

Diss. ETH Nr. 13584

**Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses
in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neuenburger Jura)**

Abhandlung zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Philippe Duc
dipl. Forsting. ETH
von Villars-Bramard (VD)
geboren am 13.8.1962 in Bern

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. J.-Ph. Schütz, Referent
Prof. Dr. P. Bachmann, Korreferent

2000

Dank

Die vorliegende Arbeit entstand zum grössten Teil während meiner achtjährigen Tätigkeit (1988-1996) als Unterrichtsassistent an der Professur für Waldbau der Abteilung Forstwirtschaft der ETH Zürich. Mein besonderer Dank gilt darum dessen Vorsteher, Herrn Prof. Dr. J.-Ph. Schütz. Er brachte mir als Lehrer die Vorzüge der Plenterung näher, gab den Anstoss zur vorliegenden Arbeit und sorgte als Arbeitgeber für die notwendigen Rahmenbedingungen zu deren Erstellung. Darüber hinaus konnte er mir aufgrund seiner grossen praktischen Erfahrung mit der Plenterung und aufgrund seiner immensen theoretischen Kenntnisse in jeder Phase der Arbeit viele wertvolle Hinweise und Ratschläge zu methodischen und fachlichen Fragen geben.

Mein herzlicher Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. P. Bachmann, welcher als ehemaliger Waldbauassistent, Praktiker und jetziger Vorsteher der Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum einige wichtige Hinweise zu waldbaulichen und waldwachstumskundlichen Fragen geben konnte und die Arbeit minutiös auf Fehler und Ungereimtheiten durchgesehen hat.

Zu besonderem Dank verpflichtet bin ich PD Dr. D. Mandallaz. Er beriet mich in statistischen Fragen und gab den Anstoss zur Verwendung der logistischen Regression als statistisches "Standardverfahren" für meine Arbeit. Dadurch liess sich der vermutete Einfluss mehrerer Faktoren auf eine bestimmte Zielgrösse effizient analysieren.

In der Endphase der Arbeit erhielt ich wertvolle fachliche Hinweise durch die Herren P. Junod, Kreisförster in Cortaillod (Kt. Neuenburg), W. Linder, ehemals Kreisförster im Emmental und Forstmeister des bernischen Mittellandes, Dr. P. Brang (WSL), Projektleiter Sanasilva-Inventur. Mein Dank richtet sich zudem an folgende Personen:

Herrn Dr. P. Lüscher (WSL) für die Beratung bei der Interpretation von Bodenprofilen.

Herrn Dr. W. Keller (WSL) für die kritische Durchsicht der Kapitel 2.5 und 2.6.

Herrn Prof. em. Dr. J.-L. Jeanrichard, ehemals Professor für Geobotanik an der Universität Neuenburg, für wertvolle Hinweise zu den jurassischen Waldgesellschaften der montanen Stufe.

Herrn A. Haldimann, ehemals Förster in Couvet, für wertvolle Hinweise zur Nachwuchspflege, welche die Ableitung von Hypothesen zu Beginn der Arbeit wesentlich erleichterten.

Den Herren J.-M. Oberson und R. Augsburg, Kreisförster im Val-de-Travers, für die Möglichkeit, die Untersuchung in den Gemeindewäldern des Val-de-Travers durchführen zu können, und insbesondere für die wohlwollende Gewährleistung von Unterstützung bei den Feldaufnahmen und für die Abgabe von Daten aus der Kontrollmethode.

Den Förstern P. Gertsch (St-Sulpice), J.-P. Giroud (Buttes) und F. Benoit (Môtiers), für ihre Mitarbeit bei der Erhebung des Pflegeeingriffs im ersten Aufnahmejahr, ihre Unterstützung im zweiten Aufnahmejahr und ihre Teilnahme am Pflegevergleich.

Den Forstwarten Chedel, Grandjean, Hirschy, Jaquet und Rota für ihre Mitarbeit bei der Erhebung des Pflegeeingriffs im zweiten Aufnahmejahr und ihre Teilnahme am Pflegevergleich.

Den Förstern Mercier, Nicolet und Piazza und dem frischgebackenen Forstwart Chedel Junior für ihre Teilnahme am Pflegevergleich.

Frau M. Dousse für die französische und Herrn Dr. P. Cherubini für die italienische Übersetzung der Zusammenfassung sowie den Herren Dr. P. Brang und Dr. N. Zimmermann für die Kontrolle der englischen Übersetzung.

P. Berliat, Frau A. Duc-Lütolf, D. Fernholz, C. Gassmann, Frau T. Hochstrasser, Y. Kazemi, D. Köchli, F. Mairy, P. Stoebener und J.-J. Thormann für ihren Einsatz bei den Feldaufnahmen.

Allen Mitarbeitern der Professur für Waldbau, insbesondere meinen langjährigen Weggefährten Dr. D. Graber, Dr. P. Brang, H.-U. Bucher, Dr. P. Schneider und Dr. K. Sageb-Talebi (Iran) für ihre Unterstützung und viele wertvolle Diskussionsbeiträge.

Und zuletzt geht mein herzlichster Dank an meine Frau Astrid für ihre Unterstützung und ihr grosses Verständnis für meine vielen Abwesenheiten, und an meine beiden Söhne Lucien und Joël dafür, dass sie mir meine samstäglich Abwesenheiten nicht nachtragen werden.

Widmung

Waldbau ist keine strenge Wissenschaft, sondern die Anwendung bestehender Kenntnisse und Erfahrungen über den Standort, den Bestand und seine Behandlung. Weil der Wald ein komplexes Ökosystem ist und weil waldbauliche Eingriffe häufig erst nach Jahren oder Jahrzehnten Auswirkungen auf den Zustand und die Entwicklung haben, gründete sich der klassische Waldbau noch bis weit in dieses Jahrhundert hinein vorwiegend auf Erfahrungen und weniger auf naturwissenschaftlich erhärteten Grundlagen. So konnte Walter Schädelin, einer der Altmeister des schweizerischen Waldbaus, noch vor 65 Jahren in seinem Vorwort zur ersten Auflage der "Auslesedurchforstung" schreiben: "Diese Schrift behauptet viel und beweist nichts, nach altem und, wie ebenfalls behauptet wird, noch heute nicht selten geübtem Brauch der Forstwissenschaft. Sie ist deshalb nicht wissenschaftlich. ... Den Beweis dafür zu leisten, muss der Autor, wegen der Kompliziertheit des lebendigen und dazu ausserordentlich langlebigen Objektes Wald, gerne der Zukunft überlassen und der Zusammenarbeit kommender Generationen von Forstleuten...". Diese Aussage galt zu jener Zeit insbesondere auch für stufige Bestände, welche ertragskundlich und waldbaulich wegen ihrer Vielgestaltigkeit schwer zu fassen waren. Seit den zwanziger Jahren haben aber mehr und mehr Forscher diese Herausforderung angenommen und die naturwissenschaftlichen und waldbaukundlichen Grundlagen von stufigen Wäldern im allgemeinen und von Plenterwäldern im speziellen untersucht. Dazu zählen unter anderem Balsiger (1914), Flury (1929, 1933), Burger (1942), Prodan (1944), Leibundgut (1945), Badoux (1949), Simak (1951), Mitscherlich (1952, 1961), Köstler (1956), Magin (1959), Sommer (1962, 1963, 1964), Kern (1966), Schütz (1969, 1975), Indermühle (1978), Pretzsch (1985) und Spiecker (1986). Erst diese Grundlagen erlauben uns, fundierte Entscheide über die heutige und zukünftige Waldbehandlung zu treffen und die nachhaltige Nutzung der Ressource Wald sicherzustellen. Diese Arbeit ist deshalb all jenen Forschern gewidmet, welche sich durch wissenschaftliche Untersuchungen für die Verbesserung der notwendigen Grundlagen eingesetzt haben.

Vorwort an den eiligen Leser

Die vorliegende Arbeit versucht, die Fragen zum Zustand, zur Entwicklung und zur Pflege des Nachwuchses im Plenterwald sehr eingehend und mit verschiedenen Ansätzen zu beantworten. Deshalb ist sie wesentlich umfangreicher ausgefallen als geplant. Insbesondere der Ergebnisteil mit rund 140 Seiten Umfang wirkt auf den eiligen Leser nicht gerade einladend. Wer nur an den praktisch umsetzbaren Resultaten dieser Arbeit interessiert ist, kann sich auf die Lektüre der Zusammenfassung und der waldbaulichen Schlussfolgerungen im Kap. 12 beschränken. Wer sich etwas eingehender mit dem Hintergrund der Arbeit und den Ergebnissen der Untersuchungen beschäftigen möchte, soll zusätzlich die Kap. 1, 2, 3, 10 und 11 lesen. Die drei ersten Kapitel geben Auskunft über die Problemstellung, die daraus abgeleiteten Fragestellungen, die dazu verwendeten Methoden und das Untersuchungsgebiet. Die Kapitel 4 bis 9 sind Ergebniskapitel. Im Kapitel 10 werden alle Ergebniskapitel zusammengefasst, mit der bestehenden Literatur verglichen und bewertet. Die eigentliche Diskussion der waldbaulichen Fragestellungen folgt in Kap. 11, und die daraus abgeleiteten Folgerungen für die Nachwuchspflege im Plenterwald sind in Kap. 12 abgehandelt.

Zusammenfassung

Die Nachwuchspflege im Plenterwald ist im Gegensatz zur Jungwaldpflege im gleichförmigen Hochwald kaum untersucht. Quantitative Angaben zur Nachwuchspflege werden als Grundlage für die waldbauliche Planung in stufigen Wäldern und für Waldentwicklungsmodelle benötigt. Zudem können davon Impulse zur Rationalisierung der Jungwaldpflege gleichförmiger Wälder ausgehen. Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, den Zustand, die Entwicklung und die heutige Pflege des Nachwuchses im Plenterwald zu analysieren und aus den Ergebnissen ein rationelles Konzept für die Nachwuchspflege im Plenterwald der montanen Stufe abzuleiten.

Im Val-de-Travers (Kanton Neuenburg, Schweizer Jura) wurden in der unteren montanen Stufe 18 zu pflegende Flächen von 0,4 bis 1,0 ha untersucht, nämlich 14 in Nord- und 4 in Südexposition. Der Bestandesaufbau wurde durch Vollkluppierung aller Bäume ab 7,5 cm BHD und durch stichprobenweise Erhebung der Nachwuchsbäume ab 50 cm Höhe bis 7,4 cm BHD erfasst.

Die Nachwuchspflege wurde durch die Zahl und die Baumarten- und Durchmesserverteilung der Aushiebe und der Ausleseebäume, durch die Aushiebsgründe, die Eingriffsstärke und die räumliche Verteilung der Ausleseebäume charakterisiert. Sie wurde durch drei Förstergruppen ausgeführt.

An den Ausleseebäumen der Baumarten Tanne (n=271) und Fichte (n=122) im Bereich 2,5 bis 22,4 cm BHD wurden rund 30 waldbauliche und dendrometrische Merkmale erhoben, an jenen der Baumarten Buche (n=90) und Bergahorn (n=22) 10 Merkmale. Zudem wurden 190 Nadelbäume liegend vermessen. An 750 der 1130 Aushiebe wurden Stammscheiben auf Brusthöhe entnommen. Mit Hilfe logistischer Modelle wurde untersucht, ob die wichtigsten Standorts- und Bestandesfaktoren (Exposition, Bonität, Beschattung, Übershirmung, Konkurrenz) den Zustand oder die Entwicklung der Nadelbäume im Nachwuchs beeinflussen und ob zwischen Tannen und Fichten signifikante Unterschiede bestehen. Mit einer verbundenen Stichprobe (n= 79) konnten zudem Unterschiede zwischen den Ausleseebäumen und ihren entfernten Konkurrenten geprüft werden.

Die 18 Flächen weisen grosse Unterschiede im Bestandesaufbau auf. Die Stammzahlen (190 - 310 Stk. mit BHD > 17,4 cm), die Basalflächen (21 - 37 m²/ha) und die Vorräte (240 bis 430 m³/ha) lagen im normalen Streurahmen der regionalen Forsteinrichtungsergebnisse. Auf den meisten Flächen dominierte die Tanne (Vorratsanteil 36 - 74%) vor der Fichte (8 - 57 V%) und der Buche (3 - 34 V%). Mit Hilfe der Clusteranalyse wurden drei Strukturtypen identifiziert.

Die Dichteverteilung der Nachwuchsbäume auf Stichprobeflächen von 100 m² entsprach einer negativen Binomialverteilung. Die Zahl der Nachwuchsbäume zwischen 2,5 und 17,4 cm BHD variierte zwischen 300 und 1100 pro ha. Sie nahm von der BHD-Stufe 5 (2,5-7,4 cm BHD) bis zur BHD-Stufe 15 (12,5-17,4 cm BHD) stetig ab. Die Nachwuchsdichte konnte nicht mit der Plenterstruktur erklärt werden.

Die Nachwuchsbäume waren nicht regelmässig verteilt, sondern überwiegend geklumpt. Die Nachwuchsgruppen waren zwischen 30 und 350 m² gross und wiesen eine Dichte von 20 bis 90 Bäumen pro Are (100 m²) auf. Die Flächen wiesen im Mittel 5 Nachwuchsgruppen pro ha auf.

Die Ausleseebäume wurden in Abhängigkeit der Baumart und der Baumdimension ausgewählt; dabei gab es Unterschiede zwischen den Förstergruppen. Auf den 18 Flächen wurden zwischen 10 und 90 Ausleseebäume pro ha, überwiegend im Bereich von 10,0 bis 22,0 cm BHD, ausgewählt. Die Hälfte aller Ausleseebäume waren Tannen, ein Viertel Fichten und ein Viertel Laubbäume. Die Ausleseebäume wurden meist durch Entfernung eines einzigen Konkurrenten gefördert.

Die Wahl der Aushiebe war ebenfalls abhängig von den Baumarten und von den Förstergruppen; sie erfolgte vorwiegend im Bereich von 2,5 bis 17,4 cm BHD. Die Zahl der Aushiebe lag auf den 18 Flächen zwischen 40 und 240 Stk. pro ha und war stark mit der Ausgangsstammzahl korreliert. Entsprechend nahm die mittlere Zahl der Aushiebe mit zunehmendem BHD ab, und die häufigen Baumarten Buche und Tanne waren im Aushieb wesentlich zahlreicher vertreten als die Fichte. Wichtigste Aushiebsgründe waren die Entfernung von Konkurrenten und negative Auslese.

Durch den Vergleich der Nachwuchspflege auf einer Testfläche wurden drei Förstergruppen mit unterschiedlichem Anzeichnungsverhalten identifiziert; mit Hilfe von Aushiebsmerkmalen konnte eine moderne, eine klassische und eine konservative Nachwuchspflege charakterisiert werden.

Mehr als die Hälfte der Ausleseebäume von Tanne und Fichte waren nicht überschirmt, wuchsen in Nachwuchsgruppen mit mindestens 4 Nachbarn auf, wiesen einen bis zwei direkte Konkurrenten auf und wurden durch den Hauptbestand nur mässig beschattet. Überschirmte oder einzeln wachsende Nachwuchsindividuen wurden dagegen selten als Ausleseebäume gewählt. Die Ausleseebäume waren deutlich feinastiger und wurzelten symmetrischer als ihre ausscheidenden Nachbarn. Zudem wiesen sie grössere Baumhöhen, grössere Kronenansatzhöhen und dadurch etwas kleinere relative Kronenlängen auf. Obwohl etwas stärker beschattet und konkurrenziert, wiesen sie in den letzten 20 Jahren einen grösseren Höhenzuwachs auf als ihre Konkurrenten.

Der Schlankheitsgrad (h/d-Wert) der ausgewählten Nadelbäume schwankte zwischen 60 und 120 und hing v.a. von der seitlichen Konkurrenz ab, oberhalb von 10 cm BHD auch vom Standort. Starke Beschattung und grosse seitliche Konkurrenz führten zur Bildung kleinerer Kronenlängen. Tannen und Fichten wiesen bei gleichem BHD ähnliche Baumhöhen und Lichtkronenlängen auf. Die grössere relative Kronenlänge der Fichte war auf eine längere Schattenkrone zurückzuführen. Die astfreie Schaftlänge hing von der Baumdimension, von der Baumart und von der seitlichen Konkurrenz ab. Ab 15 cm BHD wiesen die Tannen eine astfreie Schaftlänge von 2 bis 3 m, die Fichten eine solche von 1 bis 2 m auf. Innerhalb derselben BHD-Stufe waren Fichten nicht feinastiger als Tannen. Die Ausleseebäume von Tanne und Fichte wiesen zwar nur wenig Krankheiten oder Verletzungen auf, erfüllten aber nur zur Hälfte alle waldbaulichen Anforderungen.

Das Alter der Aushiebe streute stark und war mit dem BHD nicht signifikant korreliert. Die Tannenstangen (ab 12,5 cm BHD) wiesen mit 60 bis 140 Jahren das höchste Alter auf. Buchen- und Fichtenstangen wiesen mit 50 bis 100 Jahren keinen Altersunterschied auf, und die übrigen Laubbäume (v.a. Ahorn und Esche) wiesen mit 40 bis 80 Jahren das geringste Alter auf. Die Durchmesserentwicklung der Nachwuchsbäume verlief sehr langsam: 90% der Nadel- und 50% der Laubbäume wiesen einen Engkern mit mittleren Jahrringbreiten von weniger als 1 mm auf. Der Unterdrückungszeitraum schwankte dabei zwischen 10 und 100 Jahren.

Der Durchmesserzuwachs der Ausleseebäume lag in den letzten Jahren zwischen 2 und 8 mm/J. Geringe Beschattung, fehlende Überschirmung und fehlende seitliche Konkurrenz wirkten sich positiv auf den BHD-Zuwachs aus, mittlere bis grosse seitliche Konkurrenz negativ. BHD und relative Kronenlänge erklärten zusammen mit den Merkmalen Beschattung, Überschirmung und Konkurrenz je nach Standort zwischen 26 und 70% der Gesamtvarianz des BHD-Zuwachses. Der Höhenzuwachs der Ausleseebäume schwankte zwischen 5 und 70 cm pro Jahr und war vom BHD und von der Beschattung abhängig, nicht aber von der seitlichen Konkurrenz. BHD und relative Kronenlänge erklärten zusammen mit der Beschattung, der Konkurrenz und/oder der Überschirmung, je nach Standort zwischen 41 und 70% der Gesamtvarianz des Höhenzuwachses.

Das Konzept für die Nachwuchspflege in Plenterwäldern auf Kalkstandorten der montanen Stufe: Innerhalb der visuell erfassbaren Pflegezellen werden alle Nachwuchsgruppen identifiziert. In gemischten Nachwuchsgruppen mit Oberhöhe von weniger als 5 m beschränkt sich die Pflege auf eine allfällige Mischungsregulierung. Die optimale Baumartenmischung wird in Abhängigkeit des Standortes und der Verträglichkeit der beteiligten Baumarten festgelegt. Momentan seltenere, erwünschte Baumarten werden dabei gefördert. Laub- und Nadelbäume sollen wegen ihrer unterschiedlichen Kronengrösse und Entwicklung gruppenweise entmischert werden. Fichten und Tannen dagegen können einzeln bis truppweise gemischt aufwachsen. Vorwüchsige Individuen schlechter Qualität, welche die Entwicklung der Nachwuchsgruppe behindern, sollen entfernt werden. In den aufsteigenden Nachwuchsgruppen mit einer Oberhöhe zwischen 5 und 10 m werden Ausleseebäume im Abstand von 6 bis 8 m ausgewählt und deren schärfster Konkurrent entfernt. Ab 10 m Höhe bzw. 12 cm BHD erfolgt die Auswahl der Ausleseebäume im Abstand von 10 bis 15 m. Die Ausleseebäume müssen bezüglich der Vitalitäts-, Stabilitäts- und Qualitätsmerkmale die selben Anforderungen erfüllen wie in gleichförmigen Hochwäldern und sollten nicht überschirmt sein. Je nach Zielsetzung und Astigkeit müssen die Nadelbäume allenfalls künstlich geastet werden. In Nachwuchsgruppen mit geringem Höhenzuwachs wird keine positive Auslese durchgeführt.

Summary

Tending of recruitment is well studied in homogeneous forests, but hardly examined in selection forests. Data on tending are needed as a basis for silvicultural planning in multi-layered forests and for models of forest dynamics. Apart from this, a better understanding of tending in selection forests could provide input to the rationalization of tending in homogeneous forests. The goal of this study was to assess the status, development and current practice of tending of the recruitment in selection forests, and to derive a concept for an effective tending of recruitment in selection forests of the montane altitudinal zone.

In the lower montane zone of Val-de-Travers (canton of Neuchatel, Swiss Jura), 18 plots with an area between 0.4 and 1.0 hectares were studied, namely 14 on north and 4 on south exposure. The stand structure was assessed by full callipering of all trees above 7.5 cm DBH, and by sampling recruitment greater than 50 cm up to 7.4 cm DBH. The tending practice was characterized by the number, the tree species and the diameter distribution of the cuttings and of the elite trees. I additionally recorded the reasons for cutting, the tending impact and the spatial distribution of the elite trees. Three groups of foresters carried out the interventions.

The elite trees of silver fir ($n=271$) and Norway spruce ($n=122$) between 2.5 and 22.4 cm DBH were characterized by approximately 30 silvicultural and dendrometrical measurements, those of European beech ($n=90$) and sycamore maple ($n=22$) by 10 measurements. Stem disks were taken at breast height from 750 of the 1130 cuttings. Besides 190 felled coniferous trees were measured. Logistic regression models were used to examine whether the most important site and stand factors (i.e. exposure, soil fertility, shading, sheltering, competition) influence status or development of the coniferous trees in the recruitment. Different models (GLM, analysis of covariance, logistic regression) were used to test the difference between fir and spruce. Moreover, the differences between elite trees and their cut competitors were analysed with a matched sample ($n=79$).

The 18 plots differed greatly with respect to the stand structure. The stem numbers (190 - 310/ha with $DBH > 17.4$ cm), the basal area (21 - 37 m^2/ha) and the growing stock (240 - 430 m^3/ha) were within the range usually found in regional forest inventories. On most plots fir dominates (36 - 74% of growing stock) before spruce (8 - 57%) and beech (3 - 34%). Three structure types were identified using cluster analysis.

The density distribution of recruitment on sample plots of 100 m^2 corresponded to a negative binomial distribution. The number of young trees between 2.5 and 17.4 cm DBH varied between 300 and 1100/ha. It is highest in in DBH class 5 (2.5-7.4 cm DBH) and decreased constantly to DBH class 15 (12.5-17.4 cm DBH). The density of recruitment did not depend on stand structure. The recruitment was not regularly distributed, but predominantly clustered in groups of 30 to 350 m^2 , with a stand density between 20 and 90 trees/100 m^2 . The study areas contained five groups of recruitment per ha in the average.

The elite trees were selected depending on tree species and tree size. There were significant differences between the groups of foresters. Between 10 and 90 trees/ha were selected on the 18 plots, predominantly within the range of 10.0 to 22.0 cm DBH. Half of the elite trees were firs, a quarter spruce and a quarter deciduous trees. The selected elite trees were usually promoted by cutting a single competitor.

The selection of cuttings depended likewise on tree species and on groups of foresters; it predominantly carried out within the range of 2.5 to 17.4 cm DBH. The number of cuttings within the 18 plots was between 40 and 240 stems/ha and was strongly correlated with the initial stand density. Accordingly, the average number of cuttings decreased with increasing DBH. In comparison to spruce, beech and fir were overrepresented in the cuttings. The most important reasons for cutting a tree were the promotion of an elite tree and negative selection. A tending exercise on a test plot with 12 foresters enabled three groups with different tending behaviors to be identified; a modern, a classical and a conservative tending could be characterized with different indicators.

More than half of the elite trees of fir and spruce are not sheltered, grow up in groups of recruitment with at least 4 neighbours, have one or two direct competitors and are only moderately shaded from the main stand. Young trees under the shelter of bigger trees or trees growing individually were rarely selected as elite trees. The selected elite trees have thinner branches and more symmetrical roots than their felled neighbours. Moreover, they are taller and their crown base is higher, so that they have a smaller relative crown length than their competitors. Although the elite trees were slightly more shaded and experienced higher competition, they had grown faster in height in the last 20 years than their competitors.

The coefficient of slenderness (h/d value) of the investigated conifers varied between 60 and 120 and depended at first on lateral competition, and above 10 cm DBH also on site conditions. Strong shading and strong lateral competition were connected to shorter crowns. Fir and spruce of similar DBH showed similar tree height and light crown length. The larger relative crown length of spruce trees was due to a longer shaded crown. The length of the stem section free of branches depended on tree size, tree species and lateral competition. The length of the stem section free of branches was, in trees with more than 15 cm DBH, 2 - 3 m in fir, and 1-2 m in spruce. Within the same DBH class, the branches of spruce trees were not thinner than those of fir. Although the elite trees of fir and spruce had only few diseases or injuries, only have of them meet all desirable silvicultural requirements.

The age of the analyzed cuttings highly varied and was not significantly correlated with the DBH. Fir trees above 12.5 cm DBH had the highest age with 60 to 140 years, the remaining deciduous trees had the lowest age with 40 to 80 years. Beech and spruce trees were usually 50 to 100 years old. The diameter increment of the recruitment was very small: 90% of the coniferous and 50% of the deciduous trees had a narrow ring with average annual ring widths below 1 mm. The suppression period varied between 10 and 100 years.

