herangezogenen Ertragsmodelle.

Aufgrund der Ergebnisse der bekannten dänischen Fichten-Durchforstungsversuchsreihe Gludsted findet *Bryndum* (1969) eine optimale Wertleistung bei einer sehr starken Durchforstung des Grades D in Anlehnung an die internationale Definition der Niederdurchforstungsgrade. Dies entspricht einer relativen mittleren Grundflächenhaltung von 46% gegenüber der nicht durchforsteten Variante. Zum Vergleich weist die Bestockungsdichte der für Hochdurchforstung gültigen Ertragstafel von Badoux *(EAFV,* 1968) eine relative mittlere Grundfläche von 68% auf. Dieser Wertleistungsvorteil der starken Durchforstungen ist primär auf den Effekt des geförderten Dickenzuwachses

zurückzuführen, weil der Wert entscheidend vom Durchmesser bzw. von den sogenannten Preissortimentssprüngen abhängig ist. Die Durchforstungsversuchsreihe Gludsted gilt für erheblich geringere Fichtenbonitäten, als dies bei uns üblich ist (in der Grössenordnung von H dom 50 = 13 m) sowie für noch relativ junge Bestockungen bis zum Alter von 70 Jahren. Die Werte sind demnach nicht ohne weiteres auf hiebsreife Bestände übertragbar. Dennoch zeigen sie den Vorteil einer in der Jugendphase recht starken Durchforstungspolitik.

Einen weiteren Hinweis liefern uns die Ergebnisse der Durchforstungsversuchsreihe Sihlwald nach *Leibundgut* (1971). Dieser Versuch, 1930 von Schädelin angelegt, gilt für zwei Varianten der Auslesedurchforstung unterschiedlicher Stärke und für Nadel-/Laub-Mischbestände auf sehr guten Standorten im bekannten Sihlwald. Verglichen mit der waldbaulich üblichen und auch mit derjenigen nach der oben erwähnten Ertragstafel von Badoux, ist die starke Durchforstung deutlich stärker, die schwache deutlich schwächer. Im Alter 71 Jahre weist die starke Auslesedurchforstung einen Wertleistungsvorsprung von 8% gegenüber der mässigen Auslesedurchforstung auf. Da in dieser Versuchsreihe nur zwei Durchforstungsgrade vorkommen, resultiert kein Optimum der Wertleistung. Gestützt auf unsere gutachtliche Beurteilung des heute noch bestehenden Versuches zeigt der stark durchforstete Bestand bereits einen partiellen Kronenunterbruch, so dass das Optimum wahrscheinlich bei einer leicht grösseren Bestockungsdichte liegen dürfte. Leibundgut selbst meint, dass das Optimum in etwa bei der Bestockungsdichte der Ertragstafel von Badoux liegen dürfte.

In den beiden erwähnten Versuchen wurden die Wertleistungsunterschiede der Varianten in absolutem Verhältnis zueinander gerechnet. Dabei blieb ein weiterer Vorteil des starken Durchforstungsgrades, nämlich die dank stärkerem Durchmesserzuwachs früher erreichte optimale Hiebsreife, unberücksichtigt. Dieser Effekt der Verkürzung des Produktionszeitraumes wirkt zusätzlich günstig auf den Wertzuwachs.

Somit darf angenommen werden, dass die als Ziel der Durchforstungspolitik anzustrebende Bestockungsdichte für eine optimale Wertleistung bei recht niedrigen Grundflächenhaltungen, wahrscheinlich etwa im Bereich der Bestockungsdichte der Ertragstafel von Badoux liegt. Allerdings zeigt diese Ertragstafel in den höheren Altersbereichen, das heisst über 100 Jahre, eine nicht ganz realistische Abnahme der Stammzahlen, wie dies aus *Abbildung 5* klar hervorgeht.

Um mehr Klarheit in dieser Frage der Endstammzahlen zu erhalten, wurden im Lehrrevier der ETH bei Zürich, auf gutem Standort, zwei nahe der Hiebsreife stehende Bestände, welche aus waldbaulicher Sicht als recht exemplarisch beurteilt werden können, eingehend analysiert (vergleiche dazu die Ergebnisse in *Tabelle 1)*.