The diameter increment of the elite trees ranged between 2 and 8 mm/year in the last few years. Low shading, missing shelter and missing lateral competition were positively correlated to the DBH increment, while moderate to strong lateral competition had a negative effect. DBH and relative crown length explain, together with shading, sheltering and competition, between 26 and 70% of the total variance of DBH increment. The height increment varied between 5 and 70 cm/year and depended likewise on DBH and shading, but not on lateral competition. DBH and relative crown length explained, together with shading, competition and/or sheltering, between 41 and 70% of the total variance of the height increment.

The following concept for tending in selection forests of the lower montane zone on limestone is as follows: Within visually detectable tending areas, all groups of recruitment are identified. In mixed recruitment groups with dominant height of less than 5 m the tending is limited to a potential mixture adjustment. The optimal tree species mixture is determined depending on site conditions and the mutual compatibility of the tree species involved. Rare and silviculturally desirable tree species are thereby promoted. Mixture of deciduous and coniferous trees are separated groupwise because of their different crown size and crown development. Spruce and fir, on the other hand, can grow up mixed individually or in small groups ($< 500 \text{ m}^2$). Predominant individuals of low quality, which impede the development of the recruitment groups, are removed. In recruitment groups with a dominant height between 5 and 10 m and with trees that show their potential to reach the canopy, elite trees are selected at a distance varying from 6 to 8 m, and the strongest competitor of each elite tree is removed. Above 10 m height or 12 cm DBH, the elite trees are selected at a distance of 10 to 15 m. The elite trees must meet the same requirements regarding vitality, stability and quality as do elite trees in homogeneous forests. Moreover, they should not be sheltered. Depending on management objective and branchiness, coniferous elite trees should be pruned. In groups of recruitment with small height increment, no positive selection is executed.

Résumé

Les soins culturaux apportés au recrutement dans la forêt jardinée n'ont pas fait l'objet de nombreuses études, contrairement à celles portant sur les soins aux jeunes peuplements dans la futaie régulière. Les soins au recrutement nécessitent donc d'être documentés par des données chiffrées qui serviront de base à la planification sylvicole dans les forêts étagées ainsi qu'aux modèles de développement de la forêt. Ces données pourront également suggérer de nouvelles idées utiles à la rationalisation des soins aux jeunes peuplements des forêts régulières. Ce travail a pour objectif d'analyser l'état et le développement du recrutement en forêt jardinée, de dresser le bilan des soins qui lui sont actuellement apportés et d'utiliser les résultats pour établir un concept rationnel des soins au recrutement en forêt jardinée à l'étage montagnard.

L'étude porte sur 18 placettes de 0,4 à 1,0 ha sélectionnées dans le Val de Travers (canton de Neuchâtel, Jura suisse). Situées à l'étage montagnard inférieur, 14 de ces placettes sont exposées au nord et 4 au sud. La structure du peuplement a été déterminée par un inventaire intégral des arbres d'un DHP supérieur à 7,5 cm et par un relevé par échantillonnage d'arbres d'une hauteur de 50 cm et plus et d'un DHP allant jusqu'à 7,4 cm. Les soins culturaux ont été caractérisés par les critères suivants: nombre d'arbres d'élite et d'arbres coupés, répartition du diamètre de ces arbres et des essences auxquelles ils appartiennent, cause de l'élimination, intensité de l'intervention et répartition spatiale des arbres d'élite. Ces soins ont été apportés par trois groupes de forestiers.

Chez les arbres d'élite, 30 critères d'ordre sylvicole et dendrométrique ont été relevés sur les sapins (n=271) et les épicéas (n=122) d'un DHP entre 2,5 et 22,4 cm; 10 de ces critères ont été relevés sur les hêtres (n=90) et les érables sycomores (n=22). En outre, un grand nombre de données ont été collectées sur 190 résineux couchés. Un disque de bois a été prélevé, à hauteur de poitrine, sur 750 des 1130 arbres coupés. Des modèles logistiques ont permis d'étudier si les principaux facteurs liés à la station et au peuplement (exposition, fertilité, ombrage, recouvrement, concurrence) avaient influencé l'état ou le développement des résineux dans le recrutement et s'il existait des différences significatives entre les sapins et les épicéas. A l'aide d'un échantillon apparié (n= 79), nous avons examiné les différences entre les arbres d'élite et leurs concurrents destinés à l'élimination.

Les 18 placettes présentent de grandes différences dans la structure du peuplement. Le nombre d'arbres (190 à 310 individus d'un DHP > 17,4 cm), la surface terrière (21 à 37 m²/ha) et le matériel sur pied (240 à 430 m³/ha) se situaient dans la marge de dispersion normale des résultats régionaux de l'aménagement forestier. Les essences dominantes ont été le sapin (taux de présence 36 à 74%), l'épicéa (8 à 57 %) et le hêtre (3 à 34 %) sur la plupart des placettes. Trois types de structure ont été caractérisés sur la base d'une analyse de classification.

La répartition de la densité du recrutement, observée sur des placettes d'échantillonnage de 100 m², correspondait à une répartition binomiale négative. Le nombre d'arbres d'un DHP entre 2,5 et 17,4 cm a varié entre 300 et 1100 pieds par ha. Puis il a constamment diminué à partir de la classe de DHP 5 (2,5 à 7,4 cm de DHP) jusqu'à la classe 15 (12,5 à 17,4 cm de DHP). Aucune relation n'a pu être établie entre la densité du peuplement et la structure de la forêt jardinée. Les arbres du recrutement n'étaient pas régulièrement répartis mais ils formaient généralement des groupes serrés. Ces derniers occupaient une surface de 30 à 350 m² et comptaient entre 20 et 90 arbres par are (100 m²). Les surfaces présentaient en moyenne 5 groupes d'arbres par ha.

Les arbres d'élite ont été choisis en fonction de l'essence et de la dimension de l'arbre; soulignons ici que le choix a été différent d'un groupe à l'autre. Les 18 placettes comptaient entre 10 à 90 arbres d'élite par ha; la plupart de ces arbres présentaient un DHP entre 10,0 et 22,0 cm. La sélection a porté sur 50% de sapins, 25% épicéas et 25% de feuillus. En général, les forestiers ont éliminé un seul concurrent pour élargir l'espace nécessaire aux arbres d'élite.

Le choix des arbres destinés à la coupe sur ces 18 placettes s'est également effectué en fonction de l'essence; il a aussi dépendu de l'appréciation du groupe de forestiers; il s'agissait principalement

d'arbres d'un DHP de 2,5 à 17,4 cm. On en a compté entre 40 et 240 par ha; le choix des arbres à éliminer était en étroite corrélation avec le nombre initial de tiges. En conséquence, le nombre moyen d'arbres coupés a diminué avec l'augmentation du DHP; il était beaucoup plus élevé chez le hêtre et le sapin que chez l'épicéa. La nécessité d'éliminer un concurrent ainsi que la sélection négative ont été les principaux facteurs qui ont dicté ce choix.

Une comparaison des soins culturaux apportés au recrutement sur une surface-test a permis de caractériser trois groupes de forestiers dans leur approche lors du martelage; d'après les critères utilisés pour juger des paramètres portant sur la coupe, la pratique des soins culturaux a reflété trois méthodes: une méthode moderne, une méthode classique et une méthode conservatrice.

Plus de la moitié des sapins et des épicéas choisis comme arbres d'élite n'étaient pas sous couvert; ils grandissaient dans des groupes d'arbres comptant 4 voisins au moins; ils avaient un ou deux concurrents directs et étaient modérément ombragés par le peuplement principal. Par contre, les arbres sous couvert ou ceux du recrutement qui croissaient isolément n'ont été que rarement sélectionnés. Les arbres d'élite choisis présentaient des branches plus fines et des racines plus symétriques que celles de leurs voisins destinés à la coupe. Ils étaient aussi plus grands, la base du houppier était plus élevée et ce dernier était donc un peu moins allongé. Bien que ces arbres aient été un peu plus ombragés et davantage exposés à la concurrence, leur accroissement en hauteur a été meilleur, ces 20 dernières années, que celui de leurs concurrents.

Le coefficient d'élancement (valeur h/d) des résineux choisis a varié entre 60 et 120; il a dépendu entre autres de la concurrence latérale ainsi que de la station pour les arbres d'un DHP supérieur à 10 cm. Un large ombrage et une forte concurrence latérale ont exercé une influence négative sur la longueur du houppier. Les sapins et les épicéas de même DHP présentaient des hauteurs semblables; il en fut de même pour la longueur des houppiers de lumière. Si le houppier était un peu plus long chez les épicéas, cela est dû au fait que le houppier d'ombre est aussi plus long.

La longueur de la tige dépourvue de branches a dépendu de la taille de l'arbre, de l'essence et de la concurrence latérale. Elle était de 2 à 3 m chez les sapins et de 1 à 2 m chez les épicéas lorsque ces arbres atteignaient 15 cm de DHP. A ce même stade de développement, les branches des épicéas n'étaient pas plus fines que celles des sapins. Parmi les arbres d'élite, le sapin et l'épicéa n'ont présenté que peu de maladies ou de blessures certes, mais ils ne répondaient qu'à la moitié des exigences sylvicoles.

L'âge des arbres coupés était très variable; aucune corrélation significative n'a pu être établie entre ce facteur et le DHP. Au stade des perchis (à partir de 12,5 cm de DHP), les sapins représentaient l'essence la plus âgée (entre 60 et 140 ans); les hêtres et les épicéas avaient généralement entre 50 et 100 ans; les autres feuillus (érables et frênes entre autres) étaient les plus jeunes (entre 40 et 80 ans). L'accroissement en diamètre des arbres du recrutement a suivi une évolution très lente: 90% des résineux et 50% des feuillus présentaient un cœur serré avec une largeur moyenne de cernes inférieure à 1 mm. Cette période de compression oscillait entre 10 et 100 ans.

L'accroissement en diamètre des arbres d'élite a été de 2 à 8 mm/an ces dernières années. Un faible ombrage, l'absence de recouvrement et de concurrence latérale ont eu un effet positif sur l'accroissement en DHP tandis qu'une concurrence latérale moyenne à forte a été négative. Le DHP et la longueur relative des houppiers, ainsi que l'ombrage, le recouvrement et la concurrence, ont expliqué entre 26 et 70% de la variance globale de l'accroissement en DHP. Ces taux sont différents d'une station à l'autre.

L'accroissement en hauteur des arbres d'élite a varié entre 5 et 70 cm par année. Il a dépendu également du DHP et de l'ombrage mais il n'était pas lié à la concurrence latérale. Le DHP et la longueur relative des houppiers, ainsi que l'ombrage, le recouvrement et/ou la concurrence, ont expliqué entre 41 et 70% de la variance globale de l'accroissement en DHP. Ces taux sont différents d'une station à l'autre.

Concept de soins culturaux dans les forêts jardinées, sur des stations au sol calcaire, à l'étage montagnard inférieur: les groupes d'arbres du recrutement sont à recenser sur un périmètre équivalant au champ de vision de l'observateur. Dans les groupes d'arbres d'une hauteur dominante inférieure à 5 m, les soins se limiteront à une éventuelle régulation du mélange. Le mélange optimal dépendra de la station et de la compatibilité des essences en question. C'est à ce stade qu'il conviendra de favoriser les essences, momentanément rares, que l'on désire incorporer au mélange. Les résineux et les feuillus formeront des groupes séparés car leur développement et la taille de leur houppier sont différents. Les épicéas et les sapins par contre pourront croître en étant mélangés individuellement ou par touffe. Les individus prédominants de mauvaise qualité qui empêchent le développement d'un groupe d'arbres seront éliminés. Dans les groupes prometteurs d'une hauteur dominante entre 5 et 10 m, le choix des arbres d'élite se portera sur des individus séparés par une distance allant de 6 à 8 m et leurs concurrents les plus redoutables seront éliminés. A partir d'une hauteur 10 m et d'un DHP de 12 cm, cette distance sera de 10 à 15 m. Les arbres d'élite devront remplir les mêmes exigences, en termes de vitalité, de stabilité et de qualité, que ceux des futaies régulières et ils ne devront plus être sous couvert. Selon les buts à atteindre et la nodosité des arbres d'élite, l'élagage artificiel de certains résineux sera éventuellement nécessaire. On s'abstiendra d'effectuer des sélections positives dans les groupes d'arbres présentant un faible accroissement en hauteur.

Traduction: Monique Dousse

Riassunto

Le cure colturali alla rinnovazione nel bosco disetaneo non sono state studiate quasi per niente, a differenza di quelle al bosco giovane nella fustaia regolare coetanea. Dati quantitativi sulla cura della rinnovazione vengono richiesti quale base per la pianificazione selvicolturale in boschi irregolari e per modelli sullo sviluppo del bosco. Oltre a ciò da questi possono venire nuovi impulsi per una razionalizzazione delle cure dei giovani boschi regolari. Lo scopo di questo lavoro è quello di analizzare lo stato, lo sviluppo e l'attuale cura della rinnovazione nel bosco disetaneo, e formulare, grazie ai risultati, un programma razionale per la cura della rinnovazione nel bosco disetaneo del piano montano.

In Val-de-Travers (Cantone Neuenburg, Giura svizzero), nel piano montano inferiore, sono state studiate 18 aree di 0,4-1,0 ettari (14 esposte a nord, 4 a sud) dove si doveva applicare cure colturali. La struttura del popolamento è stata rilevata mediante cavallettamento totale di tutti gli alberi con diametro a petto d'uomo superiore a 7,5 cm e attraverso il rilievo su base campionaria degli alberi della rinnovazione di altezza superiore ai 50 cm e con diametro fino a 7,4 cm. La cura alla rinnovazione è stata caratterizzata attraverso il numero degli alberi da favorire (alberi d'élite) e di quelli da tagliare, la loro composizione specifica e distribuzione dei diametri, i motivi della scelta, l'intensità dell'intervento e la distribuzione spaziale degli alberi d'élite. Queste cure sono state effettuate da tre gruppi di forestali.

Sugli alberi d'élite di abete bianco (n=271) e di abete rosso (n=122), con diametro compreso fra 2,5 e 22,4 cm, sono state rilevate 30 caratteristiche selvicolturali e dendrometriche, su quelli di faggio (n=90) e di acero di monte (n=22) 10 caratteristiche. Inoltre, sono state misurate 190 conifere atterrate. Da 750 dei 1130 alberi eliminati sono state prelevate rotelle ad altezza 1,3 m (a petto d'uomo). Con l'aiuto di modelli logistici, si è indagato per accertare se i più importanti fattori stazionali e del popolamento (esposizione, fertilità, ombreggiamento, dominanza, concorrenza) avessero influito sullo stato o lo sviluppo delle conifere in rinnovazione e se fra abeti bianchi e abeti rossi siano esistite differenze significative. Con un campionamento appaiato (n=79) possono inoltre venire provate le differenze fra alberi d'élite ed i loro concorrenti eliminati.

Le 18 aree mostrano notevoli differenze nella struttura del popolamento. Il numero di alberi (190-310 individui con diametro superiore a 17,4 cm), l'area basimetrica (21-37 m²/ha) e la provvigione (240-430 m³/ha) si situano nella normale variabilità dei risultati di assestamento forestale per la regione. Sulla maggior parte delle aree domina l'abete bianco (dal 36 al 74% della provvigione),

prima che l'abete rosso (8-57 %) e il faggio (3-34 %). Con l'aiuto dell'analisi *cluster* sono stati identificati tre tipi strutturali.

La distribuzione della densità della rinnovazione sulle aree campionate di 100 m² corrispondeva ad una distribuzione binomiale negativa. Il numero, ad ettaro, di alberi di diametro fra 2,5 e 17,4 cm è variato tra i 300 e i 1100. Poi è costantemente diminuito a partire dalla classe di diametro 5 (da 2,5 a 7,4 cm) fino alla classe 15 (da 12,5 a 17,4 cm). Non si è potuto stabilire nessuna relazione fra la densità del popolamento e la struttura della foresta disetanea. Gli alberi della rinnovazione non erano regolarmente ripartiti ma formavano generalmente dei gruppi serrati. Questi ultimi occupavano una superficie da 30 a 350 m² e contavano fra 20 e 90 alberi ad ara (100 m²). Le superfici presentavano in media 5 gruppi d'alberi ad ettaro.

Gli alberi d'élite sono stati scelti in funzione della specie e della dimensione dell'albero; vorremmo qui sottolineare che la scelta è stata differente da un gruppo di forestali all'altro. Le 18 aree contavano da 10 a 90 alberi d'élite ad ettaro; la maggior parte di questi alberi presentavano un diametro fra 10 e 22 cm. Sono stati scelti per il 50% abeti bianchi, per il 25% abeti rossi e per il 25% latifoglie. In generale i forestali hanno eliminato un solo concorrente per dare lo spazio necessario agli alberi d'élite.

La scelta degli alberi destinati al taglio su queste 18 aree è stato ugualmente effettuato in funzione della specie; è anche dipeso dalla valutazione del gruppo di forestali; si trattava principalmente di alberi di un diametro compreso fra 2,5 e 17,4 cm. Ne sono stati contati fra 40 e 240 ad ettaro; la scelta degli alberi da eliminare è stata strettamente correlata con il numero iniziale di alberi. Di conseguenza, il numero medio di alberi tagliati è diminuito con l'aumentare del diametro; esso è stato molto più elevato per il faggio e l'abete bianco che per l'abete rosso. La necessità di eliminare un concorrente, così come la selezione negativa, sono stati i principali fattori che hanno dettato questa scelta.

Un confronto delle cure colturali a favore della rinnovazione su una superficie sperimentale ha permesso di caratterizzare tre gruppi di forestali, per quanto concerne il loro approccio durante la martellata; secondo i parametri giudicati da considerare per il taglio, la pratica delle cure colturali ha riflesso tre metodi: un metodo moderno, un metodo classico ed un metodo conservatore.

Più della metà degli abeti bianchi e degli abeti rossi scelti come alberi d'élite non erano cresciuti sotto copertura; essi crescevano in gruppi di alberi di almeno 4 vicini; essi avevano uno o due concorrenti diretti ed erano moderatamente ombreggiati dal popolamento principale. Al contrario, gli alberi sotto copertura o quelli della rinnovazione che crescevano isolatamente non sono stati selezionati che raramente. Gli alberi d'élite presentavano dei rami più fini e delle radici più simmetriche di quelli dei loro vicini destinati al taglio. Essi erano anche più grandi, la base della chioma era più elevata e la lunghezza relativa della chioma era dunque un po' più corta. Nonostante questi alberi fossero stati più ombreggiati ed esposti a concorrenza, il loro accrescimento in altezza è stato migliore, questi ultimi 20 anni, di quello dei loro concorrenti.

Il coefficiente di snellezza (rapporto h/d) delle conifere scelte è variato fra 60 e 120; è dipeso fra l'altro dalla concorrenza laterale, così come dalla stazione per gli alberi di un diametro superiore a 10 cm. Un grande ombreggiamento ed una forte concorrenza laterale hanno esercitato un'influenza negativa sulla lunghezza della chioma. Gli abeti bianchi e gli abeti rossi dello stesso diametro presentavano delle altezze simili; lo stesso dicasi per la lunghezza delle chiome di luce. Se la lunghezza relativa della chioma era un po' più elevata negli abeti rossi, questo era dovuto al fatto che la chioma di ombra è pure più lunga.

La lunghezza del getto sprovvisto di rami è dipesa dalla dimensione dell'albero, dalla specie e dalla concorrenza laterale. Essa era di 2-3 m nell'abete bianco e di 1-2 m negli abeti rossi quando questi alberi raggiungevano 15 cm di diametro. Considerando alberi delle stesse dimensioni, i rami degli abeti rossi non erano più fini di quelli degli abeti bianchi. Fra gli alberi d'élite, l'abete bianco e

l'abete rosso non hanno presentato che poche malattie o chiare ferite, ma, ciononostante, essi non rispondevano che alla metà delle caratteristiche selvicolturali richieste.

L'età degli alberi tagliati era molto variabile; non è stato possibile stabilire alcuna correlazione significativa fra questo fattore ed il diametro. Allo stadio di perticaia (a partire da 12,5 cm di diametro), gli abeti bianchi rappresentavano la specie più vecchia (fra i 60 ed i 140 anni); i faggi e gli abeti rossi avevano generalmente fra 50 e 100 anni; le altre latifoglie (aceri e frassini fra gli altri) erano più giovani (fra 40 e 80 anni). L'accrescimento in diametro degli alberi della rinnovazione ha seguito un'evoluzione molto lenta: il 90% delle conifere ed il 50% delle latifoglie presentavano un cuore serrato con una larghezza media degli anelli di accrescimento inferiore ad 1 mm. Questo periodo di compressione oscillava fra 10 e 100 anni.

L'accrescimento in diametro degli alberi d'élite è stato da 2 a 8 mm/anno, in questi ultimi anni. Un debole ombreggiamento, l'assenza di copertura e di concorrenza laterale hanno avuto un effetto positivo sull'accrescimento in diametro, mentre una concorrenza laterale da media a forte è risultata negativa. Il diametro e la lunghezza relativa delle chiome, così come l'ombreggiamento, la copertura e la concorrenza hanno spiegato, secondo la stazione, fra il 26 ed il 70% della varianza globale dell'accrescimento in diametro.

L'accrescimento in altezza degli alberi d'élite è variato fra 5 e 70 cm ad anno. Esso era, ugualmente, influenzato dal diametro e dall'ombreggiamento, ma non era legato alla concorrenza laterale. Il diametro e la lunghezza relativa delle chiome, come anche l'ombreggiamento, la copertura e/o la concorrenza hanno spiegato, secondo la stazione, fra il 41 e il 70% della varianza globale dell'accrescimento in diametro.

Programmazione di cure colturali nelle foreste disetanee, in stazioni su suolo calcareo, nel piano montano inferiore: i gruppi di alberi della rinnovazione vanno identificati su un perimetro equivalente al campo visivo dell'osservatore. Nei gruppi di alberi di un'altezza dominante inferiore a 5 m, le cure si limiteranno ad una eventuale regolazione del grado di mescolanza. Il grado di mescolanza ottimale dipenderà dalla stazione e dalla compatibilità delle specie in questione. È a questo stadio che converrà favorire le specie, al momento rare, che si desidera avere. Le conifere e le latifoglie formeranno dei gruppi separati poiché il loro sviluppo e la dimensione delle loro chiome sono differenti. Gli abeti rossi e gli abeti bianchi invece potranno crescere mischiati individualmente o a "truppe" (1-5 are). Gli individui predominanti di cattiva qualità che impediscono lo sviluppo di un gruppo di alberi saranno eliminati. Nei gruppi promettenti di un'altezza dominante compresa fra i 5 ed i 10 m, la scelta degli alberi d'élite cadrà su individui separati da una distanza compresa fra i 6 e gli 8 m. I loro concorrenti più forti saranno eliminati. A partire da un'altezza di 10 m e da un diametro di 12 cm, questa distanza sarà di 10-15 m. Gli alberi d'élite dovranno soddisfare le stesse esigenze, in termini di vitalità, di stabilità e di qualità, delle fustaie coetanee e non dovranno più essere sotto copertura. Secondo gli scopi da raggiungere, e la nodosità degli alberi d'élite, la potatura dei rami di alcune conifere sarà eventualmente necessaria. Ci si asterrà dall'effettuare della selezione positiva nei gruppi di alberi che presentano un debole accrescimento in altezza.

Traduzione: Dr. Paolo Cherubini

Abkürzungsverzeichnis

Häufig gebrauchte Fachtermini wurden aus Platzgründen vielfach abgekürzt.
Die verwendeten Abkürzungen haben folgende Bedeutung:

| | |
|-------|--|
| Abb. | Abbildung |
| AH | Aushieb |
| AKBN | Anzahl Konkurrenten und Begleiter nach dem Pflegeeingriff |
| AKBV | Anzahl Konkurrenten und Begleiter vor dem Pflegeeingriff |
| AKOPN | Anzahl potentielle Konkurrenten nach dem Pflegeeingriff |
| AKOPV | Anzahl potentielle Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff |
| AKORN | Anzahl reale Konkurrenten nach dem Pflegeeingriff |
| AKORV | Anzahl reale Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff |
| AI | Ausleseintensität |
| AL | anderes Laubholz, übrige Laubbäume |
| ALB | Auslesebaum |
| BA | Baumart |
| BHD | Brusthöhendurchmesser |
| BU | Buche |
| DM | Durchmesser |
| DSTU | BHD-Stufe |
| EK | Engkern |
| ET | Entwicklungstendenz |
| EXP | Exposition |
| E&K | Ellenberg und Klötzli (1972) |
| F | Prüfwert der Teststatistik (F-Test) |
| FG | Freiheitsgrad |
| FGR | Förstergruppe (FGR1, FGR2, FGR3) |
| FI | Fichte |
| FNR | Flächennummer (fortlaufende Nummern 1 bis 18) |
| FZE | Flächenzeichen (fortlaufende Buchstaben A bis R) |
| GAST | Grünast |
| GB | gros bois (Starkholz, $\geq 52,5$ cm BHD) |
| GFL | Grundfläche (Basalfläche) |
| HK1/2 | erste bzw. zweite Hauptkomponente der Hauptkomponenten-Analyse |
| HMKB | Höhe der maximalen Kronenbreite |
| Kap. | Kapitel |
| KI | Konkurrenzindex nach Groualle und Minot (1989) |
| KON | Konkurrent (Aushiebsgrund) |
| KLA | Kronenlänge |
| KLAL | Kronenlänge Lichtkrone |
| KLAS | Kronenlänge Schattenkrone |
| KLUI | Klumpungsindex |
| KMFL | Kronenmantelfläche |
| KSFL | Kronenschirmfläche |
| KSYM | Kronensymmetrie |
| KZ | Konkurrenzzahl nach Schütz (1989) |
| Lbh | Laubholz (Summe aller Laubbäume) |
| LDR | Licht- und Dichteregulierung (Aushiebsgrund) |
| LKQ | Lichtkronenquotient |
| MAX | Maximum |
| MB | bois moyen (Mittelholz, 32,5-51,4 cm BHD) |
| MIN | Minimum |

| | |
|----------------|---|
| MIR | Mischungsregulierung (Aushiebsgrund) |
| MW | Mittelwert |
| MED | Median (50%-Perzentil) |
| N | Nord |
| n | Anzahl |
| Ndh | Nadelholz (Summe aller Nadelbäume) |
| NEG | negative Entnahme (Aushiebsgrund) |
| NVP | Normalverteilungsprüfung |
| NW | Nachwuchs |
| NWG | Nachwuchsgruppe |
| NWF | Nachwuchsförderung (Aushiebsgrund) |
| p/Prob. | probability (Wahrscheinlichkeit) |
| PB | petit bois (Schwachholz, 17,5-32,4 cm BHD) |
| P05 | 5%-Perzentil |
| P10 | 10%-Perzentil |
| P90 | 90%-Perzentil |
| P95 | 95%-Perzentil |
| Q1 | erstes Quartil (25%-Perzentil) |
| Q3 | drittes Quartil (75%-Perzentil) |
| r | Rangkorrelationskoeffizient rho nach Spearman |
| R ² | Bestimmtheitsmass |
| S | Süd |
| SPA | Stichprobenanzahl |
| STD | standard deviation (Standardabweichung) |
| Std.Err. | standard error (Standardfehler der Schätzung) |
| STZ/Stz. | Stammzahl |
| SUM | Summe, Total |
| T | Prüfwert der Teststatistik (T-Test) |
| TA | Tanne |
| Tab. | Tabelle |
| TG | tres gros bois (Superstarkholz, $\geq 72,5$ cm BHD) |
| TLQ | Trieblängequotient |
| TPZ | Testpersonenzeichen (Buchstaben A bis L) |
| UB | untersuchter BHD-Bereich (2,5-22,4 cm BHD) |
| UFL | Untersuchungsfläche |
| UGS | Untergesellschaft |
| VA | Vorratsanteil (%) |
| Vol. | Volumen, Holzvorrat |
| WGS | Waldgesellschaft |

- (*) Signifikanz auf dem Niveau von 10%
 * Signifikanz auf dem Niveau von 5%
 ** Signifikanz auf dem Niveau von 1%
 *** Signifikanz auf dem Niveau von 0,1%

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| 1 EINLEITUNG | 1 |
| 1.1 PROBLEMSTELLUNG..... | 1 |
| 1.2 BEDEUTUNG IM HEUTIGEN FORSTWIRTSCHAFTLICHEN UMFELD DER SCHWEIZ..... | 2 |
| 1.3 KENTNISSTAND ÜBER ZUSTAND, ENTWICKLUNG UND PFLEGE DES NACHWUCHSES..... | 3 |
| 1.3.1 <i>Begriff der Nachwuchspflege</i> | 3 |
| 1.3.2 <i>Brauchbarkeit des Nachwuchses im Plenterwald</i> | 3 |
| 1.3.3 <i>Ausfallgründe und Ausfallraten im Nachwuchs</i> | 4 |
| 1.3.4 <i>Vitalität und Qualität der Nachwuchs bäume</i> | 5 |
| 1.3.5 <i>Wachstum und Zuwachs der Nachwuchs bäume</i> | 5 |
| 1.3.6 <i>Durchführung der Nachwuchspflege</i> | 6 |
| 1.3.7 <i>Nachhaltigkeit des Plenternachwuchses</i> | 6 |
| 1.4 ZIELSETZUNG, FRAGESTELLUNGEN UND ARBEITSHYPOTHESEN..... | 7 |
| 2 UNTERSUCHUNGSGEBIET | 8 |
| 2.1 AUSWAHL UND LAGE..... | 8 |
| 2.2 KLIMA..... | 9 |
| 2.3 GEOLOGIE..... | 10 |
| 2.4 BODEN..... | 10 |
| 2.5 VEGETATION..... | 11 |
| 2.6 STANDORTSPOTENTIAL..... | 12 |
| 2.7 WALDGESCHICHTE..... | 13 |
| 2.8 WALDZUSTAND..... | 15 |
| 2.9 ZIELE UND GRUNDSÄTZE DER WALDBEWIRTSCHAFTUNG..... | 16 |
| 3 METHODIK, AUFNAHME- UND AUSWERTEVERFAHREN | 18 |
| 3.1 ERLÄUTERUNG EINIGER BEGRIFFE..... | 18 |
| 3.2 WAHL DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN UND DER MESSBÄUME..... | 20 |
| 3.3 AUFNAHMEVERFAHREN..... | 22 |
| 3.4 AUFNAHMEMERKMALE..... | 23 |
| 3.5 ABGELEITETE MERKMALE..... | 27 |
| 3.5.1 <i>Berechnung des Standortspotentials</i> | 27 |
| 3.5.2 <i>Merkmale zur Charakterisierung der Vitalität von Einzelbäumen</i> | 28 |
| 3.5.3 <i>Merkmale zur Charakterisierung der Konkurrenzwirkung auf Einzelbäume</i> | 29 |
| 3.5.4 <i>Merkmale zur Charakterisierung der Qualität von Einzelbäumen</i> | 30 |
| 3.5.5 <i>Merkmale zur Charakterisierung von Schäden und Risiken am Einzelbaum</i> | 31 |
| 3.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG..... | 31 |
| 4 STRUKTUR VON HAUPTBESTAND UND NACHWUCHS | 33 |
| 4.1 PLENTERSTRUKTUR..... | 33 |
| 4.2 NACHWUCHSSTRUKTUR..... | 37 |
| 4.2.1 <i>Anzahl und Verteilung des Nachwuchses</i> | 37 |
| 4.2.2 <i>Baumartenzusammensetzung</i> | 40 |
| 4.2.3 <i>Gruppierung der Untersuchungsflächen</i> | 41 |
| 4.2.4 <i>Vergleich der Nachwuchsdichte mit der Plenterstruktur</i> | 42 |
| 4.2.5 <i>Räumliche Verteilung der Nachwuchs stämme</i> | 42 |
| 4.2.6 <i>Nachwuchsgruppen</i> | 43 |
| 4.2.7 <i>Zustand und waldbauliche Brauchbarkeit der Nadelbäume im Nachwuchs</i> | 45 |
| 5 NACHWUCHSPFLEGE | 46 |
| 5.1 AUSLESE..... | 46 |
| 5.1.1 <i>Verteilung der Auslesebäume auf BHD-Stufen und Baumarten</i> | 46 |
| 5.1.2 <i>Auswahl der Auslesebäume</i> | 48 |
| 5.1.3 <i>Stammzahldichte der Auslesebäume</i> | 50 |
| 5.1.4 <i>Ausleseintensität</i> | 51 |
| 5.1.5 <i>Förderungsintensität</i> | 53 |
| 5.1.6 <i>Räumliche Verteilung der Auslesebäume</i> | 55 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.1.7 | <i>Abstand von einem Auslesebaum zum nächsten</i> | 57 |
| 5.2 | AUSHIEB | 58 |
| 5.2.1 | <i>Verteilung der Aushiebe auf BHD-Stufen und Baumarten</i> | 58 |
| 5.2.2 | <i>Bezeichnung der Aushiebe</i> | 60 |
| 5.2.3 | <i>Aushiebsmenge</i> | 62 |
| 5.2.4 | <i>Aushiebsgründe</i> | 63 |
| 5.2.5 | <i>Eingriffsstärke</i> | 67 |
| 5.3 | VERGLEICH DER NACHWUCHSPFLEGE MEHRERER FORSTLEUTE | 70 |
| 5.3.1 | <i>Auswahl der Ausleseebäume</i> | 70 |
| 5.3.2 | <i>Bezeichnung der Aushiebe</i> | 71 |
| 5.3.3 | <i>Gruppierung der Testpersonen und Charakterisierung ihrer Nachwuchspflege</i> | 74 |
| 6 | ZUSTAND DER AUSLESEBÄUME | 78 |
| 6.1 | EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ENTWICKLUNG DER NACHWUCHSBÄUME | 78 |
| 6.1.1 | <i>Standortspotenzial und Definition von Standortseinheiten</i> | 78 |
| 6.1.2 | <i>Überschirmung</i> | 82 |
| 6.1.3 | <i>Seitliche Konkurrenz</i> | 84 |
| 6.1.4 | <i>Beschattung</i> | 88 |
| 6.2 | HÖHENKURVE UND STABILITÄT | 89 |
| 6.2.1 | <i>Durchmesser-Höhenkurve und Schlankheitsgrad</i> | 89 |
| 6.2.2 | <i>Faktoren mit Einfluss auf den Schlankheitsgrad</i> | 89 |
| 6.2.3 | <i>Einfluss des Standortes</i> | 90 |
| 6.2.4 | <i>Einfluss der seitlichen Konkurrenz</i> | 90 |
| 6.2.5 | <i>Berechnete Höhenkurven für Tanne und Fichte</i> | 92 |
| 6.3 | KRONENKENNWERTE UND VITALITÄT..... | 94 |
| 6.3.1 | <i>Kronenlänge</i> | 94 |
| 6.3.2 | <i>Kronenschirmfläche</i> | 100 |
| 6.3.3 | <i>Lichtkronenindex als Ausdruck der vertikalen Kronenform</i> | 103 |
| 6.3.4 | <i>Kronensymmetrie als Ausdruck der horizontalen Kronenform</i> | 104 |
| 6.3.5 | <i>Entwicklungstendenz</i> | 105 |
| 6.4 | SCHAFTMERKMALE UND QUALITÄT | 106 |
| 6.4.1 | <i>Geradschaftigkeit</i> | 106 |
| 6.4.2 | <i>Schaftform</i> | 106 |
| 6.4.3 | <i>Astigheit</i> | 107 |
| 6.5 | VERLETZUNGEN, KRANKHEITEN, HOLZFEHLER UND RISIKEN | 114 |
| 6.6 | WALDBAULICHE EIGNUNG DER NADELHOLZ-AUSLESEBÄUME | 116 |
| 6.7 | VERGLEICH DER AUSLESEBÄUME MIT DEN DIREKTEN KONKURRENTEN..... | 116 |
| 6.8 | ZUSTAND UND EIGNUNG DER LAUBHOLZ-AUSLESEBÄUME..... | 118 |
| 6.8.1 | <i>Höhenkurve und Stabilität</i> | 118 |
| 6.8.2 | <i>Kronenkennwerte und Vitalität</i> | 119 |
| 6.8.3 | <i>Schaftmerkmale und Qualität</i> | 120 |
| 6.8.4 | <i>Verletzungen, Krankheiten, Holzfehler und Risiken</i> | 121 |
| 6.8.5 | <i>Waldbauliche Eignung der Laubholz-Ausleseebäume</i> | 121 |
| 7 | ENTWICKLUNG DER AUSLESEBÄUME | 122 |
| 7.1 | DURCHMESSERZUWACHS | 122 |
| 7.2 | HÖHENZUWACHS | 128 |
| 7.2.1 | <i>Höhenzuwachs pro Zeitperiode und Einflussfaktoren</i> | 128 |
| 7.2.2 | <i>Entwicklung des Höhenzuwachses in den letzten 20 Jahren</i> | 135 |
| 8 | ZUSTAND DER AUSHIEBE | 137 |
| 8.1 | BHD UND HÖHE IN ABHÄNGIGKEIT DES ALTERS | 137 |
| 8.2 | ENKERN UND UNTERDRÜCKUNG..... | 143 |
| 8.2.1 | <i>Häufigkeit von Engkern</i> | 143 |
| 8.2.2 | <i>Unterdrückungszeitraum</i> | 145 |
| 8.2.3 | <i>Unterdrückungsintensität</i> | 147 |
| 8.2.4 | <i>Vertikale Ausdehnung des Engkerns</i> | 149 |
| 8.3 | KRONENFORM..... | 150 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 8.3.1 | <i>Quantitative Charakterisierung der Kronenparameter</i> | 150 |
| 8.3.2 | <i>Faktoren mit Einfluss auf die Kronenparameter</i> | 150 |
| 8.3.3 | <i>Gruppierung der Kronenformen zu Kronentypen</i> | 151 |
| 8.4 | SCHAFTFORM..... | 155 |
| 8.4.1 | <i>Verhältnis der Stammdurchmesser in verschiedener Baumhöhe zum BHD</i> | 155 |
| 8.4.2 | <i>Durchmesserabnahme pro Laufmeter</i> | 158 |
| 8.4.3 | <i>Echte Formzahl nach Hohenadl</i> | 159 |
| 8.4.4 | <i>Schaftquerschnitt</i> | 162 |
| 8.5 | ASTIGKEIT | 163 |
| 8.6 | SCHÄDEN | 164 |
| 8.6.1 | <i>Schäden im Schaft- und Kronenbereich</i> | 164 |
| 8.6.2 | <i>Holzschäden</i> | 164 |
| 9 | ENTWICKLUNG DER AUSHIEBE | 165 |
| 9.1 | RADIALZUWACHS | 165 |
| 9.1.1 | <i>Grösse, Verteilung und zeitliche Entwicklung des Radialzuwachses</i> | 165 |
| 9.1.2 | <i>Durchwuchszeiten durch BHD-Stufen</i> | 168 |
| 9.2 | HÖHENZUWACHS | 170 |
| 9.2.1 | <i>Grösse, Verteilung und zeitliche Entwicklung des Höhenzuwachses</i> | 170 |
| 9.2.2 | <i>Aufwuchs- und Durchwuchszeiten durch Höhenklassen</i> | 176 |
| 10 | ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND VERGLEICH MIT DER LITERATUR | 177 |
| 10.1 | STRUKTUR UND TEXTUR VON HAUPTBESTAND UND NACHWUCHS | 177 |
| 10.2 | NACHWUCHSPFLEGE..... | 180 |
| 10.3 | ZUSTAND VON AUSLESEBÄUMEN UND AUSHIEBEN..... | 183 |
| 10.3.1 | <i>Einflussfaktoren auf den Zustand der Ausleseebäume</i> | 183 |
| 10.3.2 | <i>Höhenkurve und Stabilität der Ausleseebäume</i> | 183 |
| 10.3.3 | <i>Kronenkennwerte und Vitalität der Ausleseebäume</i> | 185 |
| 10.3.4 | <i>Schaftmerkmale und Qualität der Ausleseebäume</i> | 186 |
| 10.3.5 | <i>Physikalisches Baumalter der Aushiebe</i> | 187 |
| 10.3.6 | <i>Unterdrückungszeitraum und Engkern</i> | 188 |
| 10.3.7 | <i>Schaft- und Kronenform im Aushieb</i> | 189 |
| 10.3.8 | <i>Astigkeits im Aushieb</i> | 190 |
| 10.4 | ENTWICKLUNG VON AUSLESEBÄUMEN UND AUSHIEBEN | 191 |
| 10.4.1 | <i>Durchmesser- und Radialzuwachs</i> | 191 |
| 10.4.2 | <i>Höhenzuwachs</i> | 192 |
| 10.5 | VERGLEICH DER AUSLESEBÄUME MIT DEN AUSHIEBEN | 194 |
| 10.6 | VERGLEICH EINIGER KENNGRÖSSEN DER HÄUFIGSTEN BAUMARTEN | 194 |
| 11 | DISKUSSION DER VERWENDETEN METHODEN UND DER WICHTIGSTEN WALDBAULICHEN FRAGESTELLUNGEN | 196 |
| 11.1 | KRITISCHE BEURTEILUNG DER VERWENDETEN METHODEN..... | 196 |
| 11.2 | WIE LÄSST SICH DIE HEUTIGE NACHWUCHSPFLEGE CHARAKTERISIEREN? | 198 |
| 11.3 | WELCHE NACHWUCHSBÄUME SIND IM PLENTERWALD BRAUCHBAR? | 198 |
| 11.4 | WELCHE NACHWUCHSBÄUME KOMMEN ALS AUSLESEBÄUME IN FRAGE? WELCHE WERDEN ALS AUSLESEBÄUME GEWÄHLT?..... | 199 |
| 11.5 | WELCHEN EINFLUSS HAT DIE NACHWUCHSSTRUKTUR AUF DIE PFLEGE? | 200 |
| 11.6 | WELCHE FAKTOREN BEEINFLUSSEN DEN ZUSTAND UND DIE ENTWICKLUNG DER AUSLESEBÄUME IM NACHWUCHS VON PLENTERWÄLDERN? | 201 |
| 11.6.1 | <i>Faktoren mit Einfluss auf Zustand und Entwicklung des Nachwuchses</i> | 201 |
| 11.6.2 | <i>Abhängigkeit der untersuchten Merkmale von der Baumdimension</i> | 202 |
| 11.6.3 | <i>Einfluss des Standortes</i> | 202 |
| 11.6.4 | <i>Einfluss der Baumart: Unterschiede zwischen Tanne und Fichte</i> | 202 |
| 11.6.5 | <i>Einfluss der Beschattung und der Überschirmung</i> | 204 |
| 11.6.6 | <i>Einfluss der seitlichen Konkurrenz</i> | 204 |
| 11.7 | WELCHE ROLLE SPIELEN DIE LAUBBÄUME IM NACHWUCHS? | 205 |
| 11.8 | IST DIE FRÜHZEITIGE POSITIVE AUSLESE IM NACHWUCHS ZIELFÜHREND? | 208 |
| 11.9 | IST WERTASTUNG DER NACHWUCHSSTANGEN NÖTIG UND SINNVOLL? | 210 |

| | |
|---|------------|
| 12 KONZEPT FÜR DIE NACHWUCHSPFLEGE IM PLENTERWALD..... | 211 |
| 12.1 ZIEL DER NACHWUCHSPFLEGE..... | 211 |
| 12.2 BESONDERHEITEN DES NACHWUCHSES VON PLENTERWÄLDERN..... | 211 |
| 12.3 MASSNAHMEN DER NACHWUCHSPFLEGE..... | 212 |
| 12.3.1 <i>Bedeutung der einzelnen Massnahmen</i> | 212 |
| 12.3.2 <i>Schutzmassnahmen</i> | 212 |
| 12.3.3 <i>Mischungsregelung</i> | 213 |
| 12.3.4 <i>Erziehung durch Licht- und Dichteregulierung</i> | 213 |
| 12.3.5 <i>Auslese</i> | 214 |
| 12.3.6 <i>Nachwuchsförderung</i> | 215 |
| 12.3.7 <i>Qualitätsverbesserung durch Kronenschnitt oder Wertastung</i> | 216 |
| 12.4 PRAKTISCHE AUSFÜHRUNG DER NACHWUCHSPFLEGE..... | 216 |

LITERATURVERZEICHNIS

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die meisten deutsch- und französischsprachigen Waldbau-Lehrbücher der letzten 20 Jahre (Leibundgut 1978, Mayer 1984, Lanier 1986, Burschel & Huss 1987, Boudru 1989, Schütz 1990, Röhrig 1990, Rittershofer 1994) befassen sich umfassend mit der Waldpflege im gleichförmigen Hochwald. Die Jungwaldpflege mit ihren Teilschritten Jungwuchs-, Dickungs- und Stangenholzpflege nimmt jeweils einen breiten Raum ein. Damit kommt zum Ausdruck, dass die Jungwaldpflege im gleichförmigen Wald sehr wichtig und entsprechend gut untersucht ist, so dass für die wichtigsten Baumarten gute waldbauliche Grundlagen bestehen.

Zur Nachwuchspflege im Plenterwald dagegen existieren fast keine quantitativen Angaben, sondern bloss qualitative Beschreibungen (Leibundgut 1978, Schütz 1989). Einer der Gründe dafür sind die relativ niedrigen Pflegekosten: die Nachwuchspflege im Plenterwald ist rund fünf- bis zehnmal günstiger als die Jungwaldpflege im schlagweisen Hochwald (Leibundgut 1975). Zudem weisen die Nachwuchsgruppen im Plenterwald häufig bereits eine gewisse Stufigkeit auf, so dass die Pflege waldbaulich weniger dringlich ist als in den relativ dichten Jungwüchsen und Dickungen aus flächiger Verjüngung.

In den letzten zwei Jahrzehnten ist das Interesse an stufigen Waldstrukturen im Allgemeinen und am Plenterwald im Speziellen stark gestiegen. Die Forschung konzentrierte sich in der Schweiz auf die Charakterisierung der Plenterverfassung (Eggenberger 1985) und die Herleitung des Plentergleichgewichts (Schütz 1975, Bachofen 1996), auf die Überführung von gleichförmigen Wäldern in Plenterwälder (Bernasconi 1984, Schütz 1989), auf die Möglichkeiten der Plenterung in Laubwäldern bzw. mit Laubbäumen (Schütz 1992), auf die Beziehung zwischen Wild und Plenterwald (Eiberle & Wenger 1983, Eiberle & Holenstein 1985, Eiberle & Bucher 1989) und auf die Frage nach dem minimal notwendigen Nachwuchs zur Erhaltung der Plenterstruktur (Duc 1991). Die letzte Frage interessiert Forschung und Praxis gleichermaßen, weil die Tannenverjüngung in den Plenterwaldgebieten durch den zunehmenden Wildverbiss ab den 60er Jahren kaum mehr über die Jungwuchs-Stufe hinaus kam und durch den Ausfall der Tanne mittel- bis langfristig der Verlust der Plenterstruktur befürchtet werden musste (Mitscherlich 1961; Frehner 1969, Kammerlander 1978; Eiberle & Holenstein 1985; Duc 1991).

Die daraus abgeleitete Forschungsfrage, wieviel Nachwuchsstämme zur dauernden Erhaltung der Plenterstruktur nötig seien, wurde vom Autor im Rahmen seiner Diplomarbeit (Duc 1988) abgehandelt. Er stützte sich dabei auf das Gleichgewichtsmodell von Schütz (1975) ab. Schütz untersuchte für die nordexponierten Tannen-Buchenwälder im Val-de-Travers den Einfluss der Bestandesdichte auf Durchmesserzuwachs und Einwüchse und berechnete mit Hilfe aller vorliegenden Inventuren der Gemeindewälder von Môtiers im Zeitraum 1902 bis 1970 die relative Eingriffsstärke pro Durchmesserstufe. Daraus konnte er Stammzahl-Gleichgewichtskurven für die Plenterwälder auf Tannen-Buchenwaldstandorten berechnen und für verschiedene Eingriffsstärken und Zieldurchmesser variieren. Seine Betrachtungen bezogen sich auf den Durchmesserbereich oberhalb der im Kanton Neuenburg üblichen Kluppschwelle von 17,5 cm BHD. Dieses Modell diente als Ausgangspunkt der Nachhaltigkeitsbetrachtungen für den Nachwuchs. Bei bekannter Anfangsstammzahl n_1 (Modell-Stammzahl der untersten berechneten Durchmesserstufe) lassen sich nämlich die für die Erhaltung des Modellgleichgewichts benötigten Stammzahlen der Nachwuchsstufen berechnen (Duc 1991). Voraussetzung dazu ist aber, dass der Anteil e der ausgefallenen oder genutzten Stämme und der Anteil p der auswachsenden Stämme berechnet oder genügend genau geschätzt werden kann. Der Anteil p ist abhängig vom mittleren Durchmesserzuwachs der Nachwuchsbäume pro BHD-Stufe und kann deshalb erhoben werden. Der Anteil e der ausfallenden oder genutzten Nachwuchsbäume dagegen ist bis heute unbekannt, weil die Nachwuchspflege im Plenterwald noch nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen war. Diese Wissenslücke soll mit der vorliegenden Arbeit geschlossen werden.

Diss. ETH Nr. 13584

**Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses
in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neuenburger Jura)**

Abhandlung zur Erlangung des Titels
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Philippe Duc
dipl. Forsting. ETH
von Villars-Bramard (VD)
geboren am 13.8.1962 in Bern

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. J.-Ph. Schütz, Referent
Prof. Dr. P. Bachmann, Korreferent

2000

Dank

Die vorliegende Arbeit entstand zum grössten Teil während meiner achtjährigen Tätigkeit (1988-1996) als Unterrichtsassistent an der Professur für Waldbau der Abteilung Forstwirtschaft der ETH Zürich. Mein besonderer Dank gilt darum dessen Vorsteher, Herrn Prof. Dr. J.-Ph. Schütz. Er brachte mir als Lehrer die Vorzüge der Plenterung näher, gab den Anstoss zur vorliegenden Arbeit und sorgte als Arbeitgeber für die notwendigen Rahmenbedingungen zu deren Erstellung. Darüber hinaus konnte er mir aufgrund seiner grossen praktischen Erfahrung mit der Plenterung und aufgrund seiner immensen theoretischen Kenntnisse in jeder Phase der Arbeit viele wertvolle Hinweise und Ratschläge zu methodischen und fachlichen Fragen geben.

Mein herzlicher Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. P. Bachmann, welcher als ehemaliger Waldbauassistent, Praktiker und jetziger Vorsteher der Professur für Forsteinrichtung und Waldwachstum einige wichtige Hinweise zu waldbaulichen und waldwachstumskundlichen Fragen geben konnte und die Arbeit minutiös auf Fehler und Ungereimtheiten durchgesehen hat.