In beiden Bestockungen ist ein straffer linearer Zusammenhang zwischen BHD und Kronenbreiten festzustellen (vergleiche *Abbildung 6)*. Dies unter-

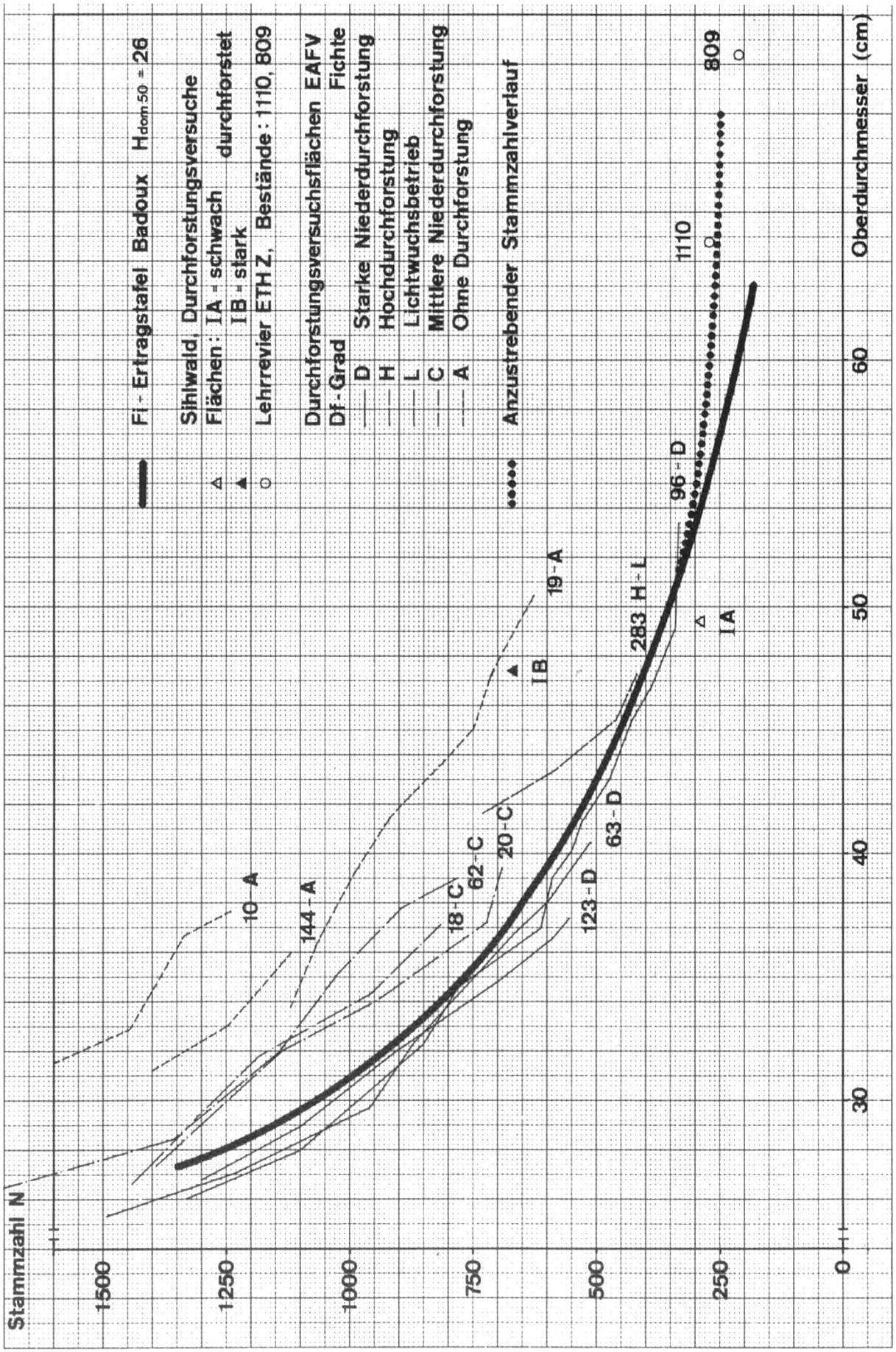


Abbildung 5. Stammzahlhaltung der Fichten-Ertragstafel von Badoux für die Auslesedurchforstung im Vergleich mit verschiedenen Durchforstungsversuchsflächen.