Zu besonderem Dank verpflichtet bin ich PD Dr. D. Mandallaz. Er beriet mich in statistischen Fragen und gab den Anstoss zur Verwendung der logistischen Regression als statistisches "Standardverfahren" für meine Arbeit. Dadurch liess sich der vermutete Einfluss mehrerer Faktoren auf eine bestimmte Zielgrösse effizient analysieren.

In der Endphase der Arbeit erhielt ich wertvolle fachliche Hinweise durch die Herren P. Junod, Kreisförster in Cortaillod (Kt. Neuenburg), W. Linder, ehemals Kreisförster im Emmental und Forstmeister des bernisches Mittellandes, Dr. P. Brang (WSL), Projektleiter Sanasilva-Inventur. Mein Dank richtet sich zudem an folgende Personen:

Herrn Dr. P. Lüscher (WSL) für die Beratung bei der Interpretation von Bodenprofilen.

Herrn Dr. W. Keller (WSL) für die kritische Durchsicht der Kapitel 2.5 und 2.6.

Herrn Prof. em. Dr. J.-L. Jeanrichard, ehemals Professor für Geobotanik an der Universität Neuenburg, für wertvolle Hinweise zu den jurassischen Waldgesellschaften der montanen Stufe.

Herrn A. Haldimann, ehemals Förster in Couvet, für wertvolle Hinweise zur Nachwuchspflege, welche die Ableitung von Hypothesen zu Beginn der Arbeit wesentlich erleichterten.

Den Herren J.-M. Oberson und R. Augsburg, Kreisförster im Val-de-Travers, für die Möglichkeit, die Untersuchung in den Gemeindewäldern des Val-de-Travers durchführen zu können, und insbesondere für die wohlwollende Gewährleistung von Unterstützung bei den Feldaufnahmen und für die Abgabe von Daten aus der Kontrollmethode.

Den Förstern P. Gertsch (St-Sulpice), J.-P. Giroud (Buttes) und F. Benoit (Môtiers), für ihre Mitarbeit bei der Erhebung des Pflegeeingriffs im ersten Aufnahmejahr, ihre Unterstützung im zweiten Aufnahmejahr und ihre Teilnahme am Pflegevergleich.

Den Forstwarten Chedel, Grandjean, Hirschy, Jaquet und Rota für ihre Mitarbeit bei der Erhebung des Pflegeeingriffs im zweiten Aufnahmejahr und ihre Teilnahme am Pflegevergleich.

Den Förstern Mercier, Nicolet und Piazza und dem frischgebackenen Forstwart Chedel Junior für ihre Teilnahme am Pflegevergleich.

Frau M. Dousse für die französische und Herrn Dr. P. Cherubini für die italienische Übersetzung der Zusammenfassung sowie den Herren Dr. P. Brang und Dr. N. Zimmermann für die Kontrolle der englischen Übersetzung.

P. Berliat, Frau A. Duc-Lütolf, D. Fernholz, C. Gassmann, Frau T. Hochstrasser, Y. Kazemi, D. Köchli, F. Mairy, P. Stoebener und J.-J. Thormann für ihren Einsatz bei den Feldaufnahmen.

Allen Mitarbeitern der Professur für Waldbau, insbesondere meinen langjährigen Weggefährten Dr. D. Graber, Dr. P. Brang, H.-U. Bucher, Dr. P. Schneider und Dr. K. Sageb-Talebi (Iran) für ihre Unterstützung und viele wertvolle Diskussionsbeiträge.

Und zuletzt geht mein herzlichster Dank an meine Frau Astrid für ihre Unterstützung und ihr grosses Verständnis für meine vielen Abwesenheiten, und an meine beiden Söhne Lucien und Joël dafür, dass sie mir meine samstäglich Abwesenheiten nicht nachtragen werden.

Widmung

Waldbau ist keine strenge Wissenschaft, sondern die Anwendung bestehender Kenntnisse und Erfahrungen über den Standort, den Bestand und seine Behandlung. Weil der Wald ein komplexes Ökosystem ist und weil waldbauliche Eingriffe häufig erst nach Jahren oder Jahrzehnten Auswirkungen auf den Zustand und die Entwicklung haben, gründete sich der klassische Waldbau noch bis weit in dieses Jahrhundert hinein vorwiegend auf Erfahrungen und weniger auf naturwissenschaftlich erhärteten Grundlagen. So konnte Walter Schädelin, einer der Altmeister des schweizerischen Waldbaus, noch vor 65 Jahren in seinem Vorwort zur ersten Auflage der "Auslesedurchforstung" schreiben: "Diese Schrift behauptet viel und beweist nichts, nach altem und, wie ebenfalls behauptet wird, noch heute nicht selten geübtem Brauch der Forstwissenschaft. Sie ist deshalb nicht wissenschaftlich. ... Den Beweis dafür zu leisten, muss der Autor, wegen der Kompliziertheit des lebendigen und dazu ausserordentlich langlebigen Objektes Wald, gerne der Zukunft überlassen und der Zusammenarbeit kommender Generationen von Forstleuten...". Diese Aussage galt zu jener Zeit insbesondere auch für stufige Bestände, welche ertragskundlich und waldbaulich wegen ihrer Vielgestaltigkeit schwer zu fassen waren. Seit den zwanziger Jahren haben aber mehr und mehr Forscher diese Herausforderung angenommen und die naturwissenschaftlichen und waldbaukundlichen Grundlagen von stufigen Wäldern im allgemeinen und von Plenterwäldern im speziellen untersucht. Dazu zählen unter anderem Balsiger (1914), Flury (1929, 1933), Burger (1942), Prodan (1944), Leibundgut (1945), Badoux (1949), Simak (1951), Mitscherlich (1952, 1961), Köstler (1956), Magin (1959), Sommer (1962, 1963, 1964), Kern (1966), Schütz (1969, 1975), Indermühle (1978), Pretzsch (1985) und Spiecker (1986). Erst diese Grundlagen erlauben uns, fundierte Entscheide über die heutige und zukünftige Waldbehandlung zu treffen und die nachhaltige Nutzung der Ressource Wald sicherzustellen. Diese Arbeit ist deshalb all jenen Forschern gewidmet, welche sich durch wissenschaftliche Untersuchungen für die Verbesserung der notwendigen Grundlagen eingesetzt haben.

Vorwort an den eiligen Leser

Die vorliegende Arbeit versucht, die Fragen zum Zustand, zur Entwicklung und zur Pflege des Nachwuchses im Plenterwald sehr eingehend und mit verschiedenen Ansätzen zu beantworten. Deshalb ist sie wesentlich umfangreicher ausgefallen als geplant. Insbesondere der Ergebnisteil mit rund 140 Seiten Umfang wirkt auf den eiligen Leser nicht gerade einladend. Wer nur an den praktisch umsetzbaren Resultaten dieser Arbeit interessiert ist, kann sich auf die Lektüre der Zusammenfassung und der waldbaulichen Schlussfolgerungen im Kap. 12 beschränken. Wer sich etwas eingehender mit dem Hintergrund der Arbeit und den Ergebnissen der Untersuchungen beschäftigen möchte, soll zusätzlich die Kap. 1, 2, 3, 10 und 11 lesen. Die drei ersten Kapitel geben Auskunft über die Problemstellung, die daraus abgeleiteten Fragestellungen, die dazu verwendeten Methoden und das Untersuchungsgebiet. Die Kapitel 4 bis 9 sind Ergebniskapitel. Im Kapitel 10 werden alle Ergebniskapitel zusammengefasst, mit der bestehenden Literatur verglichen und bewertet. Die eigentliche Diskussion der waldbaulichen Fragestellungen folgt in Kap. 11, und die daraus abgeleiteten Folgerungen für die Nachwuchspflege im Plenterwald sind in Kap. 12 abgehandelt.

Zusammenfassung

Die Nachwuchspflege im Plenterwald ist im Gegensatz zur Jungwaldpflege im gleichförmigen Hochwald kaum untersucht. Quantitative Angaben zur Nachwuchspflege werden als Grundlage für die waldbauliche Planung in stufigen Wäldern und für Waldentwicklungsmodelle benötigt. Zudem können davon Impulse zur Rationalisierung der Jungwaldpflege gleichförmiger Wälder ausgehen. Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, den Zustand, die Entwicklung und die heutige Pflege des Nachwuchses im Plenterwald zu analysieren und aus den Ergebnissen ein rationelles Konzept für die Nachwuchspflege im Plenterwald der montanen Stufe abzuleiten.

Im Val-de-Travers (Kanton Neuenburg, Schweizer Jura) wurden in der unteren montanen Stufe 18 zu pflegende Flächen von 0,4 bis 1,0 ha untersucht, nämlich 14 in Nord- und 4 in Südexposition. Der Bestandesaufbau wurde durch Vollkluppierung aller Bäume ab 7,5 cm BHD und durch stichprobenweise Erhebung der Nachwuchsbäume ab 50 cm Höhe bis 7,4 cm BHD erfasst.

Die Nachwuchspflege wurde durch die Zahl und die Baumarten- und Durchmesserverteilung der Aushiebe und der Ausleseebäume, durch die Aushiebsgründe, die Eingriffsstärke und die räumliche Verteilung der Ausleseebäume charakterisiert. Sie wurde durch drei Förstergruppen ausgeführt.

An den Ausleseebäumen der Baumarten Tanne (n=271) und Fichte (n=122) im Bereich 2,5 bis 22,4 cm BHD wurden rund 30 waldbauliche und dendrometrische Merkmale erhoben, an jenen der Baumarten Buche (n=90) und Bergahorn (n=22) 10 Merkmale. Zudem wurden 190 Nadelbäume liegend vermessen. An 750 der 1130 Aushiebe wurden Stammscheiben auf Brusthöhe entnommen. Mit Hilfe logistischer Modelle wurde untersucht, ob die wichtigsten Standorts- und Bestandesfaktoren (Exposition, Bonität, Beschattung, Übershirmung, Konkurrenz) den Zustand oder die Entwicklung der Nadelbäume im Nachwuchs beeinflussen und ob zwischen Tannen und Fichten signifikante Unterschiede bestehen. Mit einer verbundenen Stichprobe (n= 79) konnten zudem Unterschiede zwischen den Ausleseebäumen und ihren entfernten Konkurrenten geprüft werden.

Die 18 Flächen weisen grosse Unterschiede im Bestandesaufbau auf. Die Stammzahlen (190 - 310 Stk. mit BHD > 17,4 cm), die Basalflächen (21 - 37 m²/ha) und die Vorräte (240 bis 430 m³/ha) lagen im normalen Streurahmen der regionalen Forsteinrichtungsergebnisse. Auf den meisten Flächen dominierte die Tanne (Vorratsanteil 36 - 74%) vor der Fichte (8 - 57 V%) und der Buche (3 - 34 V%). Mit Hilfe der Clusteranalyse wurden drei Strukturtypen identifiziert.

Die Dichteverteilung der Nachwuchsbäume auf Stichprobeflächen von 100 m² entsprach einer negativen Binomialverteilung. Die Zahl der Nachwuchsbäume zwischen 2,5 und 17,4 cm BHD variierte zwischen 300 und 1100 pro ha. Sie nahm von der BHD-Stufe 5 (2,5-7,4 cm BHD) bis zur BHD-Stufe 15 (12,5-17,4 cm BHD) stetig ab. Die Nachwuchsdichte konnte nicht mit der Plenterstruktur erklärt werden.

Die Nachwuchsbäume waren nicht regelmässig verteilt, sondern überwiegend geklumpt. Die Nachwuchsgruppen waren zwischen 30 und 350 m² gross und wiesen eine Dichte von 20 bis 90 Bäumen pro Are (100 m²) auf. Die Flächen wiesen im Mittel 5 Nachwuchsgruppen pro ha auf.

Die Ausleseebäume wurden in Abhängigkeit der Baumart und der Baumdimension ausgewählt; dabei gab es Unterschiede zwischen den Förstergruppen. Auf den 18 Flächen wurden zwischen 10 und 90 Ausleseebäume pro ha, überwiegend im Bereich von 10,0 bis 22,0 cm BHD, ausgewählt. Die Hälfte aller Ausleseebäume waren Tannen, ein Viertel Fichten und ein Viertel Laubbäume. Die Ausleseebäume wurden meist durch Entfernung eines einzigen Konkurrenten gefördert.

Die Wahl der Aushiebe war ebenfalls abhängig von den Baumarten und von den Förstergruppen; sie erfolgte vorwiegend im Bereich von 2,5 bis 17,4 cm BHD. Die Zahl der Aushiebe lag auf den 18 Flächen zwischen 40 und 240 Stk. pro ha und war stark mit der Ausgangsstammzahl korreliert. Entsprechend nahm die mittlere Zahl der Aushiebe mit zunehmendem BHD ab, und die häufigen Baumarten Buche und Tanne waren im Aushieb wesentlich zahlreicher vertreten als die Fichte. Wichtigste Aushiebsgründe waren die Entfernung von Konkurrenten und negative Auslese.

Durch den Vergleich der Nachwuchspflege auf einer Testfläche wurden drei Förstergruppen mit unterschiedlichem Anzeichnungsverhalten identifiziert; mit Hilfe von Aushiebsmerkmalen konnte eine moderne, eine klassische und eine konservative Nachwuchspflege charakterisiert werden.

Mehr als die Hälfte der Ausleseebäume von Tanne und Fichte waren nicht überschirmt, wuchsen in Nachwuchsgruppen mit mindestens 4 Nachbarn auf, wiesen einen bis zwei direkte Konkurrenten auf und wurden durch den Hauptbestand nur mässig beschattet. Überschirmte oder einzeln wachsende Nachwuchsindividuen wurden dagegen selten als Ausleseebäume gewählt. Die Ausleseebäume waren deutlich feinastiger und wurzelten symmetrischer als ihre ausscheidenden Nachbarn. Zudem wiesen sie grössere Baumhöhen, grössere Kronenansatzhöhen und dadurch etwas kleinere relative Kronenlängen auf. Obwohl etwas stärker beschattet und konkurrenziert, wiesen sie in den letzten 20 Jahren einen grösseren Höhenzuwachs auf als ihre Konkurrenten.

Der Schlankheitsgrad (h/d-Wert) der ausgewählten Nadelbäume schwankte zwischen 60 und 120 und hing v.a. von der seitlichen Konkurrenz ab, oberhalb von 10 cm BHD auch vom Standort. Starke Beschattung und grosse seitliche Konkurrenz führten zur Bildung kleinerer Kronenlängen. Tannen und Fichten wiesen bei gleichem BHD ähnliche Baumhöhen und Lichtkronenlängen auf. Die grössere relative Kronenlänge der Fichte war auf eine längere Schattenkrone zurückzuführen. Die astfreie Schaftlänge hing von der Baumdimension, von der Baumart und von der seitlichen Konkurrenz ab. Ab 15 cm BHD wiesen die Tannen eine astfreie Schaftlänge von 2 bis 3 m, die Fichten eine solche von 1 bis 2 m auf. Innerhalb derselben BHD-Stufe waren Fichten nicht feinastiger als Tannen. Die Ausleseebäume von Tanne und Fichte wiesen zwar nur wenig Krankheiten oder Verletzungen auf, erfüllten aber nur zur Hälfte alle waldbaulichen Anforderungen.

Das Alter der Aushiebe streute stark und war mit dem BHD nicht signifikant korreliert. Die Tannenstangen (ab 12,5 cm BHD) wiesen mit 60 bis 140 Jahren das höchste Alter auf. Buchen- und Fichtenstangen wiesen mit 50 bis 100 Jahren keinen Altersunterschied auf, und die übrigen Laubbäume (v.a. Ahorn und Esche) wiesen mit 40 bis 80 Jahren das geringste Alter auf. Die Durchmesserentwicklung der Nachwuchsbäume verlief sehr langsam: 90% der Nadel- und 50% der Laubbäume wiesen einen Engkern mit mittleren Jahrringbreiten von weniger als 1 mm auf. Der Unterdrückungszeitraum schwankte dabei zwischen 10 und 100 Jahren.

Der Durchmesserzuwachs der Ausleseebäume lag in den letzten Jahren zwischen 2 und 8 mm/J. Geringe Beschattung, fehlende Überschirmung und fehlende seitliche Konkurrenz wirkten sich positiv auf den BHD-Zuwachs aus, mittlere bis grosse seitliche Konkurrenz negativ. BHD und relative Kronenlänge erklärten zusammen mit den Merkmalen Beschattung, Überschirmung und Konkurrenz je nach Standort zwischen 26 und 70% der Gesamtvarianz des BHD-Zuwachses. Der Höhenzuwachs der Ausleseebäume schwankte zwischen 5 und 70 cm pro Jahr und war vom BHD und von der Beschattung abhängig, nicht aber von der seitlichen Konkurrenz. BHD und relative Kronenlänge erklärten zusammen mit der Beschattung, der Konkurrenz und/oder der Überschirmung, je nach Standort zwischen 41 und 70% der Gesamtvarianz des Höhenzuwachses.

Das Konzept für die Nachwuchspflege in Plenterwäldern auf Kalkstandorten der montanen Stufe: Innerhalb der visuell erfassbaren Pflegezellen werden alle Nachwuchsgruppen identifiziert. In gemischten Nachwuchsgruppen mit Oberhöhe von weniger als 5 m beschränkt sich die Pflege auf eine allfällige Mischungsregulierung. Die optimale Baumartenmischung wird in Abhängigkeit des Standortes und der Verträglichkeit der beteiligten Baumarten festgelegt. Momentan seltenere, erwünschte Baumarten werden dabei gefördert. Laub- und Nadelbäume sollen wegen ihrer unterschiedlichen Kronengrösse und Entwicklung gruppenweise entmischert werden. Fichten und Tannen dagegen können einzeln bis truppweise gemischt aufwachsen. Vorwüchsige Individuen schlechter Qualität, welche die Entwicklung der Nachwuchsgruppe behindern, sollen entfernt werden. In den aufsteigenden Nachwuchsgruppen mit einer Oberhöhe zwischen 5 und 10 m werden Ausleseebäume im Abstand von 6 bis 8 m ausgewählt und deren schärfster Konkurrent entfernt. Ab 10 m Höhe bzw. 12 cm BHD erfolgt die Auswahl der Ausleseebäume im Abstand von 10 bis 15 m. Die Ausleseebäume müssen bezüglich der Vitalitäts-, Stabilitäts- und Qualitätsmerkmale die selben Anforderungen erfüllen wie in gleichförmigen Hochwäldern und sollten nicht überschirmt sein. Je nach Zielsetzung und Astigkeit müssen die Nadelbäume allenfalls künstlich geastet werden. In Nachwuchsgruppen mit geringem Höhenzuwachs wird keine positive Auslese durchgeführt.

Summary

Tending of recruitment is well studied in homogeneous forests, but hardly examined in selection forests. Data on tending are needed as a basis for silvicultural planning in multi-layered forests and for models of forest dynamics. Apart from this, a better understanding of tending in selection forests could provide input to the rationalization of tending in homogeneous forests. The goal of this study was to assess the status, development and current practice of tending of the recruitment in selection forests, and to derive a concept for an effective tending of recruitment in selection forests of the montane altitudinal zone.

In the lower montane zone of Val-de-Travers (canton of Neuchatel, Swiss Jura), 18 plots with an area between 0.4 and 1.0 hectares were studied, namely 14 on north and 4 on south exposure. The stand structure was assessed by full calliperling of all trees above 7.5 cm DBH, and by sampling recruitment greater than 50 cm up to 7.4 cm DBH. The tending practice was characterized by the number, the tree species and the diameter distribution of the cuttings and of the elite trees. I additionally recorded the reasons for cutting, the tending impact and the spatial distribution of the elite trees. Three groups of foresters carried out the interventions.

The elite trees of silver fir ($n=271$) and Norway spruce ($n=122$) between 2.5 and 22.4 cm DBH were characterized by approximately 30 silvicultural and dendrometrical measurements, those of European beech ($n=90$) and sycamore maple ($n=22$) by 10 measurements. Stem disks were taken at breast height from 750 of the 1130 cuttings. Besides 190 felled coniferous trees were measured. Logistic regression models were used to examine whether the most important site and stand factors (i.e. exposure, soil fertility, shading, sheltering, competition) influence status or development of the coniferous trees in the recruitment. Different models (GLM, analysis of covariance, logistic regression) were used to test the difference between fir and spruce. Moreover, the differences between elite trees and their cut competitors were analysed with a matched sample ($n=79$).

The 18 plots differed greatly with respect to the stand structure. The stem numbers (190 - 310/ha with $DBH > 17.4$ cm), the basal area (21 - 37 m^2/ha) and the growing stock (240 - 430 m^3/ha) were within the range usually found in regional forest inventories. On most plots fir dominates (36 - 74% of growing stock) before spruce (8 - 57%) and beech (3 - 34%). Three structure types were identified using cluster analysis.

The density distribution of recruitment on sample plots of 100 m^2 corresponded to a negative binomial distribution. The number of young trees between 2.5 and 17.4 cm DBH varied between 300 and 1100/ha. It is highest in in DBH class 5 (2.5-7.4 cm DBH) and decreased constantly to DBH class 15 (12.5-17.4 cm DBH). The density of recruitment did not depend on stand structure. The recruitment was not regularly distributed, but predominantly clustered in groups of 30 to 350 m^2 , with a stand density between 20 and 90 trees/100 m^2 . The study areas contained five groups of recruitment per ha in the average.

The elite trees were selected depending on tree species and tree size. There were significant differences between the groups of foresters. Between 10 and 90 trees/ha were selected on the 18 plots, predominantly within the range of 10.0 to 22.0 cm DBH. Half of the elite trees were firs, a quarter spruce and a quarter deciduous trees. The selected elite trees were usually promoted by cutting a single competitor.

The selection of cuttings depended likewise on tree species and on groups of foresters; it predominantly carried out within the range of 2.5 to 17.4 cm DBH. The number of cuttings within the 18 plots was between 40 and 240 stems/ha and was strongly correlated with the initial stand density. Accordingly, the average number of cuttings decreased with increasing DBH. In comparison to spruce, beech and fir were overrepresented in the cuttings. The most important reasons for cutting a tree were the promotion of an elite tree and negative selection. A tending exercise on a test plot with 12 foresters enabled three groups with different tending behaviors to be identified; a modern, a classical and a conservative tending could be characterized with different indicators.

More than half of the elite trees of fir and spruce are not sheltered, grow up in groups of recruitment with at least 4 neighbours, have one or two direct competitors and are only moderately shaded from the main stand. Young trees under the shelter of bigger trees or trees growing individually were rarely selected as elite trees. The selected elite trees have thinner branches and more symmetrical roots than their felled neighbours. Moreover, they are taller and their crown base is higher, so that they have a smaller relative crown length than their competitors. Although the elite trees were slightly more shaded and experienced higher competition, they had grown faster in height in the last 20 years than their competitors.

The coefficient of slenderness (h/d value) of the investigated conifers varied between 60 and 120 and depended at first on lateral competition, and above 10 cm DBH also on site conditions. Strong shading and strong lateral competition were connected to shorter crowns. Fir and spruce of similar DBH showed similar tree height and light crown length. The larger relative crown length of spruce trees was due to a longer shaded crown. The length of the stem section free of branches depended on tree size, tree species and lateral competition. The length of the stem section free of branches was, in trees with more than 15 cm DBH, 2 - 3 m in fir, and 1-2 m in spruce. Within the same DBH class, the branches of spruce trees were not thinner than those of fir. Although the elite trees of fir and spruce had only few diseases or injuries, only have of them meet all desirable silvicultural requirements.

The age of the analyzed cuttings highly varied and was not significantly correlated with the DBH. Fir trees above 12.5 cm DBH had the highest age with 60 to 140 years, the remaining deciduous trees had the lowest age with 40 to 80 years. Beech and spruce trees were usually 50 to 100 years old. The diameter increment of the recruitment was very small: 90% of the coniferous and 50% of the deciduous trees had a narrow ring with average annual ring widths below 1 mm. The suppression period varied between 10 and 100 years.

The diameter increment of the elite trees ranged between 2 and 8 mm/year in the last few years. Low shading, missing shelter and missing lateral competition were positively correlated to the DBH increment, while moderate to strong lateral competition had a negative effect. DBH and relative crown length explain, together with shading, sheltering and competition, between 26 and 70% of the total variance of DBH increment. The height increment varied between 5 and 70 cm/year and depended likewise on DBH and shading, but not on lateral competition. DBH and relative crown length explained, together with shading, competition and/or sheltering, between 41 and 70% of the total variance of the height increment.

The following concept for tending in selection forests of the lower montane zone on limestone is as follows: Within visually detectable tending areas, all groups of recruitment are identified. In mixed recruitment groups with dominant height of less than 5 m the tending is limited to a potential mixture adjustment. The optimal tree species mixture is determined depending on site conditions and the mutual compatibility of the tree species involved. Rare and silviculturally desirable tree species are thereby promoted. Mixture of deciduous and coniferous trees are separated groupwise because of their different crown size and crown development. Spruce and fir, on the other hand, can grow up mixed individually or in small groups ($< 500 \text{ m}^2$). Predominant individuals of low quality, which impede the development of the recruitment groups, are removed. In recruitment groups with a dominant height between 5 and 10 m and with trees that show their potential to reach the canopy, elite trees are selected at a distance varying from 6 to 8 m, and the strongest competitor of each elite tree is removed. Above 10 m height or 12 cm DBH, the elite trees are selected at a distance of 10 to 15 m. The elite trees must meet the same requirements regarding vitality, stability and quality as do elite trees in homogeneous forests. Moreover, they should not be sheltered. Depending on management objective and branchiness, coniferous elite trees should be pruned. In groups of recruitment with small height increment, no positive selection is executed.

Résumé

Les soins culturaux apportés au recrutement dans la forêt jardinée n'ont pas fait l'objet de nombreuses études, contrairement à celles portant sur les soins aux jeunes peuplements dans la futaie régulière. Les soins au recrutement nécessitent donc d'être documentés par des données chiffrées qui serviront de base à la planification sylvicole dans les forêts étagées ainsi qu'aux modèles de développement de la forêt. Ces données pourront également suggérer de nouvelles idées utiles à la rationalisation des soins aux jeunes peuplements des forêts régulières. Ce travail a pour objectif d'analyser l'état et le développement du recrutement en forêt jardinée, de dresser le bilan des soins qui lui sont actuellement apportés et d'utiliser les résultats pour établir un concept rationnel des soins au recrutement en forêt jardinée à l'étage montagnard.

L'étude porte sur 18 placettes de 0,4 à 1,0 ha sélectionnées dans le Val de Travers (canton de Neuchâtel, Jura suisse). Situées à l'étage montagnard inférieur, 14 de ces placettes sont exposées au nord et 4 au sud. La structure du peuplement a été déterminée par un inventaire intégral des arbres d'un DHP supérieur à 7,5 cm et par un relevé par échantillonnage d'arbres d'une hauteur de 50 cm et plus et d'un DHP allant jusqu'à 7,4 cm. Les soins culturaux ont été caractérisés par les critères suivants: nombre d'arbres d'élite et d'arbres coupés, répartition du diamètre de ces arbres et des essences auxquelles ils appartiennent, cause de l'élimination, intensité de l'intervention et répartition spatiale des arbres d'élite. Ces soins ont été apportés par trois groupes de forestiers.

Chez les arbres d'élite, 30 critères d'ordre sylvicole et dendrométrique ont été relevés sur les sapins (n=271) et les épicéas (n=122) d'un DHP entre 2,5 et 22,4 cm; 10 de ces critères ont été relevés sur les hêtres (n=90) et les érables sycomores (n=22). En outre, un grand nombre de données ont été collectées sur 190 résineux couchés. Un disque de bois a été prélevé, à hauteur de poitrine, sur 750 des 1130 arbres coupés. Des modèles logistiques ont permis d'étudier si les principaux facteurs liés à la station et au peuplement (exposition, fertilité, ombrage, recouvrement, concurrence) avaient influencé l'état ou le développement des résineux dans le recrutement et s'il existait des différences significatives entre les sapins et les épicéas. A l'aide d'un échantillon apparié (n= 79), nous avons examiné les différences entre les arbres d'élite et leurs concurrents destinés à l'élimination.

Les 18 placettes présentent de grandes différences dans la structure du peuplement. Le nombre d'arbres (190 à 310 individus d'un DHP > 17,4 cm), la surface terrière (21 à 37 m²/ha) et le matériel sur pied (240 à 430 m³/ha) se situaient dans la marge de dispersion normale des résultats régionaux de l'aménagement forestier. Les essences dominantes ont été le sapin (taux de présence 36 à 74%), l'épicéa (8 à 57 %) et le hêtre (3 à 34 %) sur la plupart des placettes. Trois types de structure ont été caractérisés sur la base d'une analyse de classification.

La répartition de la densité du recrutement, observée sur des placettes d'échantillonnage de 100 m², correspondait à une répartition binomiale négative. Le nombre d'arbres d'un DHP entre 2,5 et 17,4 cm a varié entre 300 et 1100 pieds par ha. Puis il a constamment diminué à partir de la classe de DHP 5 (2,5 à 7,4 cm de DHP) jusqu'à la classe 15 (12,5 à 17,4 cm de DHP). Aucune relation n'a pu être établie entre la densité du peuplement et la structure de la forêt jardinée. Les arbres du recrutement n'étaient pas régulièrement répartis mais ils formaient généralement des groupes serrés. Ces derniers occupaient une surface de 30 à 350 m² et comptaient entre 20 et 90 arbres par are (100 m²). Les surfaces présentaient en moyenne 5 groupes d'arbres par ha.

Les arbres d'élite ont été choisis en fonction de l'essence et de la dimension de l'arbre; soulignons ici que le choix a été différent d'un groupe à l'autre. Les 18 placettes comptaient entre 10 à 90 arbres d'élite par ha; la plupart de ces arbres présentaient un DHP entre 10,0 et 22,0 cm. La sélection a porté sur 50% de sapins, 25% épicéas et 25% de feuillus. En général, les forestiers ont éliminé un seul concurrent pour élargir l'espace nécessaire aux arbres d'élite.

Le choix des arbres destinés à la coupe sur ces 18 placettes s'est également effectué en fonction de l'essence; il a aussi dépendu de l'appréciation du groupe de forestiers; il s'agissait principalement

d'arbres d'un DHP de 2,5 à 17,4 cm. On en a compté entre 40 et 240 par ha; le choix des arbres à éliminer était en étroite corrélation avec le nombre initial de tiges. En conséquence, le nombre moyen d'arbres coupés a diminué avec l'augmentation du DHP; il était beaucoup plus élevé chez le hêtre et le sapin que chez l'épicéa. La nécessité d'éliminer un concurrent ainsi que la sélection négative ont été les principaux facteurs qui ont dicté ce choix.

Une comparaison des soins culturaux apportés au recrutement sur une surface-test a permis de caractériser trois groupes de forestiers dans leur approche lors du martelage; d'après les critères utilisés pour juger des paramètres portant sur la coupe, la pratique des soins culturaux a reflété trois méthodes: une méthode moderne, une méthode classique et une méthode conservatrice.

Plus de la moitié des sapins et des épicéas choisis comme arbres d'élite n'étaient pas sous couvert; ils grandissaient dans des groupes d'arbres comptant 4 voisins au moins; ils avaient un ou deux concurrents directs et étaient modérément ombragés par le peuplement principal. Par contre, les arbres sous couvert ou ceux du recrutement qui croissaient isolément n'ont été que rarement sélectionnés. Les arbres d'élite choisis présentaient des branches plus fines et des racines plus symétriques que celles de leurs voisins destinés à la coupe. Ils étaient aussi plus grands, la base du houppier était plus élevée et ce dernier était donc un peu moins allongé. Bien que ces arbres aient été un peu plus ombragés et davantage exposés à la concurrence, leur accroissement en hauteur a été meilleur, ces 20 dernières années, que celui de leurs concurrents.

Le coefficient d'élancement (valeur h/d) des résineux choisis a varié entre 60 et 120; il a dépendu entre autres de la concurrence latérale ainsi que de la station pour les arbres d'un DHP supérieur à 10 cm. Un large ombrage et une forte concurrence latérale ont exercé une influence négative sur la longueur du houppier. Les sapins et les épicéas de même DHP présentaient des hauteurs semblables; il en fut de même pour la longueur des houppiers de lumière. Si le houppier était un peu plus long chez les épicéas, cela est dû au fait que le houppier d'ombre est aussi plus long.

La longueur de la tige dépourvue de branches a dépendu de la taille de l'arbre, de l'essence et de la concurrence latérale. Elle était de 2 à 3 m chez les sapins et de 1 à 2 m chez les épicéas lorsque ces arbres atteignaient 15 cm de DHP. A ce même stade de développement, les branches des épicéas n'étaient pas plus fines que celles des sapins. Parmi les arbres d'élite, le sapin et l'épicéa n'ont présenté que peu de maladies ou de blessures certes, mais ils ne répondaient qu'à la moitié des exigences sylvicoles.

L'âge des arbres coupés était très variable; aucune corrélation significative n'a pu être établie entre ce facteur et le DHP. Au stade des perchis (à partir de 12,5 cm de DHP), les sapins représentaient l'essence la plus âgée (entre 60 et 140 ans); les hêtres et les épicéas avaient généralement entre 50 et 100 ans; les autres feuillus (érables et frênes entre autres) étaient les plus jeunes (entre 40 et 80 ans). L'accroissement en diamètre des arbres du recrutement a suivi une évolution très lente: 90% des résineux et 50% des feuillus présentaient un cœur serré avec une largeur moyenne de cernes inférieure à 1 mm. Cette période de compression oscillait entre 10 et 100 ans.

L'accroissement en diamètre des arbres d'élite a été de 2 à 8 mm/an ces dernières années. Un faible ombrage, l'absence de recouvrement et de concurrence latérale ont eu un effet positif sur l'accroissement en DHP tandis qu'une concurrence latérale moyenne à forte a été négative. Le DHP et la longueur relative des houppiers, ainsi que l'ombrage, le recouvrement et la concurrence, ont expliqué entre 26 et 70% de la variance globale de l'accroissement en DHP. Ces taux sont différents d'une station à l'autre.

L'accroissement en hauteur des arbres d'élite a varié entre 5 et 70 cm par année. Il a dépendu également du DHP et de l'ombrage mais il n'était pas lié à la concurrence latérale. Le DHP et la longueur relative des houppiers, ainsi que l'ombrage, le recouvrement et/ou la concurrence, ont expliqué entre 41 et 70% de la variance globale de l'accroissement en DHP. Ces taux sont différents d'une station à l'autre.

Concept de soins culturaux dans les forêts jardinées, sur des stations au sol calcaire, à l'étage montagnard inférieur: les groupes d'arbres du recrutement sont à recenser sur un périmètre équivalant au champ de vision de l'observateur. Dans les groupes d'arbres d'une hauteur dominante inférieure à 5 m, les soins se limiteront à une éventuelle régulation du mélange. Le mélange optimal dépendra de la station et de la compatibilité des essences en question. C'est à ce stade qu'il conviendra de favoriser les essences, momentanément rares, que l'on désire incorporer au mélange. Les résineux et les feuillus formeront des groupes séparés car leur développement et la taille de leur houppier sont différents. Les épicéas et les sapins par contre pourront croître en étant mélangés individuellement ou par touffe. Les individus prédominants de mauvaise qualité qui empêchent le développement d'un groupe d'arbres seront éliminés. Dans les groupes prometteurs d'une hauteur dominante entre 5 et 10 m, le choix des arbres d'élite se portera sur des individus séparés par une distance allant de 6 à 8 m et leurs concurrents les plus redoutables seront éliminés. A partir d'une hauteur 10 m et d'un DHP de 12 cm, cette distance sera de 10 à 15 m. Les arbres d'élite devront remplir les mêmes exigences, en termes de vitalité, de stabilité et de qualité, que ceux des futaies régulières et ils ne devront plus être sous couvert. Selon les buts à atteindre et la nodosité des arbres d'élite, l'élagage artificiel de certains résineux sera éventuellement nécessaire. On s'abstiendra d'effectuer des sélections positives dans les groupes d'arbres présentant un faible accroissement en hauteur.

Traduction: Monique Dousse

Riassunto

Le cure colturali alla rinnovazione nel bosco disetaneo non sono state studiate quasi per niente, a differenza di quelle al bosco giovane nella fustaia regolare coetanea. Dati quantitativi sulla cura della rinnovazione vengono richiesti quale base per la pianificazione selvicolturale in boschi irregolari e per modelli sullo sviluppo del bosco. Oltre a ciò da questi possono venire nuovi impulsi per una razionalizzazione delle cure dei giovani boschi regolari. Lo scopo di questo lavoro è quello di analizzare lo stato, lo sviluppo e l'attuale cura della rinnovazione nel bosco disetaneo, e formulare, grazie ai risultati, un programma razionale per la cura della rinnovazione nel bosco disetaneo del piano montano.

In Val-de-Travers (Cantone Neuenburg, Giura svizzero), nel piano montano inferiore, sono state studiate 18 aree di 0,4-1,0 ettari (14 esposte a nord, 4 a sud) dove si doveva applicare cure colturali. La struttura del popolamento è stata rilevata mediante cavallettamento totale di tutti gli alberi con diametro a petto d'uomo superiore a 7,5 cm e attraverso il rilievo su base campionaria degli alberi della rinnovazione di altezza superiore ai 50 cm e con diametro fino a 7,4 cm. La cura alla rinnovazione è stata caratterizzata attraverso il numero degli alberi da favorire (alberi d'élite) e di quelli da tagliare, la loro composizione specifica e distribuzione dei diametri, i motivi della scelta, l'intensità dell'intervento e la distribuzione spaziale degli alberi d'élite. Queste cure sono state effettuate da tre gruppi di forestali.

Sugli alberi d'élite di abete bianco (n=271) e di abete rosso (n=122), con diametro compreso fra 2,5 e 22,4 cm, sono state rilevate 30 caratteristiche selvicolturali e dendrometriche, su quelli di faggio (n=90) e di acero di monte (n=22) 10 caratteristiche. Inoltre, sono state misurate 190 conifere atterrate. Da 750 dei 1130 alberi eliminati sono state prelevate rotelle ad altezza 1,3 m (a petto d'uomo). Con l'aiuto di modelli logistici, si è indagato per accertare se i più importanti fattori stazionali e del popolamento (esposizione, fertilità, ombreggiamento, dominanza, concorrenza) avessero influito sullo stato o lo sviluppo delle conifere in rinnovazione e se fra abeti bianchi e abeti rossi siano esistite differenze significative. Con un campionamento appaiato (n=79) possono inoltre venire provate le differenze fra alberi d'élite ed i loro concorrenti eliminati.

Le 18 aree mostrano notevoli differenze nella struttura del popolamento. Il numero di alberi (190-310 individui con diametro superiore a 17,4 cm), l'area basimetrica (21-37 m²/ha) e la provvigione (240-430 m³/ha) si situano nella normale variabilità dei risultati di assestamento forestale per la regione. Sulla maggior parte delle aree domina l'abete bianco (dal 36 al 74% della provvigione),

prima che l'abete rosso (8-57 %) e il faggio (3-34 %). Con l'aiuto dell'analisi *cluster* sono stati identificati tre tipi strutturali.

La distribuzione della densità della rinnovazione sulle aree campionate di 100 m² corrispondeva ad una distribuzione binomiale negativa. Il numero, ad ettaro, di alberi di diametro fra 2,5 e 17,4 cm è variato tra i 300 e i 1100. Poi è costantemente diminuito a partire dalla classe di diametro 5 (da 2,5 a 7,4 cm) fino alla classe 15 (da 12,5 a 17,4 cm). Non si è potuto stabilire nessuna relazione fra la densità del popolamento e la struttura della foresta disetanea. Gli alberi della rinnovazione non erano regolarmente ripartiti ma formavano generalmente dei gruppi serrati. Questi ultimi occupavano una superficie da 30 a 350 m² e contavano fra 20 e 90 alberi ad ara (100 m²). Le superfici presentavano in media 5 gruppi d'alberi ad ettaro.

Gli alberi d'élite sono stati scelti in funzione della specie e della dimensione dell'albero; vorremmo qui sottolineare che la scelta è stata differente da un gruppo di forestali all'altro. Le 18 aree contavano da 10 a 90 alberi d'élite ad ettaro; la maggior parte di questi alberi presentavano un diametro fra 10 e 22 cm. Sono stati scelti per il 50% abeti bianchi, per il 25% abeti rossi e per il 25% latifoglie. In generale i forestali hanno eliminato un solo concorrente per dare lo spazio necessario agli alberi d'élite.

La scelta degli alberi destinati al taglio su queste 18 aree è stato ugualmente effettuato in funzione della specie; è anche dipeso dalla valutazione del gruppo di forestali; si trattava principalmente di alberi di un diametro compreso fra 2,5 e 17,4 cm. Ne sono stati contati fra 40 e 240 ad ettaro; la scelta degli alberi da eliminare è stata strettamente correlata con il numero iniziale di alberi. Di conseguenza, il numero medio di alberi tagliati è diminuito con l'aumentare del diametro; esso è stato molto più elevato per il faggio e l'abete bianco che per l'abete rosso. La necessità di eliminare un concorrente, così come la selezione negativa, sono stati i principali fattori che hanno dettato questa scelta.

Un confronto delle cure colturali a favore della rinnovazione su una superficie sperimentale ha permesso di caratterizzare tre gruppi di forestali, per quanto concerne il loro approccio durante la martellata; secondo i parametri giudicati da considerare per il taglio, la pratica delle cure colturali ha riflesso tre metodi: un metodo moderno, un metodo classico ed un metodo conservatore.

Più della metà degli abeti bianchi e degli abeti rossi scelti come alberi d'élite non erano cresciuti sotto copertura; essi crescevano in gruppi di alberi di almeno 4 vicini; essi avevano uno o due concorrenti diretti ed erano moderatamente ombreggiati dal popolamento principale. Al contrario, gli alberi sotto copertura o quelli della rinnovazione che crescevano isolatamente non sono stati selezionati che raramente. Gli alberi d'élite presentavano dei rami più fini e delle radici più simmetriche di quelli dei loro vicini destinati al taglio. Essi erano anche più grandi, la base della chioma era più elevata e la lunghezza relativa della chioma era dunque un po' più corta. Nonostante questi alberi fossero stati più ombreggiati ed esposti a concorrenza, il loro accrescimento in altezza è stato migliore, questi ultimi 20 anni, di quello dei loro concorrenti.

Il coefficiente di snellezza (rapporto h/d) delle conifere scelte è variato fra 60 e 120; è dipeso fra l'altro dalla concorrenza laterale, così come dalla stazione per gli alberi di un diametro superiore a 10 cm. Un grande ombreggiamento ed una forte concorrenza laterale hanno esercitato un'influenza negativa sulla lunghezza della chioma. Gli abeti bianchi e gli abeti rossi dello stesso diametro presentavano delle altezze simili; lo stesso dicasi per la lunghezza delle chiome di luce. Se la lunghezza relativa della chioma era un po' più elevata negli abeti rossi, questo era dovuto al fatto che la chioma di ombra è pure più lunga.

La lunghezza del getto sprovvisto di rami è dipesa dalla dimensione dell'albero, dalla specie e dalla concorrenza laterale. Essa era di 2-3 m nell'abete bianco e di 1-2 m negli abeti rossi quando questi alberi raggiungevano 15 cm di diametro. Considerando alberi delle stesse dimensioni, i rami degli abeti rossi non erano più fini di quelli degli abeti bianchi. Fra gli alberi d'élite, l'abete bianco e

l'abete rosso non hanno presentato che poche malattie o chiare ferite, ma, ciononostante, essi non rispondevano che alla metà delle caratteristiche selvicolturali richieste.

L'età degli alberi tagliati era molto variabile; non è stato possibile stabilire alcuna correlazione significativa fra questo fattore ed il diametro. Allo stadio di perticaia (a partire da 12,5 cm di diametro), gli abeti bianchi rappresentavano la specie più vecchia (fra i 60 ed i 140 anni); i faggi e gli abeti rossi avevano generalmente fra 50 e 100 anni; le altre latifoglie (aceri e frassini fra gli altri) erano più giovani (fra 40 e 80 anni). L'accrescimento in diametro degli alberi della rinnovazione ha seguito un'evoluzione molto lenta: il 90% delle conifere ed il 50% delle latifoglie presentavano un cuore serrato con una larghezza media degli anelli di accrescimento inferiore ad 1 mm. Questo periodo di compressione oscillava fra 10 e 100 anni.

L'accrescimento in diametro degli alberi d'élite è stato da 2 a 8 mm/anno, in questi ultimi anni. Un debole ombreggiamento, l'assenza di copertura e di concorrenza laterale hanno avuto un effetto positivo sull'accrescimento in diametro, mentre una concorrenza laterale da media a forte è risultata negativa. Il diametro e la lunghezza relativa delle chiome, così come l'ombreggiamento, la copertura e la concorrenza hanno spiegato, secondo la stazione, fra il 26 ed il 70% della varianza globale dell'accrescimento in diametro.

L'accrescimento in altezza degli alberi d'élite è variato fra 5 e 70 cm ad anno. Esso era, ugualmente, influenzato dal diametro e dall'ombreggiamento, ma non era legato alla concorrenza laterale. Il diametro e la lunghezza relativa delle chiome, come anche l'ombreggiamento, la copertura e/o la concorrenza hanno spiegato, secondo la stazione, fra il 41 e il 70% della varianza globale dell'accrescimento in diametro.

Programmazione di cure colturali nelle foreste disetanee, in stazioni su suolo calcareo, nel piano montano inferiore: i gruppi di alberi della rinnovazione vanno identificati su un perimetro equivalente al campo visivo dell'osservatore. Nei gruppi di alberi di un'altezza dominante inferiore a 5 m, le cure si limiteranno ad una eventuale regolazione del grado di mescolanza. Il grado di mescolanza ottimale dipenderà dalla stazione e dalla compatibilità delle specie in questione. È a questo stadio che converrà favorire le specie, al momento rare, che si desidera avere. Le conifere e le latifoglie formeranno dei gruppi separati poiché il loro sviluppo e la dimensione delle loro chiome sono differenti. Gli abeti rossi e gli abeti bianchi invece potranno crescere mischiati individualmente o a "truppe" (1-5 are). Gli individui predominanti di cattiva qualità che impediscono lo sviluppo di un gruppo di alberi saranno eliminati. Nei gruppi promettenti di un'altezza dominante compresa fra i 5 ed i 10 m, la scelta degli alberi d'élite cadrà su individui separati da una distanza compresa fra i 6 e gli 8 m. I loro concorrenti più forti saranno eliminati. A partire da un'altezza di 10 m e da un diametro di 12 cm, questa distanza sarà di 10-15 m. Gli alberi d'élite dovranno soddisfare le stesse esigenze, in termini di vitalità, di stabilità e di qualità, delle fustaie coetanee e non dovranno più essere sotto copertura. Secondo gli scopi da raggiungere, e la nodosità degli alberi d'élite, la potatura dei rami di alcune conifere sarà eventualmente necessaria. Ci si asterrà dall'effettuare della selezione positiva nei gruppi di alberi che presentano un debole accrescimento in altezza.