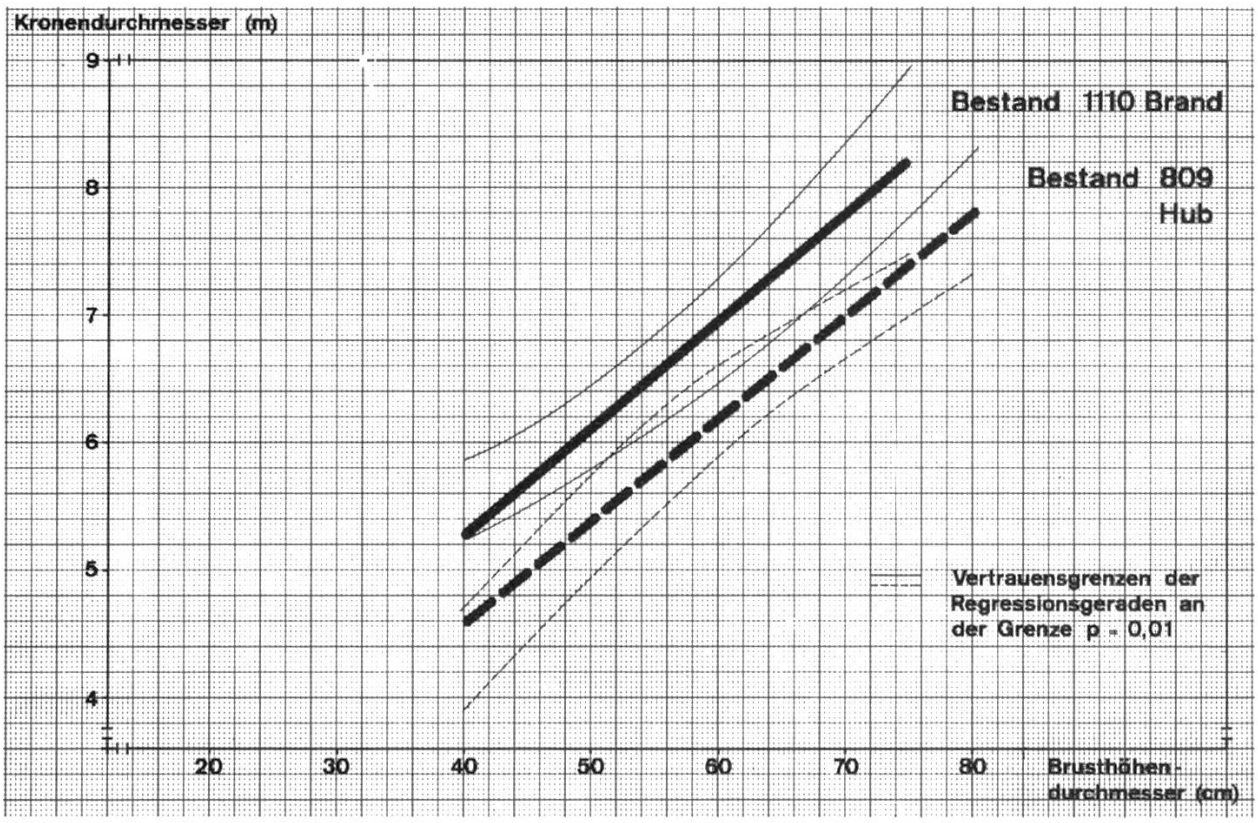


Abbildung 6. Kronendurchmesser-BHD-Verhältnis von zwei hiebsreifen Fichtenbeständen im Lehrrevier der ETHZ.

Tabelle 1. Ergebnisse der Analyse in zwei hiebsreifen Fichtenbeständen im Lehrrevier der ETHZ.

	Bestand Nr. 809 Hub	*Bestand Nr. 1110 Brand*
Alter	100–110 J.	100–110 J.
Oberhöhe	43 m	41 m
Stammzahlen/ha	230	272
Oberdurchmesser	72,3 cm	64,7 cm
Dg	63,6 cm	54,5 cm
Mittlere Kronenbreite	6,5 m	6,6 m
Mittlerer Baumabstand	6,7 m	6,0 m
Grundfläche	65,6 m²	65,6 m²

streicht die Notwendigkeit einer guten, das heisst möglichst regelmässigen Verteilung der Bäume im Endbestand, damit die Streuung der Durchmesserverteilung nicht allzu gross wird.