Traduzione: Dr. Paolo Cherubini

Abkürzungsverzeichnis

Häufig gebrauchte Fachtermini wurden aus Platzgründen vielfach abgekürzt.
Die verwendeten Abkürzungen haben folgende Bedeutung:

| | |
|-------|--|
| Abb. | Abbildung |
| AH | Aushieb |
| AKBN | Anzahl Konkurrenten und Begleiter nach dem Pflegeeingriff |
| AKBV | Anzahl Konkurrenten und Begleiter vor dem Pflegeeingriff |
| AKOPN | Anzahl potentielle Konkurrenten nach dem Pflegeeingriff |
| AKOPV | Anzahl potentielle Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff |
| AKORN | Anzahl reale Konkurrenten nach dem Pflegeeingriff |
| AKORV | Anzahl reale Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff |
| AI | Ausleseintensität |
| AL | anderes Laubholz, übrige Laubbäume |
| ALB | Auslesebaum |
| BA | Baumart |
| BHD | Brusthöhendurchmesser |
| BU | Buche |
| DM | Durchmesser |
| DSTU | BHD-Stufe |
| EK | Engkern |
| ET | Entwicklungstendenz |
| EXP | Exposition |
| E&K | Ellenberg und Klötzli (1972) |
| F | Prüfwert der Teststatistik (F-Test) |
| FG | Freiheitsgrad |
| FGR | Förstergruppe (FGR1, FGR2, FGR3) |
| FI | Fichte |
| FNR | Flächennummer (fortlaufende Nummern 1 bis 18) |
| FZE | Flächenzeichen (fortlaufende Buchstaben A bis R) |
| GAST | Grünast |
| GB | gros bois (Starkholz, $\geq 52,5$ cm BHD) |
| GFL | Grundfläche (Basalfläche) |
| HK1/2 | erste bzw. zweite Hauptkomponente der Hauptkomponenten-Analyse |
| HMKB | Höhe der maximalen Kronenbreite |
| Kap. | Kapitel |
| KI | Konkurrenzindex nach Groualle und Minot (1989) |
| KON | Konkurrent (Aushiebsgrund) |
| KLA | Kronenlänge |
| KLAL | Kronenlänge Lichtkrone |
| KLAS | Kronenlänge Schattenkrone |
| KLUI | Klumpungsindex |
| KMFL | Kronenmantelfläche |
| KSFL | Kronenschirmfläche |
| KSYM | Kronensymmetrie |
| KZ | Konkurrenzzahl nach Schütz (1989) |
| Lbh | Laubholz (Summe aller Laubbäume) |
| LDR | Licht- und Dichteregulierung (Aushiebsgrund) |
| LKQ | Lichtkronenquotient |
| MAX | Maximum |
| MB | bois moyen (Mittelholz, 32,5-51,4 cm BHD) |
| MIN | Minimum |

| | |
|----------------|---|
| MIR | Mischungsregulierung (Aushiebsgrund) |
| MW | Mittelwert |
| MED | Median (50%-Perzentil) |
| N | Nord |
| n | Anzahl |
| Ndh | Nadelholz (Summe aller Nadelbäume) |
| NEG | negative Entnahme (Aushiebsgrund) |
| NVP | Normalverteilungsprüfung |
| NW | Nachwuchs |
| NWG | Nachwuchsgruppe |
| NWF | Nachwuchsförderung (Aushiebsgrund) |
| p/Prob. | probability (Wahrscheinlichkeit) |
| PB | petit bois (Schwachholz, 17,5-32,4 cm BHD) |
| P05 | 5%-Perzentil |
| P10 | 10%-Perzentil |
| P90 | 90%-Perzentil |
| P95 | 95%-Perzentil |
| Q1 | erstes Quartil (25%-Perzentil) |
| Q3 | drittes Quartil (75%-Perzentil) |
| r | Rangkorrelationskoeffizient rho nach Spearman |
| R ² | Bestimmtheitsmass |
| S | Süd |
| SPA | Stichprobenanzahl |
| STD | standard deviation (Standardabweichung) |
| Std.Err. | standard error (Standardfehler der Schätzung) |
| STZ/Stz. | Stammzahl |
| SUM | Summe, Total |
| T | Prüfwert der Teststatistik (T-Test) |
| TA | Tanne |
| Tab. | Tabelle |
| TG | tres gros bois (Superstarkholz, $\geq 72,5$ cm BHD) |
| TLQ | Trieblängequotient |
| TPZ | Testpersonenzeichen (Buchstaben A bis L) |
| UB | untersuchter BHD-Bereich (2,5-22,4 cm BHD) |
| UFL | Untersuchungsfläche |
| UGS | Untergesellschaft |
| VA | Vorratsanteil (%) |
| Vol. | Volumen, Holzvorrat |
| WGS | Waldgesellschaft |

- (*) Signifikanz auf dem Niveau von 10%
 * Signifikanz auf dem Niveau von 5%
 ** Signifikanz auf dem Niveau von 1%
 *** Signifikanz auf dem Niveau von 0,1%

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 EINLEITUNG..... | 1 |
| 1.1 PROBLEMSTELLUNG..... | 1 |
| 1.2 BEDEUTUNG IM HEUTIGEN FORSTWIRTSCHAFTLICHEN UMFELD DER SCHWEIZ..... | 2 |
| 1.3 KENTNISSTAND ÜBER ZUSTAND, ENTWICKLUNG UND PFLEGE DES NACHWUCHSES..... | 3 |
| 1.3.1 <i>Begriff der Nachwuchspflege.....</i> | 3 |
| 1.3.2 <i>Brauchbarkeit des Nachwuchses im Plenterwald.....</i> | 3 |
| 1.3.3 <i>Ausfallgründe und Ausfallraten im Nachwuchs.....</i> | 4 |
| 1.3.4 <i>Vitalität und Qualität der Nachwuchs bäume.....</i> | 5 |
| 1.3.5 <i>Wachstum und Zuwachs der Nachwuchs bäume.....</i> | 5 |
| 1.3.6 <i>Durchführung der Nachwuchspflege.....</i> | 6 |
| 1.3.7 <i>Nachhaltigkeit des Plenternachwuchses.....</i> | 6 |
| 1.4 ZIELSETZUNG, FRAGESTELLUNGEN UND ARBEITSHYPOTHESEN..... | 7 |
| 2 UNTERSUCHUNGSGEBIET..... | 8 |
| 2.1 AUSWAHL UND LAGE..... | 8 |
| 2.2 KLIMA..... | 9 |
| 2.3 GEOLOGIE..... | 10 |
| 2.4 BODEN..... | 10 |
| 2.5 VEGETATION..... | 11 |
| 2.6 STANDORTSPOTENTIAL..... | 12 |
| 2.7 WALDGESCHICHTE..... | 13 |
| 2.8 WALDZUSTAND..... | 15 |
| 2.9 ZIELE UND GRUNDSÄTZE DER WALDBEWIRTSCHAFTUNG..... | 16 |
| 3 METHODIK, AUFNAHME- UND AUSWERTEVERFAHREN..... | 18 |
| 3.1 ERLÄUTERUNG EINIGER BEGRIFFE..... | 18 |
| 3.2 WAHL DER UNTERSUCHUNGSFLÄCHEN UND DER MESSBÄUME..... | 20 |
| 3.3 AUFNAHMEVERFAHREN..... | 22 |
| 3.4 AUFNAHMEMERKMALE..... | 23 |
| 3.5 ABGELEITETE MERKMALE..... | 27 |
| 3.5.1 <i>Berechnung des Standortspotentials.....</i> | 27 |
| 3.5.2 <i>Merkmale zur Charakterisierung der Vitalität von Einzelbäumen.....</i> | 28 |
| 3.5.3 <i>Merkmale zur Charakterisierung der Konkurrenzwirkung auf Einzelbäume.....</i> | 29 |
| 3.5.4 <i>Merkmale zur Charakterisierung der Qualität von Einzelbäumen.....</i> | 30 |
| 3.5.5 <i>Merkmale zur Charakterisierung von Schäden und Risiken am Einzelbaum.....</i> | 31 |
| 3.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG..... | 31 |
| 4 STRUKTUR VON HAUPTBESTAND UND NACHWUCHS..... | 33 |
| 4.1 PLENTERSTRUKTUR..... | 33 |
| 4.2 NACHWUCHSSTRUKTUR..... | 37 |
| 4.2.1 <i>Anzahl und Verteilung des Nachwuchses.....</i> | 37 |
| 4.2.2 <i>Baumartenzusammensetzung.....</i> | 40 |
| 4.2.3 <i>Gruppierung der Untersuchungsflächen.....</i> | 41 |
| 4.2.4 <i>Vergleich der Nachwuchsdichte mit der Plenterstruktur.....</i> | 42 |
| 4.2.5 <i>Räumliche Verteilung der Nachwuchs stämme.....</i> | 42 |
| 4.2.6 <i>Nachwuchsgruppen.....</i> | 43 |
| 4.2.7 <i>Zustand und waldbauliche Brauchbarkeit der Nadelbäume im Nachwuchs.....</i> | 45 |
| 5 NACHWUCHSPFLEGE..... | 46 |
| 5.1 AUSLESE..... | 46 |
| 5.1.1 <i>Verteilung der Auslesebäume auf BHD-Stufen und Baumarten.....</i> | 46 |
| 5.1.2 <i>Auswahl der Auslesebäume.....</i> | 48 |
| 5.1.3 <i>Stammzahldichte der Auslesebäume.....</i> | 50 |
| 5.1.4 <i>Ausleseintensität.....</i> | 51 |
| 5.1.5 <i>Förderungsintensität.....</i> | 53 |
| 5.1.6 <i>Räumliche Verteilung der Auslesebäume.....</i> | 55 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.1.7 | <i>Abstand von einem Auslesebaum zum nächsten</i> | 57 |
| 5.2 | AUSHIEB | 58 |
| 5.2.1 | <i>Verteilung der Aushiebe auf BHD-Stufen und Baumarten</i> | 58 |
| 5.2.2 | <i>Bezeichnung der Aushiebe</i> | 60 |
| 5.2.3 | <i>Aushiebsmenge</i> | 62 |
| 5.2.4 | <i>Aushiebsgründe</i> | 63 |
| 5.2.5 | <i>Eingriffsstärke</i> | 67 |
| 5.3 | VERGLEICH DER NACHWUCHSPFLEGE MEHRERER FORSTLEUTE | 70 |
| 5.3.1 | <i>Auswahl der Ausleseebäume</i> | 70 |
| 5.3.2 | <i>Bezeichnung der Aushiebe</i> | 71 |
| 5.3.3 | <i>Gruppierung der Testpersonen und Charakterisierung ihrer Nachwuchspflege</i> | 74 |
| 6 | ZUSTAND DER AUSLESEBÄUME | 78 |
| 6.1 | EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE ENTWICKLUNG DER NACHWUCHSBÄUME | 78 |
| 6.1.1 | <i>Standortspotenzial und Definition von Standortseinheiten</i> | 78 |
| 6.1.2 | <i>Überschirmung</i> | 82 |
| 6.1.3 | <i>Seitliche Konkurrenz</i> | 84 |
| 6.1.4 | <i>Beschattung</i> | 88 |
| 6.2 | HÖHENKURVE UND STABILITÄT | 89 |
| 6.2.1 | <i>Durchmesser-Höhenkurve und Schlankheitsgrad</i> | 89 |
| 6.2.2 | <i>Faktoren mit Einfluss auf den Schlankheitsgrad</i> | 89 |
| 6.2.3 | <i>Einfluss des Standortes</i> | 90 |
| 6.2.4 | <i>Einfluss der seitlichen Konkurrenz</i> | 90 |
| 6.2.5 | <i>Berechnete Höhenkurven für Tanne und Fichte</i> | 92 |
| 6.3 | KRONENKENNWERTE UND VITALITÄT..... | 94 |
| 6.3.1 | <i>Kronenlänge</i> | 94 |
| 6.3.2 | <i>Kronenschirmfläche</i> | 100 |
| 6.3.3 | <i>Lichtkronenindex als Ausdruck der vertikalen Kronenform</i> | 103 |
| 6.3.4 | <i>Kronensymmetrie als Ausdruck der horizontalen Kronenform</i> | 104 |
| 6.3.5 | <i>Entwicklungstendenz</i> | 105 |
| 6.4 | SCHAFTMERKMALE UND QUALITÄT | 106 |
| 6.4.1 | <i>Geradschaftigkeit</i> | 106 |
| 6.4.2 | <i>Schaftform</i> | 106 |
| 6.4.3 | <i>Astigheit</i> | 107 |
| 6.5 | VERLETZUNGEN, KRANKHEITEN, HOLZFEHLER UND RISIKEN | 114 |
| 6.6 | WALDBAULICHE EIGNUNG DER NADELHOLZ-AUSLESEBÄUME | 116 |
| 6.7 | VERGLEICH DER AUSLESEBÄUME MIT DEN DIREKTEN KONKURRENTEN..... | 116 |
| 6.8 | ZUSTAND UND EIGNUNG DER LAUBHOLZ-AUSLESEBÄUME..... | 118 |
| 6.8.1 | <i>Höhenkurve und Stabilität</i> | 118 |
| 6.8.2 | <i>Kronenkennwerte und Vitalität</i> | 119 |
| 6.8.3 | <i>Schaftmerkmale und Qualität</i> | 120 |
| 6.8.4 | <i>Verletzungen, Krankheiten, Holzfehler und Risiken</i> | 121 |
| 6.8.5 | <i>Waldbauliche Eignung der Laubholz-Ausleseebäume</i> | 121 |
| 7 | ENTWICKLUNG DER AUSLESEBÄUME | 122 |
| 7.1 | DURCHMESSERZUWACHS | 122 |
| 7.2 | HÖHENZUWACHS | 128 |
| 7.2.1 | <i>Höhenzuwachs pro Zeitperiode und Einflussfaktoren</i> | 128 |
| 7.2.2 | <i>Entwicklung des Höhenzuwachses in den letzten 20 Jahren</i> | 135 |
| 8 | ZUSTAND DER AUSHIEBE | 137 |
| 8.1 | BHD UND HÖHE IN ABHÄNGIGKEIT DES ALTERS | 137 |
| 8.2 | ENGMERKERN UND UNTERDRÜCKUNG..... | 143 |
| 8.2.1 | <i>Häufigkeit von Engkern</i> | 143 |
| 8.2.2 | <i>Unterdrückungszeitraum</i> | 145 |
| 8.2.3 | <i>Unterdrückungsintensität</i> | 147 |
| 8.2.4 | <i>Vertikale Ausdehnung des Engkerns</i> | 149 |
| 8.3 | KRONENFORM..... | 150 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 8.3.1 | <i>Quantitative Charakterisierung der Kronenparameter</i> | 150 |
| 8.3.2 | <i>Faktoren mit Einfluss auf die Kronenparameter</i> | 150 |
| 8.3.3 | <i>Gruppierung der Kronenformen zu Kronentypen</i> | 151 |
| 8.4 | SCHAFTFORM..... | 155 |
| 8.4.1 | <i>Verhältnis der Stammdurchmesser in verschiedener Baumhöhe zum BHD</i> | 155 |
| 8.4.2 | <i>Durchmesserabnahme pro Laufmeter</i> | 158 |
| 8.4.3 | <i>Echte Formzahl nach Hohenadl</i> | 159 |
| 8.4.4 | <i>Schaftquerschnitt</i> | 162 |
| 8.5 | ASTIGKEIT | 163 |
| 8.6 | SCHÄDEN | 164 |
| 8.6.1 | <i>Schäden im Schaft- und Kronenbereich</i> | 164 |
| 8.6.2 | <i>Holzschäden</i> | 164 |
| 9 | ENTWICKLUNG DER AUSHIEBE | 165 |
| 9.1 | RADIALZUWACHS | 165 |
| 9.1.1 | <i>Grösse, Verteilung und zeitliche Entwicklung des Radialzuwachses</i> | 165 |
| 9.1.2 | <i>Durchwuchszeiten durch BHD-Stufen</i> | 168 |
| 9.2 | HÖHENZUWACHS | 170 |
| 9.2.1 | <i>Grösse, Verteilung und zeitliche Entwicklung des Höhenzuwachses</i> | 170 |
| 9.2.2 | <i>Aufwuchs- und Durchwuchszeiten durch Höhenklassen</i> | 176 |
| 10 | ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE UND VERGLEICH MIT DER LITERATUR | 177 |
| 10.1 | STRUKTUR UND TEXTUR VON HAUPTBESTAND UND NACHWUCHS | 177 |
| 10.2 | NACHWUCHSPFLEGE..... | 180 |
| 10.3 | ZUSTAND VON AUSLESEBÄUMEN UND AUSHIEBEN..... | 183 |
| 10.3.1 | <i>Einflussfaktoren auf den Zustand der Ausleseebäume</i> | 183 |
| 10.3.2 | <i>Höhenkurve und Stabilität der Ausleseebäume</i> | 183 |
| 10.3.3 | <i>Kronenkennwerte und Vitalität der Ausleseebäume</i> | 185 |
| 10.3.4 | <i>Schaftmerkmale und Qualität der Ausleseebäume</i> | 186 |
| 10.3.5 | <i>Physikalisches Baumalter der Aushiebe</i> | 187 |
| 10.3.6 | <i>Unterdrückungszeitraum und Engkern</i> | 188 |
| 10.3.7 | <i>Schaft- und Kronenform im Aushieb</i> | 189 |
| 10.3.8 | <i>Astigkeits im Aushieb</i> | 190 |
| 10.4 | ENTWICKLUNG VON AUSLESEBÄUMEN UND AUSHIEBEN | 191 |
| 10.4.1 | <i>Durchmesser- und Radialzuwachs</i> | 191 |
| 10.4.2 | <i>Höhenzuwachs</i> | 192 |
| 10.5 | VERGLEICH DER AUSLESEBÄUME MIT DEN AUSHIEBEN | 194 |
| 10.6 | VERGLEICH EINIGER KENNGRÖSSEN DER HÄUFIGSTEN BAUMARTEN | 194 |
| 11 | DISKUSSION DER VERWENDETEN METHODEN UND DER WICHTIGSTEN WALDBAULICHEN FRAGESTELLUNGEN | 196 |
| 11.1 | KRITISCHE BEURTEILUNG DER VERWENDETEN METHODEN..... | 196 |
| 11.2 | WIE LÄSST SICH DIE HEUTIGE NACHWUCHSPFLEGE CHARAKTERISIEREN? | 198 |
| 11.3 | WELCHE NACHWUCHSBÄUME SIND IM PLENTERWALD BRAUCHBAR? | 198 |
| 11.4 | WELCHE NACHWUCHSBÄUME KOMMEN ALS AUSLESEBÄUME IN FRAGE? WELCHE WERDEN ALS AUSLESEBÄUME GEWÄHLT?..... | 199 |
| 11.5 | WELCHEN EINFLUSS HAT DIE NACHWUCHSSTRUKTUR AUF DIE PFLEGE? | 200 |
| 11.6 | WELCHE FAKTOREN BEEINFLUSSEN DEN ZUSTAND UND DIE ENTWICKLUNG DER AUSLESEBÄUME IM NACHWUCHS VON PLENTERWÄLDERN? | 201 |
| 11.6.1 | <i>Faktoren mit Einfluss auf Zustand und Entwicklung des Nachwuchses</i> | 201 |
| 11.6.2 | <i>Abhängigkeit der untersuchten Merkmale von der Baumdimension</i> | 202 |
| 11.6.3 | <i>Einfluss des Standortes</i> | 202 |
| 11.6.4 | <i>Einfluss der Baumart: Unterschiede zwischen Tanne und Fichte</i> | 202 |
| 11.6.5 | <i>Einfluss der Beschattung und der Überschirmung</i> | 204 |
| 11.6.6 | <i>Einfluss der seitlichen Konkurrenz</i> | 204 |
| 11.7 | WELCHE ROLLE SPIELEN DIE LAUBBÄUME IM NACHWUCHS? | 205 |
| 11.8 | IST DIE FRÜHZEITIGE POSITIVE AUSLESE IM NACHWUCHS ZIELFÜHREND? | 208 |
| 11.9 | IST WERTASTUNG DER NACHWUCHSSTANGEN NÖTIG UND SINNVOLL? | 210 |

| | |
|---|------------|
| 12 KONZEPT FÜR DIE NACHWUCHSPFLEGE IM PLENTERWALD..... | 211 |
| 12.1 ZIEL DER NACHWUCHSPFLEGE..... | 211 |
| 12.2 BESONDERHEITEN DES NACHWUCHSES VON PLENTERWÄLDERN..... | 211 |
| 12.3 MASSNAHMEN DER NACHWUCHSPFLEGE..... | 212 |
| 12.3.1 <i>Bedeutung der einzelnen Massnahmen</i> | 212 |
| 12.3.2 <i>Schutzmassnahmen</i> | 212 |
| 12.3.3 <i>Mischungsregelung</i> | 213 |
| 12.3.4 <i>Erziehung durch Licht- und Dichteregulierung</i> | 213 |
| 12.3.5 <i>Auslese</i> | 214 |
| 12.3.6 <i>Nachwuchsförderung</i> | 215 |
| 12.3.7 <i>Qualitätsverbesserung durch Kronenschnitt oder Wertastung</i> | 216 |
| 12.4 PRAKTISCHE AUSFÜHRUNG DER NACHWUCHSPFLEGE..... | 216 |

LITERATURVERZEICHNIS

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die meisten deutsch- und französischsprachigen Waldbau-Lehrbücher der letzten 20 Jahre (Leibundgut 1978, Mayer 1984, Lanier 1986, Burschel & Huss 1987, Boudru 1989, Schütz 1990, Röhrig 1990, Rittershofer 1994) befassen sich umfassend mit der Waldpflege im gleichförmigen Hochwald. Die Jungwaldpflege mit ihren Teilschritten Jungwuchs-, Dickungs- und Stangenholzpflege nimmt jeweils einen breiten Raum ein. Damit kommt zum Ausdruck, dass die Jungwaldpflege im gleichförmigen Wald sehr wichtig und entsprechend gut untersucht ist, so dass für die wichtigsten Baumarten gute waldbauliche Grundlagen bestehen.

Zur Nachwuchspflege im Plenterwald dagegen existieren fast keine quantitativen Angaben, sondern bloss qualitative Beschreibungen (Leibundgut 1978, Schütz 1989). Einer der Gründe dafür sind die relativ niedrigen Pflegekosten: die Nachwuchspflege im Plenterwald ist rund fünf- bis zehnmal günstiger als die Jungwaldpflege im schlagweisen Hochwald (Leibundgut 1975). Zudem weisen die Nachwuchsgruppen im Plenterwald häufig bereits eine gewisse Stufigkeit auf, so dass die Pflege waldbaulich weniger dringlich ist als in den relativ dichten Jungwüchsen und Dickungen aus flächiger Verjüngung.

In den letzten zwei Jahrzehnten ist das Interesse an stufigen Waldstrukturen im Allgemeinen und am Plenterwald im Speziellen stark gestiegen. Die Forschung konzentrierte sich in der Schweiz auf die Charakterisierung der Plenterverfassung (Eggenberger 1985) und die Herleitung des Plentergleichgewichts (Schütz 1975, Bachofen 1996), auf die Überführung von gleichförmigen Wäldern in Plenterwälder (Bernasconi 1984, Schütz 1989), auf die Möglichkeiten der Plenterung in Laubwäldern bzw. mit Laubbäumen (Schütz 1992), auf die Beziehung zwischen Wild und Plenterwald (Eiberle & Wenger 1983, Eiberle & Holenstein 1985, Eiberle & Bucher 1989) und auf die Frage nach dem minimal notwendigen Nachwuchs zur Erhaltung der Plenterstruktur (Duc 1991). Die letzte Frage interessiert Forschung und Praxis gleichermaßen, weil die Tannenverjüngung in den Plenterwaldgebieten durch den zunehmenden Wildverbiss ab den 60er Jahren kaum mehr über die Jungwuchs-Stufe hinaus kam und durch den Ausfall der Tanne mittel- bis langfristig der Verlust der Plenterstruktur befürchtet werden musste (Mitscherlich 1961; Frehner 1969, Kammerlander 1978; Eiberle & Holenstein 1985; Duc 1991).

Die daraus abgeleitete Forschungsfrage, wieviel Nachwuchsstämme zur dauernden Erhaltung der Plenterstruktur nötig seien, wurde vom Autor im Rahmen seiner Diplomarbeit (Duc 1988) abgehandelt. Er stützte sich dabei auf das Gleichgewichtsmodell von Schütz (1975) ab. Schütz untersuchte für die nordexponierten Tannen-Buchenwälder im Val-de-Travers den Einfluss der Bestandesdichte auf Durchmesserzuwachs und Einwüchse und berechnete mit Hilfe aller vorliegenden Inventuren der Gemeindewälder von Môtiers im Zeitraum 1902 bis 1970 die relative Eingriffsstärke pro Durchmesserstufe. Daraus konnte er Stammzahl-Gleichgewichtskurven für die Plenterwälder auf Tannen-Buchenwaldstandorten berechnen und für verschiedene Eingriffsstärken und Zieldurchmesser variieren. Seine Betrachtungen bezogen sich auf den Durchmesserbereich oberhalb der im Kanton Neuenburg üblichen Kluppschwelle von 17,5 cm BHD. Dieses Modell diente als Ausgangspunkt der Nachhaltigkeitsbetrachtungen für den Nachwuchs. Bei bekannter Anfangsstammzahl n_1 (Modell-Stammzahl der untersten berechneten Durchmesserstufe) lassen sich nämlich die für die Erhaltung des Modellgleichgewichts benötigten Stammzahlen der Nachwuchsstufen berechnen (Duc 1991). Voraussetzung dazu ist aber, dass der Anteil e der ausgefallenen oder genutzten Stämme und der Anteil p der auswachsenden Stämme berechnet oder genügend genau geschätzt werden kann. Der Anteil p ist abhängig vom mittleren Durchmesserzuwachs der Nachwuchsbäume pro BHD-Stufe und kann deshalb erhoben werden. Der Anteil e der ausfallenden oder genutzten Nachwuchsbäume dagegen ist bis heute unbekannt, weil die Nachwuchspflege im Plenterwald noch nicht Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen war. Diese Wissenslücke soll mit der vorliegenden Arbeit geschlossen werden.

1.2 Bedeutung im heutigen forstwirtschaftlichen Umfeld der Schweiz

Obwohl die Plenterprinzipien im kleinparzellierten Bauernwald des Emmentales und anderer Gegenden seit Jahrhunderten praktiziert und die pflegliche Plenterung ("le jardinage cultural" nach Biolley 1901) vor etwa hundert Jahren im Kanton Neuenburg eingeführt wurde, und obwohl sich neben Biolley auch andere bekannte Forstleute wie Balsiger, Ammon, Trepp, Favre und Schütz für die Plenterung eingesetzt haben, betrug der Anteil des Plenterwaldes in der Schweiz 1985 kaum 10 % (EAFV 1988). Gemäss dem Landesforstinventar der Schweiz dominieren in allen Regionen gleichförmige Hochwälder (65 % der zugänglichen, bestockten Waldfläche ohne Gebüschwald), gefolgt von ungleichförmigen (10 %) und plenterartigen Hochwäldern (9 %). Der plenterartige Hochwald hat seine stärkste Verbreitung in den Alpen, wo die stufige oder rottenförmige Struktur oft das Ergebnis klimatischer oder standörtlicher Faktoren ist. Weitere Schwerpunkte befinden sich in der montanen Stufe, v.a. im Neuenburger Jura (21% der Waldfläche) und im Emmental (33%). Aufgrund des Flächenanteils der Plenterwälder müsste man also von einer kleinen Bedeutung des Untersuchungsthemas sprechen.

Drei Gründe geben der Untersuchung aber eine viel weitreichendere Bedeutung:

Erstens hat das Interesse an stufigen Waldaufbauformen als Folge des ökonomischen Druckes und der Arbeit von Naturschutz-Organisationen in den letzten Jahren nicht nur in der Schweiz, sondern in ganz Mitteleuropa stark zugenommen. Dem Tannen-Fichten-Buchen-Plenterwald der montanen Lagen als dem idealem Typus des stufigen Waldes wurde dadurch wieder mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Das Interesse an der Plenterung und insbesondere auch an der Plenterüberführung kam u.a. am Sanasilva-Fortbildungskurs zum Thema "Die Technik der Überführung von Schlagwald in Plenterwald" deutlich zum Ausdruck. An den drei von der Professur für Waldbau organisierten Kursen in den Jahren 1989 und 1990 nahmen insgesamt 82 Forstleute aus dem höheren Forstdienst der meisten Schweizer Kantone teil.

Zweitens hat die Nachwuchspflege im Neuenburger Jura, im Gegensatz zum Emmental, eine langjährige Tradition. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Buche auf der im Jura weitverbreiteten Kalkunterlage eine wesentlich grössere Verjüngungsgunst und Konkurrenzkraft aufweist als auf dem sauren Substrat der Molasse im Emmental. Die im Jura tätigen Pioniere der pfleglichen Plenterung (Biolley 1901; Borel 1929) gaben deshalb bereits konkrete Empfehlungen für die Nachwuchspflege ab. In den letzten Jahren sind die traditionellen Pflegemethoden durch eine rationellere Pflege an die heutigen hohen Lohnkosten angepasst worden (Arbeitsgruppe Kt. Neuenburg, 1990). Vor diesem Hintergrund soll die vorliegende Untersuchung einerseits fundierte Grundlagen für die Durchführung einer zeitgemässen Nachwuchspflege im Plenterwald liefern und andererseits die früher übliche und die aktuelle Pflgetätigkeit im Neuenburger Jura dokumentieren. Sie dient dadurch auch als Erfolgskontrolle für die eingeführten Neuerungen.

Drittens schliesslich hat sich die Rationalisierung der Jungwaldpflege im gleichförmigen Wald, aufgrund des enormen Kostendruckes bei tiefen Holzpreisen, in den letzten Jahren zu einem eigentlichen Dauerbrenner entwickelt (z.B. Abetz 1994; Otto 1994; Schütz 1995; Arbeitsgruppe Waldbau/ Arbeitstechnik 1995; Schütz 1996; Duc 1997). Die Jungwaldpflege im Plenterwald erfordert im Vergleich zum gleichförmigen Wald einen sehr geringen Zeitaufwand. Nach den Angaben von Leibundgut (1975) beträgt der Aufwand für die Jungwaldpflege durchschnittlich 0,3 bis 2,1 Stunden pro ha und Jahr, d.h. 3 bis 20 Stunden pro ha und 10 Jahre. Im gleichförmigen Hochwald dagegen erfordert ein einziger Pflegeeingriff je nach Entwicklungsstufe einen Aufwand zwischen 40 und 100 Std. pro ha; innerhalb der Jungbestandsentwicklung sind rund 4 bis 6 Pflegeeingriffe nötig, d.h. es resultieren Gesamtaufwände zwischen 200 und 600 Stunden pro ha. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht besteht deshalb ein Interesse daran, auch in gleichförmigen Hochwäldern ähnlich differenzierte Jungwald-Strukturen zu schaffen wie im Plenterwald, z.B. durch lange Verjüngungszeiträume. Diese trupp- bis gruppenweise aufwachsenden, nach Durchmesser und Höhe bereits früh ausdifferenzierten Jungwaldzellen könnten dann mit ähnlichen Konzepten gepflegt werden wie die Nachwuchsgruppen im Plenterwald.

1.3 Kenntnisstand über Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses

1.3.1 Begriff der Nachwuchspflege

Leibundgut (1978) schreibt über den Plenterwald: "Im Unterschied zum Schlagwald befinden sich im Plenterwald in allen Bestandesschichten Ausleseebäume Nachwuchs ist jederzeit und überall erwünscht. Gleichzeitig wird verjüngt, ausgelesen, erzogen und geerntet. Diese Eigenheit des Plenterwaldes bringt mit sich, dass verschiedene Pflegemassnahmen örtlich und zeitlich in einem einzigen Eingriff, der Plenterung, zusammenfallen. Wir können deshalb im Plenterwald nur die Nachwuchspflege und die eigentliche Plenterung unterscheiden." (S. 145).

Schütz (1989) schreibt: "Der Eingriff der Nachwuchspflege beschränkt sich grösstenteils auf nicht inventarisierte Bäume: Gruppen von Bäumchen der Jungwuchs- und Dickungsstufen sowie Stangen. Sie wird im Sommerhalbjahr nach erfolgtem Haupteingriff ausgeführt. Als Folge ihrer Verteilung und der geringen Anzahl Stämme ist die Massnahme viel einfacher auszuführen als die entsprechende Jungwuchs-, Dickungs- und Stangenholzpflege im schlagweisen Hochwald. Die Kosten liegen daher auch ... fünf- bis zehnmal tiefer (Leibundgut 1975). Es geht darum, wirklich nur das Allernotwendigste vorzunehmen, wie Mischungsregulierung innerhalb der Gruppen, Freistellung einzelner Bäumchen sowie Aushieb der Schlechtgeformten, Beschädigten und Kranken, besonders der Krebsigen. In den Stangen steht die Förderung der Stabilität durch Ausformung einer genügend langen Krone im Vordergrund." (S. 43).

Unter Nachwuchspflege verstehen wir im Folgenden einen Pflegeeingriff im Nachwuchs von Plenterwäldern, der i.d.R. im Sommer nach dem eigentlichen Plentereingriff erfolgt und der die Ausbildung und Förderung von Bäumen guter Stabilität, Vitalität und Qualität bezweckt.

1.3.2 Brauchbarkeit des Nachwuchses im Plenterwald

Die Nachwuchsstämme im Plenterwald werden von Forstleuten aus Gebieten ohne Plenterwald häufig als kümmerlich (Ammon 1937) oder gar als kränklich (Balsiger 1914) bezeichnet. Die meisten Untersuchungen (z.B. Balsiger 1914, Sommer 1962, Schütz 1969) zeigen aber, dass sich auch lange unterdrückte Tannen und Fichten im Plenterwald noch zu starken, qualitativ guten Bäumen entwickeln können. Kümmerlich scheinender, langsamwüchsiger Nachwuchs kann deshalb nicht a priori als unbrauchbar bezeichnet werden. In der Praxis wird dem "petit vieux" - darunter versteht man einen physikalisch alten, infolge Lichtmangels klein gebliebenen Baum mit ausgeprägter Schirmkrone - aber keine Zukunft eingeräumt und dessen Förderung als zwecklos angesehen (mündl. Mitt. Haldimann, ehem. Förster Couvet). Neben der oft schlechten Vitalität sind diese Bäume durch eine grosse Zahl von Astquirlen und der damit zusammenhängenden schlechteren Qualität gegenüber schneller wachsenden Artgenossen gekennzeichnet. Eine lange Unterdrückungsperiode bei minimalem Lichtangebot kann allerdings auch dazu führen, dass die Äste dünn bleiben und früh absterben, was sich auf die Entwicklung der Qualität positiv auswirkt (Safar 1954). Langsames Jugendwachstum führt also nicht notwendigerweise zur Ausbildung qualitativ schlechter Bäume. Balsiger (1914) war deshalb der Ansicht, dass es sich nicht lohnt, im Nachwuchs "Ausscheidungen nach der Tauglichkeit einzelner Individuen machen zu wollen". Das "Dickicht der untersten Grössenstufe" sei vielmehr "als Füllholz zu betrachten, von welchem nur wenige Prozente zur Entwicklung kommen könnten". Ammon (1937) warnte ebenfalls "vor absprechenden Urteilen über Güte und Zukunftswert des dürrtig vegetierenden Nachwuchses". Nach Schütz (1989) kann man davon ausgehen, dass Nachwuchsbaumchen mit Höhentrieben von mehr als 4 bis 5 cm noch alle Entwicklungsmöglichkeiten haben. Langsamwüchsige Bäumchen könnten deshalb keinesfalls als unbrauchbar bezeichnet werden (mündl. Mitt.). In einer früheren Untersuchung (Duc 1991) beurteilte der Autor die Brauchbarkeit der Bäume im Nachwuchses gutachtlich, in Abhängigkeit der Vitalität, der vorhandenen Schäden und der Stellung innerhalb der Nachwuchsgruppe. Ein grosser Anteil der Tannen und Buchen wurde als unbrauchbar beurteilt. Aufgrund der erwähnten Literaturangaben haftet aber jeder frühen waldbaulichen Beurteilung der Makel des Subjektiven an, vor allem dann, wenn sie sich zu stark auf die Vitalität abstützt. Für die vorliegende Arbeit sollte deshalb nicht die Frage im Zentrum stehen, ob ein Nachwuchsstamm brauchbar sei oder nicht, sondern ob er förderungswürdig sei.

1.3.3 Ausfallgründe und Ausfallraten im Nachwuchs

Als mögliche Ausfallursachen im Nachwuchs des Plenterwaldes sind Wildschäden (Verbiss und Fegen), Krankheiten (v.a. Tannenkrebs und Weisstannenlaus), Fäll- und Rückeschäden, Schneedruck- und Schneebruchschäden, Dürreschäden und Schäden durch Lichtmangel bekannt. Das Ausmass des Wildverbisses in Plenterwäldern wurde bereits eingehend untersucht (Mitscherlich 1961, Kammerlander 1978, Eiberle und Wenger 1983, Eiberle und Holenstein 1985, Eiberle und Bucher 1989, Duc 1991). Der Anteil der am Gipfeltrieb verbissenen Tannen und Laubbäume lag häufig über 30 %. Die feststellbaren Auswirkungen des Wildverbisses sind fast überall dieselben: die vom Rehwild bevorzugten Baumarten Bergahorn und Tanne, aber auch die sonst weniger beliebte Buche werden selektiv aus der vorhandenen Mischverjüngung eliminiert. Als einzige Baumart bleibt häufig die wegen ihrer spitzigen, relativ harten Nadeln beim Rehwild wenig beliebte Fichte übrig. Es fehlen jedoch spezifische Untersuchungen zum maximal zulässigen Verbiss im Plenterwald. Die Methode Eiberle (1980) zur Berechnung des zulässigen Verbisses eignet sich für gleichförmige Verjüngungen, nicht aber für den Nachwuchs in stufigen Betänden.

Fegeschäden treten wesentlich seltener auf als Verbissspuren. Sie betragen nach eigenen Untersuchungen (Duc 1991) zwischen 4 und 7 %, ohne wesentlichen Unterschied zwischen Tanne und Fichte. Die Auswirkungen des Fegens sind v.a. für die Fichte als sehr ungünstig zu beurteilen, weil die Rindenverletzungen als Eintrittspforten für holzzerstörende Pilze dienen können. Bei der Tanne dagegen überwallen Rindenschäden relativ schnell und gut.

Der Tannenkrebs wird durch den Pilz *Melampsorella caryophyllacearum* D.C. hervorgerufen und von Schwerdtfeger (1981) als überaus gefährlicher Feind der Tanne beurteilt. Es ist keine Arbeit über das Auftreten des Tannenkrebses im Plenternachwuchs bekannt.

Die Gefährliche Weisstannenlaus (*Dreyfusia nüsslini* C.B.) gehört zu den Pflanzenläusen, die einen Generations- und einen Wirtswechsel durchmachen. In Mitteleuropa beschränkt sich die Entwicklung der Laus auf die ungeschlechtlichen Generationen, die sowohl auf der Nordmannstanne als auch auf der einheimischen Weisstanne vorkommen. Ihre Entwicklung und Ausbreitung in Mitteleuropa wird von Schneider-Orelli et al. (1929) eingehend beschrieben. Der Tannenlausbefall führt zur Verkümmern der jüngsten Nadeln, zu verkürzten Trieben, zur Vertrocknung des Gipfeltriebes mit anschliessender sekundärer Gipfelbildung und bei andauerndem schweren Befall zum Absterben der ganzen Pflanze. In Tannen-Jungbeständen traten nennenswerte Schäden zu Beginn nur auf wenig oder gar nicht beschatteten Parzellen auf. In beschatteten Jungbeständen dagegen fanden sich nur selten grössere Schäden. Zehn Jahre später verursachte die Tannentrieblaus auch in Plenterwaldgebieten Schäden (Schneider-Orelli 1939). Seither ist sie in der Schweiz nicht mehr stark aufgetreten. In Österreich dagegen richtete die Tannentrieblaus ab den 50er Jahren vermehrt Schäden an Tannenverjüngungen an (Kitzberger 1996). Als Folge des Befalls durch die Tannentrieblaus kam es vor allem im Freiland zu Ausfällen.

Fäll- und Rückeschäden können im Nachwuchs von Plenterwäldern selten beobachtet werden. Nach Duc (1991) lag der Anteil der Nachwuchs bäume mit Rückeschäden in den Plenterwald-Versuchsflächen der WSL nirgends über 5%.

Der Schlankheitsgrad der Nachwuchsstangen nimmt im Plenterwald mit zunehmendem BHD bis zu einem Minimum bei rund 5 cm BHD stark ab, darüber aber wieder zu, bis zu einem Maximum von über 80 bis 100 im Bereich 15 bis 25 cm BHD (Burger 1942, Kern 1966). Die grösste Gefahr für Schneedruck- und Schneebruchschäden liegt demnach im schwachen Stangenholz. Rottmann (1985) stuft die Schneebruchgefahr in Plenterwäldern im Vergleich zum schlagweisen Hochwald als wesentlich geringer ein. Die Stufigkeit verbessert vornehmlich in jüngeren Entwicklungsstufen die Bruchresistenz. Nach eigenen Untersuchungen (Duc 1991) beträgt der mittlere Anteil von Pflanzen mit Wipfelbruch für die Dickungsstufe rund 1 bis 2%.

Als Folge mehrerer trockener Jahre kann es auch im Plenterwald zu Dürreschäden kommen. So kommt Nagel (1950) zum Schluss, dass die im Val-de-Travers zwischen 1891 und 1943 festgestellte Zunahme der Tanne und Abnahme der Fichte darauf zurückzuführen ist, dass die Vorräte stark gestiegen sind und v.a. dass die flachwurzelnde Fichte auf südexponierten Hängen stärker unter Trockenstress steht als die andern Baumarten. Als Folge davon sind im Trockenjahr 1947 praktisch alle Nachwuchs pflanzen der Fichte am Südhang ausgefallen.

1.3.4 Vitalität und Qualität der Nachwuchsbäume

Untersuchung über die Vitalität und Qualität von Nachwuchsbäumen im Plenterwald bezogen sich bisher stets auf das gesamte Kollektiv (Burger 1942; Leibundgut 1945; Kern 1966; Indermühle 1978) oder waren auf einzelne Stärke- oder Höhenstufen beschränkt (Mitscherlich und Weihe 1952; Safar 1954; Groualle und Minot 1989; Duc 1991). Spezifische Untersuchungen zu den Ausleseebäumen im Nachwuchs wurden dagegen bisher keine durchgeführt.

Die Vitalität der Fichte ist im Gegensatz zur Tanne bisher schlecht untersucht. Insbesondere fehlt es an Untersuchungen über den Einfluss der Ueberschirmung und der Dichte auf die Kronenform und Assimilationsorgane der Fichte. Es fehlen aber auch, abgesehen von der Arbeit Safar (1954), Untersuchungen über die Gesamtwirkung der Hauptfaktoren auf die Vitalität bzw. die Kronenausformung des Nachwuchses im Plenterwald.

Die überwiegend gutachtliche Ansprache der Vitalität des Plenternachwuchses mag nicht zu befriedigen, da sie die im Vergleich zum gleichförmigen Hochwald natürlicherweise kleinere Benadelungsdichte zu wenig berücksichtigt und weil sie nicht nachvollziehbar ist. Es sind daher messbare Grössen zu verwenden, welche die objektive Beurteilung der Nachwuchspflanzen ermöglichen. Dazu eignen sich einerseits quantitative Angaben zu den Assimilationsorganen, insbesondere zur Kronenmantelfläche, und andererseits Angaben zur Höhenzuwachsentwicklung.

Die Qualität der Fichte im Plenternachwuchs ist bisher ebenfalls schlecht untersucht. Es fehlen insbesondere Untersuchungen über den Einfluss der Ueberschirmung und der Bestandesdichte auf die Astigkeit der Fichte, aber auch Untersuchungen über die Einflüsse auf die Engkernbildung und über die Gesamtwirkung der Hauptfaktoren auf die Qualität des Plenternachwuchses (Duc 1993). Ähnlich wie bei der Beurteilung der Vitalität bringt die taxatorische Beurteilung der Qualität keine objektiven, gesicherten Erkenntnisse. Bei den bisherigen Untersuchungen über die Beziehung zwischen wichtigen Einflussfaktoren und der Qualität (z.B. Mitscherlich & Weihe 1952, Leibundgut 1972, Groualle & Minot 1989) wurde meist nur ein einzelner Faktor betrachtet. Multivariate Auswertungen fehlen, meist aus Mangel an Untersuchungsmaterial.

Aufgrund der bisherigen Forschungsarbeiten weisen die direkte Ueberschirmung, die seitliche Konkurrenz, das physikalische Alter, die Baumdimension und die mechanischen und biotischen Schadfaktoren den grössten Einfluss auf die Vitalität und Qualität auf (Duc 1993).

1.3.5 Wachstum und Zuwachs der Nachwuchsbäume

Es gibt zahlreiche Untersuchungen über die Entwicklung der Mittelhöhen in Abhängigkeit des BHD (Flury 1929; Zimmerle 1936; Leibundgut 1945; Prodan 1949; Mitscherlich 1952; Leibundgut 1972), welche das Aufstellen von Durchmesser-Höhenkurven erlauben. Daneben existieren auch Arbeiten über die Höhenzuwachsentwicklung (Flury 1933; Badoux 1949; Mitscherlich 1961; Sommer 1962; Kern 1966; Schütz 1969; Spiecker 1986; Groualle und Minot 1989; Duc 1991).

Die allgemeine Höhenentwicklung in Abhängigkeit des BHD wie auch die Höhenentwicklung von Einzelbäumen sind bereits gut untersucht. Auffällig ist die ausserordentliche Variation der Höhenwachstumsvorgänge bei den einzelnen Individuen als auch die Unterschiede zwischen den Individuen (Magin 1959; Schütz 1969; Preuhsler 1981). Diese sind auf die hohe Variation der Beschattung auf kleiner Fläche zurückzuführen.

Der Höhenzuwachs wird bekanntlich oder vermutlich durch die Faktoren Baumdimension (BHD, Baumhöhe), Standort, Ueberschirmung, Baumart, Alter und Plenterstruktur beeinflusst. Während der Einfluss des Standortes und der BHD-Stufe auf die Mittelhöhe und den Höhenzuwachs gut untersucht ist, fehlt es an präzisen Untersuchungen über den Einfluss der Ueberschirmung bzw. des Lichtfaktors (direktes und diffuses Licht) auf den Höhenzuwachs von Tanne und Fichte.

1.3.6 Durchführung der Nachwuchspflege

Mit Aspekten der Nachwuchspflege im Plenterwald haben sich bisher Biolley (1901), Balsiger (1914), Borel (1929), Köstler (1956), Leibundgut (1975, 1978), Bailly (1978), Favre (1980) und Schütz (1989) auseinandergesetzt.

Bezüglich der notwendigen Massnahmen der Nachwuchspflege werden die Schwerpunkte je nach Autor anders gesetzt. Nachfolgend eine kurze Zusammenstellung der wichtigsten Massnahmen:

- vorwiegend positive Auslese (Biolley, Borel)
- vorwiegend negative Auslese (Balsiger)
- positive und negative Auslese (Schütz)
- Mischungsregulierung (Biolley, Schütz)
- Astung zur Förderung der Nachwuchspflanzen (Biolley, Balsiger)
- Wertastung (Biolley, Köstler)

Objekte der negativen Auslese sind:

- kranke Pflanzen, insbesondere Tannen mit Krebsbefall (Balsiger, Schütz)
- beschädigte Pflanzen, insbesondere solche mit Fäll- oder Rückeschäden (Borel, Schütz)
- schlechtgeformte Pflanzen (Schütz)

Zu den Objekten der positiven Auslese macht keiner der genannten Autoren nähere Angaben. Biolley spricht in diesem Zusammenhang von den besten Heistern und Stangen, Borel von entwicklungsfähigen Jungpflanzen geeigneter Baumarten. Nach Schütz wird die Auslese im wesentlichen in den Stangengruppen vorgenommen. Sie muss rechtzeitig erfolgen, damit die Stangen durch eine bessere Kronenausformung eine gute Stabilität erreichen (S. 42).

In der Neuenburger Praxis ist man vor einigen Jahren übergegangen von einer traditionellen Nachwuchspflege, welche alle waldbaulich wünschbaren Massnahmen berücksichtigte, zu einer ökonomischen Pflege, welche sich auf die Förderung weniger Elitebäume beschränkt (nach einer Mitteilung der Kreisoberförster Oberson und Augsburgsberger).

1.3.7 Nachhaltigkeit des Plenternachwuchses

Die Nachhaltigkeit des Nachwuchses kann auf die zwei folgenden Arten angegeben werden:

- Angabe des Einwuchses (Schaeffer et al. 1930; Köstler 1956; Schütz 1975)
- Angabe der Pflanzenzahlen im Nachwuchs und Vergleich mit einem Modell (Duc 1991).

Der Einwuchs drückt nach Schütz (1975) den gemeinsamen Einfluss der Stammzahl und der Wachstumsgeschwindigkeit in der Durchmesserstufe unmittelbar unterhalb der Kluppschwelle (12,5-17,4 cm BHD) aus. Weil er durch die Kontrollmethode direkt und ohne zusätzlichen Aufwandaufwand ermittelt wird, kommt ihm in der Einrichtung von Plenterwäldern eine grosse Bedeutung zu. Die Aufnahme der Nachwuchspflanzen nach Höhen- bzw. Durchmesserstufen ist relativ aufwendig und kommt deshalb nach Duc (1991) für die Praxis nur in besonderen Fällen in Frage. Für die wissenschaftliche Untersuchung der Nachhaltigkeit von Plenterwäldern wird sie aber benötigt.

Die waldbauliche Konzeption, die Verjüngungsgunst des Standortes, der Höhen- bzw. der Durchmesserzuwachs der Nachwuchsbäume und die Ausfallrate pro BHD-Stufe beeinflussen die nachhaltige Nachwuchsstammzahl. Die Ausfallrate ist abhängig von der natürlichen Mortalität und von der Eingriffsstärke bei der Nachwuchspflege.

Bisherige Untersuchungen zur Nachhaltigkeit der Plenterstruktur (Schütz 1975) oder des Nachwuchses (Duc 1991) fassten alle Baumarten des Plenterwaldes zusammen oder betrachteten allenfalls die Laub- und Nadelhölzer. Da praktisch alle Untersuchungen im Nachwuchs von Plenterwäldern schon seit Jahrzehnten den Ausfall der Tanne beschreiben, sollte ein Modell weiter nach den beteiligten Hauptbaumarten (Tanne, Fichte und Laubbäume) aufgetrennt werden. Dadurch würde es möglich, das Defizit der Tannenverjüngung zu quantifizieren.

1.4 Zielsetzung, Fragestellungen und Arbeitshypothesen

Das Hauptziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses im Plenterwald zu untersuchen, um eine bessere Grundlage zu haben für

- a) ein waldbaulich und wirtschaftlich sinnvolles Pflegekonzept im Plenterwald
- b) baumartenspezifische, realitätsnahe Nachhaltigkeitsmodelle.

Insbesondere soll untersucht werden, ob und wie die wichtigsten Standorts- und Bestandesfaktoren (Exposition, Standortsgüte, Struktur, Beschattung, Übershirmung, Konkurrenz) den Zustand und die Entwicklung von Nachwuchsbäumen beeinflussen und ob zwischen den Baumarten Tanne und Fichte einerseits und den Auslesebäumen und ihren direkten Konkurrenten andererseits signifikante Unterschiede bestehen.

Die allgemeinen Grundfragen für die vorliegende Arbeit lauten:

- Wie lässt sich die Nachwuchspflege charakterisieren?
- Welche Nachwuchsbäume sind im Plenterwald unbrauchbar?
- Welche Nachwuchsbäume kommen als Ausleseebäume in Frage?
- Wie ist der Zustand des Nachwuchses als Ganzes und seiner Glieder (Einzelbäume)?
- Wie stark hängen die wichtigsten Einzelbaum-Merkmale vom BHD ab?
- Unterscheiden sich Tannen und Fichten hinsichtlich Zustand, Entwicklung und Pflege?
- Welchen Einfluss haben Standorts- und Bestandesfaktoren auf den Nachwuchs und seine Entwicklung?
- Welche Folgerungen können aus der Analyse der bisherigen Pflege und der Nachwuchs-Entwicklung für die optimale Nachwuchspflege im Plenterwald gezogen werden?

Daraus wurden folgende Forschungsfragen abgeleitet (in Klammern Hinweis auf das entsprechende Ergebniskapitel):

- Wie lassen sich die Struktur von Plenterbestand und Nachwuchs charakterisieren? (→ 4)
- Wie greifen die Forstwarte und Förster bei der Nachwuchspflege ein? (→ 5)
- Welche Nachwuchsbäume werden bei der Pflege als Ausleseebäume gewählt? (→ 5.1.)
- Welche Nachwuchsbäume werden bei der Pflege entfernt und aus welchem Grund? (→ 5.2)
- Welche Unterschiede gibt es zwischen Ausleseebäumen und ihren Konkurrenten? (→ 6.7)
- Wie lassen sich Zustand und Entwicklung der Ausleseebäume charakterisieren? (→ 6, 7)
- Wie lassen sich Zustand und Entwicklung der Aushiebe charakterisieren?(→ 8, 9)
- Welche Standorts- und Bestandesfaktoren beeinflussen den Zustand und die Entwicklung von Nachwuchsbäumen im Plenterwald? (→ 6 bis 9)

Als Arbeitshypothesen wurden formuliert:

- Bei der Nachwuchspflege wird häufiger positiv eingegriffen als negativ.
- Als Ausleseebäume werden gesunde, gerade und gutwüchsige Bäume innerhalb von Nachwuchsgruppen gewählt
- In der Ausführung der Pflege gibt es Unterschiede zwischen Forstleuten.
- Tanne und Fichte unterscheiden sich bezüglich Zustand, Entwicklung und Pflege signifikant.
- Zustand und Entwicklung der Ausleseebäume sind abhängig von den wichtigsten Standorts- und Bestandesfaktoren (Standortsgüte, Struktur, Beschattung, Übershirmung, Konkurrenz).