Interessanterweise braucht der etwas jüngere Bestand (Einheitsnummer 1110) deutlich breitere Kronen für denselben BHD. Dies darf wohl darauf zurückgeführt werden, dass der Bestand 1110 früher nicht optimal durchforstet wurde, was sich an den heutigen, zu geringen Kronenlängen von rund $^1/_4$ der

Baumlänge ableiten lässt. Schon aus dieser Sicht wird klar, dass eine rechtzeitige Durchforstung mit dem Ziel, nach den Stabilitätsempfehlungen von *Rottmann* (1985) eine Kronenlänge von mindestens $^1/_3$ der Baumhöhe auszuarbeiten, durch rechtzeitige Pflegeeingriffe zu einer besseren Raumausnützung führt als in zu spät durchforsteten Beständen, wo die Bäume nur durch Seitenzuwachs der Kronen reagieren können und somit verhältnismässig mehr Platz beanspruchen.

Schliesslich und unter Berücksichtigung des letzten Sortimentssprungs der Fichte bei 58 cm BHD in die Klasse I (bzw. bei 74 cm in die Klasse Is, falls diese Klasse mit einem Anteil von 50% qualitativ hochwertigem Holz erreicht werden kann, wie dies im Werttarif für die Fichte im Lehrrevier der ETHZ (Schütz, 1985) verlangt wird), darf die anzustrebende Endstammzahl in Fichtenbestokkungen mittlerer bis guter Bonitäten (H dom 50 = 22–28) um 250 Stämme pro ha betragen. Dieses Ziel ist aber nur erreichbar, wenn in der Jugend wiederholt kräftige Auslesedurchforstungen ausgeführt werden. Dies deutet abermals auf die notwendige Koordination zwischen den Waldbauzielen und den dazu notwendigen Mitteln der Waldpflege hin.

Résumé

A propos du nombre des arbres d'élite dans l'éclaircie sélective suisse

Au stade du fourré le but des soins culturaux consiste essentiellement à élaborer un nombre suffisant de candidats, formant une base de sélection sur laquelle va pouvoir se fonder dès le stade du perchis les premières éclaircies sélectives. Ces dernières utilisent à la fois trois effets favorisant la production: Un effet de sélection en concentrant la production sur les individus les plus doués du collectif; un effet de contrôle de la croissance par la régulation de la compétition et la conformation des houppiers et finalement la recherche d'une utilisation optimale des potentialités productrices de la station, dans l'espace, par l'utilisation adéquate du couvert, et dans le temps, en assurant la stabilité nécessaire à éviter des pertes de production. Tout l'art de l'éclaircie consiste à trouver le nombre adéquat d'arbres d'élite à favoriser dans une distribution optimale et à trouver le dosage des interventions en vue de réaliser le meilleur profit final. Il s'agit évidemment d'un problème d'optimisation.

Etant donné les risques, plus importants qu'on ne l'estime habituellement, qu'un arbre d'élite choisi très tôt, au début du perchis, ne convienne plus par la suite, en raison des dégâts d'exploitation ou tout autre dommage d'ordre biotique ou abiotique, il convient d'élaborer un nombre plus élevé d'arbres d'élite que n'en contient le peuplement final, tout au moins tant que les conditions de compétition au sein du peuplement le permettent. Pour ce faire il faut connaître le type de distribution des arbres dans un collectif. On démontre que les arbres recherchent naturellement dans un collectif une distribution en triangles équilatéraux, bien meilleure au plan de l'utilisation du couvert (15%) qu'une distribution en carrés. On démontre aussi que le pallier de progression des distances entre

les arbres au fur et à mesure que leur nombre diminue est de $\sqrt{3}$. C'est dire que l'on peut atteindre une distribution finale optimale, avec un nombre d'arbres au pallier pénultième trois fois plus élevé et à une distance de $1/\sqrt{3}$ la distance finale. Pour l'épicéa, faisant l'objet de ce travail, la distance finale optimale des arbres est définie à environ 7 m et la distance pénultième à 4—5 m. Dans la pratique de l'éclaircie les distances intermédiaires, c'est-à-dire entre 5 et 7 m sont à éviter pour le choix des arbres d'élite, car elles ne permettent plus de conduire à un intervalle optimal en fin de vie. Il est bien clair que cette question des distances ne prévaut pas sur les critères de qualité et de potentiel de croissance, qui restent les critères prioritaires du choix des arbres d'élite. Mais, une fois choisis les meilleurs arbres d'élite, on peut rechercher les viennent-en-suite dans la mesure du possible dans la distribution expliquée ci-dessus. La phase de sélection est en fait d'assez courte durée. Dès la fin du perchis les conditions de concurrence ne permettent plus de choisir les arbres d'élite autrement qu'à l'intervalle final. Ce passage de l'intervalle pénultième au final devrait se faire en une seule fois, le plus tard possible, c'est-à-dire quand les couronnes des arbres d'élite se trouvent en compétition.

On démontre encore, par l'étude des essais d'éclaircie de Bryndum au Danemark et ceux de Leibundgut au Sihlwald, les raisons qui permettent d'admettre un nombre d'arbres de 250/ha en fin de vie comme optimal pour une production en valeur et comme objectif des éclaircies. Cela implique cependant des interventions vigoureuses en jeunesse, au moment où les arbres réagissent aux interventions et élaborent leurs houppiers, dont la longueur pour des raisons de stabilité ne devrait pas descendre en-dessous du tiers de leur hauteur.

Literatur

Abegg, B. (1978): Schätzung der optimalen Dichte von Waldstrassen in traktorbefahrbarem Gelände. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. Mitt. *54,* 2: 99—213.

Abetz, P. (1974): Zur Standraumregulierung in Mischbeständen und Auswahl von Zukunftsbäumen. Allg. Forst. u. J.-Ztg. *145:* 871—873.

Assmann, E., Franz, F. (1963): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Inst. f. Ertragskunde forstl. Forschungsanst. München. 112 S.

Aussenac, A., Granier, A., Naud, R. (1984): Eclaircie systématique dans un jeune peuplement de douglas. Rev. forest. fr. *36,* 4: 279—288.

Bryndum, H. (1969): A thinning experiment in Norway spruce in Gludsted plantations. Det forstl. Forsogssvaesen i Danmark, *32,* 1: 155 S.

Bryndum, H. (1978): Der Einfluss verschiedener Durchforstungsstärken auf Massen- und Wertleistungen der Fichte am Beispiel der dänischen Versuchsflächen. Forstw. Cbl. *97,* 6: 302—313.

Butora, A., Schwager, G. (1986): Holzernteschäden in Durchforstungsbeständen. Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. Ber. Nr. 288, 51 S.

Dimitri, L. (1978): Stand der Kenntnisse über Wurzel- und Stammfäulen. Holz-Zentralbl. *104,* 114: 1735—1737.

Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. (1968): Ertragstafel für Fichte in der Schweiz. EAFV, Birmensdorf.

Leibundgut, H. (1971): Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930—1965 im Sihlwald. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. *47,* 4: 259—389.

Merkel, O. (1976): Die Auslesedurchforstung in Fichte seit 1930. Tagungsber. Jahrestag. in Paderborn. Sekt. Ertragsk., Deutsch. Verb. forstl. Froschungsanst., S. 99—125.

Merkel, O. (1978): Zur Frage des Umsetzens früh ausgewählter Z-Bäume in Buchenbeständen. Tagungsber. Jahrestag. in Konstanz, Sekt. Ertragsk., Deutsch. Verb. forstl. Forschungsanst., S. 107—135.

Rottmann, M. (1985): Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. J. D. Sauerländer's, Frankfurt a. M., 159 S.
Schädelin, W. (1926): Bestandeserziehung. Schweiz. Z. Forstwes. *77,* 1: 1–15 und 33–44.
Schädelin, W. (1934): Die Durchforstung als Auslese- und Veredlungsbetrieb höchster Wertleistung. Haupt, Bern, Leipzig, 96 S.
Schütz, J.-Ph. (1981): L'éclaircie sélective de Schädelin, évolution et pratique actuelle. Rev. forest. fr. *33,* no spécial: 7–18.
Schütz, J.-Ph. (1984a): Zur Kontrolle der Bestandesdichte und der Durchforstungsstärke. Schweiz. Z. Forstwes. *135,* 2: 113–122.
Schütz, J.-Ph. (1984b): Mesures sylvicoles immédiates et attitude à long terme face au dépérissement des forêts. Schweiz. Z. Forstwes. *135,* 4: 307–319.
Schütz, J.-Ph. (1985): Bestandesschäden bei der Holzernte: Forderungen und Wünsche des Waldbaus. Forst. u. Holzwirt *40,* 14/15: 375–379.