2 Untersuchungsgebiet

2.1 Auswahl und Lage

Für die Untersuchung der Nachwuchspflege wurden Plenterwälder benötigt, die eine befriedigende bis gute Plenterstruktur aufweisen und seit Jahrzehnten systematisch gepflegt wurden. Beides ist im Val-de-Travers, in den ehemaligen Forstkreisen VI und VII des Kantons Neuenburg, der Fall. Die pflegliche Plenterung wurde dort ab 1880 von H. Biolley eingeführt, die Kontrollmethode als angepasste Einrichtungsmethode ab 1888. Die Wälder des Val-de-Travers werden also seit mehr als hundert Jahren geplentert und weisen deshalb meist gute Plenterstrukturen auf. Zudem liegen langjährige Ergebnisse vor über die Entwicklung der Vorräte, der Vorratsanteile, der Zuwächse und Einwüchse.

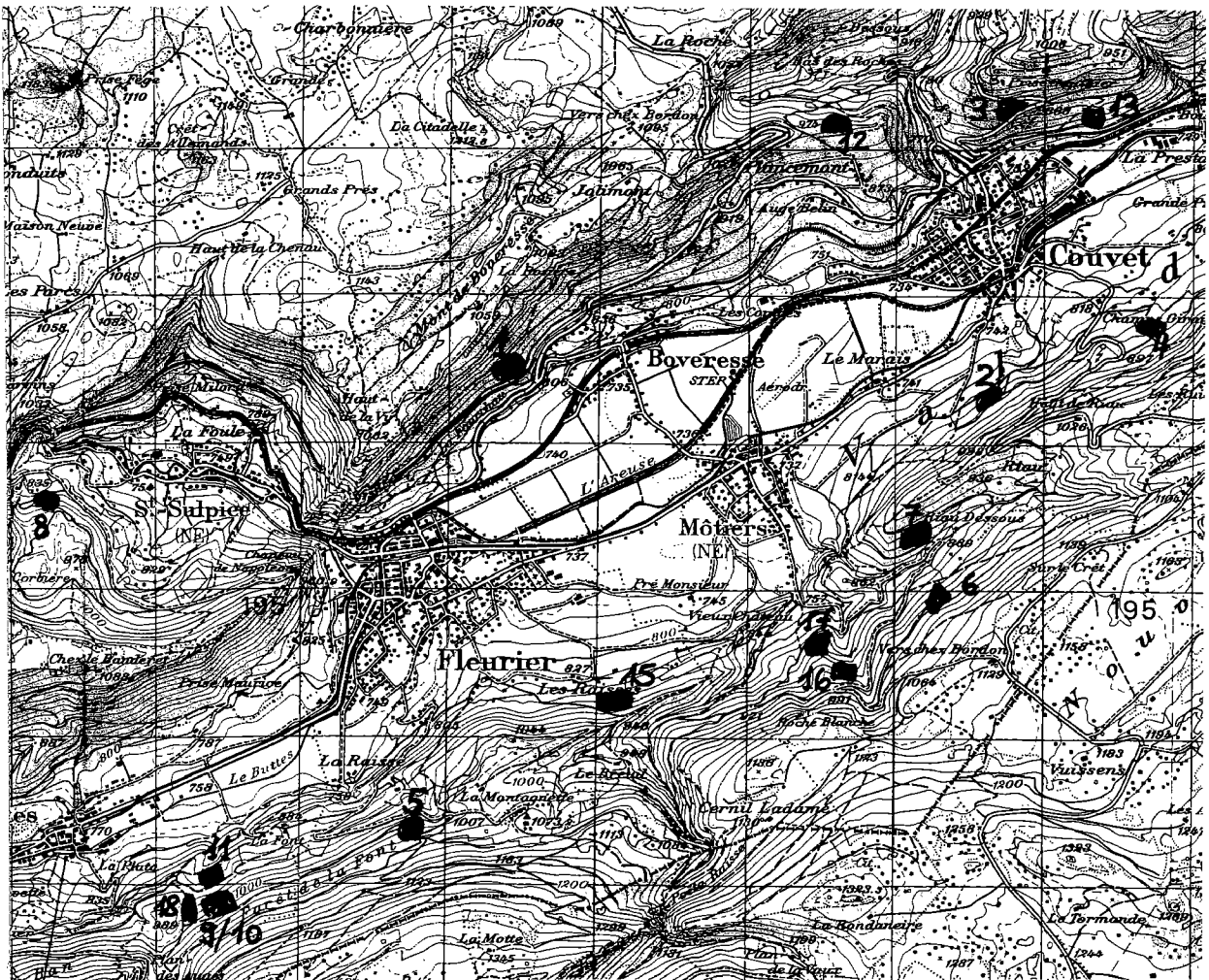


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes, Ausschnitt aus der Landeskarte 1:50'000, Blatt Nr. 241, Val-de-Travers.

Legende: • Untersuchungsfläche

Das ausgewählte Untersuchungsgebiet liegt mit einer Ausnahme (Creux du Van) im zentralen Teil des Val-de-Travers, zwischen Buttes im Westen und Couvet im Osten, in einer Höhenlage von 800 bis 1000 m.ü.M.. Die Talsohle liegt hier um 730 m.ü.M., die Berggipfel um 1400 m.ü.M.. Aufgrund des Talverlaufs von WSW nach ENE liegen 2 Hauptexpositionen vor: der SSE-Hang, "l'endroit" genannt, und der entgegengesetzte NNW-Hang, "l'envers" genannt.

2.2 Klima

Im Untersuchungsgebiet liegt keine meteorologische Messstation, welche alle Klimadaten erfasst. In St. Sulpice und in Couvet befindet sich aber je eine Regenmessstation. Die nächstgelegene, bezüglich Topographie und Höhenlage vergleichbare, automatische Messstation ist jene von La Chaux-de-Fonds. Diese gibt nach Schüepp (1961) die Verhältnisse in einem flachen Jura-Hochtal mit winterlichem Kaltluftsee wieder. Diese Charakterisierung trifft für das Val-de-Travers für die Talsohle zu, nicht aber für die Hangwälder zwischen 800 und 1000 m.ü.M. Die Temperaturwerte für das Untersuchungsgebiet liegen darum eher über den in Tab. 2.2-2 angegebenen Werten. Zur besseren Charakterisierung des regionalen Klimas wurden die Klima-Mittelwerte der Station La Chaux-de-Fonds (Abb. A.2.2-2) und die Entwicklung der Klimawerte von 1961 bis 1990 (Abb. A.2.2-3) im Anhang graphisch wiedergegeben (aus Aschwanden et al. 1996). Die Jahresniederschläge im Untersuchungsgebiet betragen im Zeitraum 1901 bis 1940 zwischen rund 1280 und 1550 mm (Uttinger 1965) und verteilen sich regelmässig auf die vier Quartale:

Tab. 2.2-1: Mittlere Niederschlagsmenge (mm) einiger regionaler Regenmessstationen.

| Station | Höhe ü.M. | 1.Quartal (Jan-Mar) | 2.Quartal (Apr-Jun) | 3.Quartal (Jul-Sep) | 4.Quartal (Okt-Dez) | Jahr (mm) |
|-----------------|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| St-Sulpice | 750 | 381 | 383 | 409 | 374 | 1547 |
| Couvet | 750 | 293 | 309 | 359 | 320 | 1281 |
| Champ-du-Moulin | 620 | 297 | 321 | 366 | 336 | 1320 |
| La Brévine | 1070 | 338 | 351 | 400 | 357 | 1446 |

Die Niederschlagsmenge hat sich in Couvet in den Perioden 1901 bis 1930, 1931 bis 1960 und 1961 bis 1990 kaum verändert (vgl. Anhang, Tab. A.2.2-1). Der Niederschlag ist ziemlich regelmässig auf alle Monate verteilt, mit einem Minimum von 89 mm im Oktober und einem Maximum von 125 mm im Dezember (Abb. A.2.2-1 im Anhang). Die Zahl der Tage mit Niederschlag > 1 mm betrug in Couvet in der Periode 1961-1990 rund 140 Tage pro Jahr.

Die Jahresmitteltemperaturen der Station La Chaux-de-Fonds variierten in den 6 ersten Dezenien dieses Jahrhunderts zwischen 6.19 und 7.09, mit einer Mitteltemperatur von rund 6,7 °C. Aussagekräftiger sind die durchschnittlichen Monatsmitteltemperaturen (Tab. 2.2-2).

Tab. 2.2-2: Monatsmitteltemperaturen der Station La Chaux-de-Fonds.

| Periode | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 1901-60 | -1.7 | -1.1 | 2.1 | 5.5 | 10.4 | 13.5 | 15.5 | 14.9 | 11.6 | 6.9 | 2.3 | -0.5 |
| 1961-90 | -2.3 | -1.3 | 0.6 | 3.9 | 8.2 | 11.3 | 13.9 | 13.4 | 10.9 | 7.0 | 1.4 | -1.6 |

Die Periode 1961 bis 1990 war mit einer Mitteltemperatur von 5,5 °C etwas kälter als die Periode 1901 bis 1960 (Abb. 2.2-2 im Anhang). Dies ist nicht etwa auf eine klimatische Abkühlung, sondern vielmehr auf die Verlegung der Klimamessstation vom Stadtzentrum in die Peripherie zurückzuführen.

Weitere Kennzeichen des eher rauen, humiden Klimas von La Chaux-de-Fonds ist eine relativ lange Sonnenscheindauer (1715 Stunden), zurückzuführen auf die Nebelarmut im Herbst und Winter, und im Mittel der Jahre 1965 bis 1981 über hundert Tage mit Schneebedeckung, wovon an rund 30 Tagen mehr als 50 cm.

2.3 Geologie

Der Jura ist ein Mittelgebirge, welches sich über 300 km, von Chambéry in Frankreich bis in den Schaffhauser Randen, erstreckt, und die nordwestliche Begrenzung der Schweiz bildet (Labhart 1982). Geologisch besteht der Schweizer Jura aus mesozoischen Sedimenten, welche vor 220 bis rund 65 Mio. Jahren abgelagert wurden. Die Trias als älteste Formation besteht aus terrestrischen und marinen Ablagerungen. Die Jura- und die Kreideformation umfassen ausschliesslich marine Sedimente, Tone, Mergel und Kalke. Tertiäre Sedimente (Molasse) und diluviale Ablagerungen (Moränen und Schotter) kommen in unbedeutenden Mengen zerstreut im ganzen Jura vor. Chemisch bestehen die Jura- und Kreidesedimente v.a. aus CaCO_3 (Kalziumkarbonat), das bis 98 % ausmachen kann. Tektonisch gliedert sich der Jura in Faltenjura (Kettenjura) und Tafeljura. Im Faltenjura sind die Schichten durch die Faltung stark zermalmt worden, im Gegensatz zum Tafeljura, der nur eine horizontale Verschiebung erlitten hat. Das Untersuchungsgebiet liegt im Faltenjura, zwischen der ausgeprägten Falte Le Chasseron-Le Soliat (mit Erhebungen bis 1610 m ü.M.) im Südosten und der schwächer ausgeprägten Falte, welche sich im Nordwesten von der Montagne de Buttes über den Mont de Couvet zum Solmon zieht (bis 1250 m ü.M.). Eine umfassende geologische und tektonische Beschreibung des Gebietes gibt Rickenbach (1925). Tektonisch besteht das Val-de-Travers aus einer ausgeprägten Faltenmulde (Synklinale), welche zwei bedeutende Verwerfungen (parallel zur Synklinale) aufweist. In der Tat sind diese für den komplizierten tektonischen Aufbau des Nordhanges in der Gegend um Couvet und Môtiers verantwortlich. Die südliche Verwerfung verläuft in etwa mitten durch den Gemeindegwald von Couvet. Darunter findet sich als geologisches Grundgestein eine Untere Süsswassermolasse (Aquitainen), welche grösstenteils von Moränenmaterial der Alpengletscher (Seitenarm des Rhonegletschers) bedeckt ist. Oberhalb der Verwerfung folgen sich die Schichten des oberen Juras (Kimmeridgien, Portlandien, Purbeckien), der unteren (Valangien, Hauterivien) und der mittleren Kreide. Im Mittelteil sorgt eine Blockschuttzone für standörtlich unterschiedliche Bedingungen. Am Südhang sind die geologischen Verhältnisse etwas verschieden, da hier keine Molasse ansteht und die Schichten parallel zum Hang verlaufen. In Couvet dominiert der obere Jura (Portlandien), in Boveresse die untere Kreide, welche aber stellenweise auch von Moränenmaterial überdeckt ist.

2.4 Boden

Eine umfassende Darstellung der Böden jurassischer Buchenwaldgesellschaften gibt Bach (1950). Für die Bodenbildung auf Kalkgestein ist vor allem die Auflösung des Kalkes kennzeichnend. Die Löslichkeit des Kalks steigt mit zunehmendem CO_2 -Gehalt des Wassers. Der CO_2 -Gehalt des Wassers seinerseits nimmt mit wachsendem CO_2 -Druck in der Atmosphäre über dem Wasser zu und sinkt mit steigender Temperatur des Wassers. Die Entkarbonatung der Kalkgesteine verläuft deshalb umso rascher, je grösser die Regenmenge am betreffenden Ort, je tiefer die Bodentemperatur und je höher die CO_2 -Produktion im Boden zur Zeit der Hauptniederschläge ist. Als charakteristische Böden des Schweizer Jura bezeichnet Bach Humuskarbonatböden und Rendzinen. Die chemischen und physikalischen Unterschiede zwischen diesen Böden gehen aus einer Arbeit von Leuenberger (1949) hervor. Der Humuskarbonatboden entsteht vorwiegend auf Kalkgestein oder Dolomit, weist praktisch keinen Ton und deshalb eine kleine Wasserkapazität auf. Als skelettreicher, warmer Boden neigt er zur Austrocknung. Die Rendzina dagegen entsteht überwiegend auf Mergel, enthält Ton und Ton-Humus-Komplexe und weist deshalb eine grosse Wasserkapazität auf. Der hohe Anteil der Feinerde in Kombination mit dem Tongehalt ergibt einen relativ frischen Boden.

Nach vollständiger Entkarbonatung der Feinerde degradiert die Rendzina zur Braunerde. Diese kann sich auch auf Moränenablagerungen ausbilden. Die Braunerden bilden sich im Jura v.a. dort aus, wo die mechanischen Kräfte der Gebirgsabtragung in Kombination mit der chemischen Verwitterung in Muldenlagen, auf Hangterrassen und am Fuss der Steilhänge ein entkarbonatetes, mineralisches Substrat angehäuft haben (Leuenberger 1949, S. 62).

2.5 Vegetation

Die natürlichen Waldgesellschaften des Schweizer Jura werden von Moor (1952) beschrieben. Um den Vergleich zum heute gebräuchlichen Standardwerk von Ellenberg und Klötzli (1972), im folgenden mit E+K abgekürzt, zu ermöglichen, werden die entsprechenden Nummern der Waldgesellschaften in Klammern angegeben. Moor schreibt: "Den Hauptanteil am jurassischen Waldkleid haben die Buchenwälder. Buchenwälder bilden die Klimaxvegetation, die weite Flächen der ausgedehnten Jurahänge bedeckt. ... Fagetum silvaticae [Cardamino-Fagetum, E+K 12] und Abieto-Fagetum [Abieti-Fagetum typicum, E+K 18] sind die jurassischen Waldgesellschaften schlechthin, die Klimaxgesellschaften der unteren und mittleren Montanstufe. Sie entwickeln sich überall dort, wo ausser dem Klima kein anderer Faktor einseitig hervortritt, sondern wo mittlere Verhältnisse herrschen." Die untere Montanstufe reicht im Val-de-Travers von rund 800 bis 1000 m ü.M. in Südexposition und von rund 600 bis 800 m ü.M. in Nordexposition. Darüber schliesst sich die mittlere montane Stufe an. Die untersuchten Plenterwälder des Val-de-Travers befinden sich alle in der unteren bis mittleren Montanstufe (vgl. Kap. 3.2). Die Klimaxwaldgesellschaften dieser beiden Vegetationsstufen werden von Moor (1952) folgendermassen charakterisiert:

"Das Fagetum silvaticae ist die Klimaxassoziation der unteren Montanstufe im Jura. Es besiedelt sowohl Hänge mittlerer Neigung (Subsoz. typicum) als auch ebene Lagen oder Muldenlagen (Subsoz. allietosum). ... Das Fagetum silvaticae typicum stockt auf Hängen mittlerer Neigung. Die Buche hat nirgends so grosse Reproduktionskraft wie hier. Die Tanne spielt eine noch untergeordnete Rolle, die Fichte war ursprünglich nur eingesprengt. Das Fagetum typicum besitzt keine Differentialarten."

"Das Abieto-Fagetum ist die Klimaxassoziation der mittleren Montanstufe. Hier muss sich die Buche die Konkurrenz der Tanne gefallen lassen. Als Charakterarten können Festuca altissima und Elymus europaeus gelten, ... Das Abieto-Fagetum festucetosum ersetzt das Fagetum typicum in der mittleren Montanstufe und bildet die Merkmale des jurassischen Tannen-Buchenwaldes am reinsten aus. Buche und Tanne entwickeln hier die schönsten Formen. Als Differentialart kann einzig Pyrola secunda gelten."

Richard (1956) zeigt für den Neuenburger Jura, dass die Kenntniss der Waldgesellschaft für eine differenzierte waldbauliche Behandlung der Wälder nicht genügt, da innerhalb gewisser Gesellschaften Untergesellschaften mit z.T. stark unterschiedlichen Standortverhältnissen existieren. Er dokumentiert diese Aussage mit der ökologischen Beschreibung von sechs Subassoziationen des Abieti-Fagetums und ihrer unterschiedlichen Eignung für den Fichtenanbau (Tab. 2.5-1).

Tab. 2.5-1: Vergleich der Subassoziationen des Abieti-Fagetums (nach Richard, 1956).

| Subassoziation | ökologische Faktoren | Hauptbaumarten ¹ | Zuwachs |
|--|---|--------------------------------------|------------------|
| festucetosum (E+K 18a) | N-Exp., Mittelhang, Boden weder tonhaltig noch skelettreich | 1.Bu 2.Ta 2.Fi 3. BAh | mittel bis gross |
| elymetosum | S-Exp., Ebene oder schwach geneigt, Boden tonhaltig, aber gut durchlässig | 1.Bu 2.BAh 3.Ta 4. Fi 5.Es 5.M'Be | mittel |
| petasitetosum (E+K 18 → 49) | N-Exp., Mittelhang oder Hangfuss, Boden mergelig und kompakt | 1.Ta 2.Bu 3.BAh 4. Fi 5.Es | gross |
| valerianetosum (E+K 18 → 14) | Steilhanglagen, Boden sehr durchlässig, wenig Feinerde | 1.Fi 1.Bu 2.Ta 3. BAh 4.M'Be | klein |
| melicetosum | S-Exp., Hänge mittlerer bis grosser Steilheit | 1.Bu 2.Fi 3.Ta 4. BAh | klein bis mittel |
| luzuletosum (E+K 18 → 19) | silikathaltige alpine Moräne, degradierte Braunerden | 1.Ta 2.Bu 2.Fi | gross |

¹ Die angegebenen Ziffern geben die Reihenfolge an, in der die Baumarten an der Bestandeszusammensetzung beteiligt sind.

Richard (1965) unterscheidet auf der pflanzensoziologischen Karte für den Kanton Neuenburg innerhalb des typischen Buchenwaldes (Fagetum silvaticae typicum nach Moor 1952) die Subassoziationen dentarietosum, elymetosum und mellitetosum. Nach einer brieflichen Mitteilung von Richard (1995) können diese Subassoziationen folgendermassen charakterisiert werden:

Tab. 2.5-2: Vergleich der Subassoziationen des Fagetum typicum (nach Richard 1965 und brieflicher Mitteilung)

| Subassoziation | ökologische Faktoren | Hauptbaumarten ¹ | Zuwachs |
|---------------------------------------|--|---|-------------------|
| typicum (E+K 12a) | alle Expositionen, v.a. Mittelhang, skelettreicher, lockerer Kalkboden | 1.Bu 2.Bah/ Es/ Ta 3.Sah/ Li/ BUI 4.Fi | gross |
| dentarietosum (E+K 12 → 13) | alle Expositionen, steiler Mittelhang, Boden skelettreich | 1.Bu 2.Li 3.Es/BAh 4.BUI/SAh/Ta | mässig bis mittel |
| elymetosum (E+K 12a → 8f) | S-Exp., schwach geneigte Hänge, Boden tonhaltig, aber durchlässig | 1.Bu 2.BAh 3.Ta 4.Fi 5.Es 5.M'Be | gross |
| mellitetosum (E+K 12e → 14) | S-Exp., Mittelhang, Boden skelettreich, sehr durchlässig | 1.Bu 2.Ta 3.MBe 4.Fö | mässig bis mittel |

Der Hinweis auf die Waldgesellschaften nach Ellenberg und Klötzli bedeutet nicht, dass die Subassoziationen diesen Gesellschaften entsprechen, sondern dass sie gewisse Ähnlichkeiten dazu aufweisen.

2.6 Standortspotential

Angaben zum Standortspotential wurden den Arbeiten von Keller (1978), Leibundgut (1983) und Bert (1992b) entnommen. Die Hauptbaumarten Buche, Fichte und Tanne weisen in den Klimax-Waldgesellschaften folgende Oberhöhen auf:

Tab. 2.6-1: Oberhöhe von Buche, Fichte und Tanne in den wichtigsten Waldgesellschaften

| Autor | Keller 1978 | Leibundgut 1983 | | | Bert 1992b |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------|-------|---------------------------|
| Oberhöhe | H _{dom} , 50 J | H _{dom} , 90 J. | | | H _{dom} , 100 J. |
| Baumart | Buche | Buche | Fichte | Tanne | Tanne |
| Cardamino-Fagetum typic. | 19,7 | 25,1 | 29,3 | 30,7 | 29,1 |
| Abieti-Fagetum typicum | 17,9 | 24,6 | 32,1 | 30,2 | 29,6/30,6 |

Die beiden Klimax-Waldgesellschaften unterscheiden sich also in ihrer typischen Variante bezüglich Höhenwachstum nicht erheblich. Die Buche erreicht im Cardamino-Fagetum nur unwesentlich grössere Baumhöhen als im Abieti-Fagetum; allerdings weist sie dort einen unterschiedlichen Höhenwuchsgang auf, so dass die erreichten Endhöhen praktisch gleich sind. Auch die Tanne erreicht auf beiden Standorten ähnliche Baumhöhen. Die Fichte dagegen ist nach den Angaben von Leibundgut (1983) im Abieti-Fagetum wuchskräftiger. Keller (1978) dagegen weist den Baumarten Buche (19,5) und Fichte (23,5) im Cardamino-Fagetum etwas höhere Bonitäten (= Oberhöhe im Alter 50) zu als im Abieti-Fagetum (18 für Buche bzw. 21 für Fichte). Diese Bonitäten entsprechen einem durchschnittlichen Gesamalterszuwachs von rund 11 bis 12 m³/ha*Jahr für die Fichte und 7 bis 8 m³/ha*Jahr für die Buche (Brassel und Brändli 1999). Der nachhaltige mittlere Zuwachs beträgt nach Bert (1992b) 11 m³/ha*Jahr im Cardamino-Fagetum und 12 m³/ha*Jahr in der feuchteren Variante des Abieti-Fagetums. Diese Werte liegen deutlich über den langjährigen Zuwachsmittelwerten, welche durch die Kontrollmethode für die Wälder des Val-de-Travers ausgewiesen werden (vgl. Kapitel 2.8.).

2.7 Waldgeschichte

Die umfassendste Darstellung der Waldgeschichte des Val-de-Travers gibt die Festschrift mit dem Titel "Die Entwicklung der Wälder im Val-de-Travers - Von der Waldausbeutung zur pfleglichen naturgemässen Waldbewirtschaftung", welche anlässlich der Verleihung des Sophie und Karl Binding-Preises für vorbildliche Waldpflege an die Region Val-de-Travers erstellt wurde (Favre, 1990).

Die ersten geschichtlichen Aufzeichnungen gehen auf die Zeit der Römer zurück, doch haben Ausgrabungen in der Nähe von Couvet ergeben, dass sich der Mensch bereits vor rund 50'000 Jahren (mittlere Steinzeit) in der Gegend aufhielt. Die eigentliche Geschichte des Val-de-Travers beginnt jedoch mit den Benediktinern, welche um das Jahr 1000 als Kolonisten das Priorat Saint-Pierre in Môtiers errichteten. Am Anfang waren die Wälder ein Hindernis für die Kolonisation. Späteren Kolonisten wurden von den jeweiligen Herren gewisse Rechte gewährt, welche ihnen die dauernde Nutzung des urbanisierten Bodens garantierten. Dessen Abgrenzung war dabei genau umschrieben. Die Bewohner des Val-de-Travers erhielten zudem das Recht, sich frei mit Holz zu versorgen und ihr Vieh auf dem ganzen Gebiet weiden zu lassen, mit Ausnahme der an Private verpachteten Teile. Diese Nutzungsrechte, welche den ersten Siedlern zugeteilt worden waren, gingen mit der Zeit an alle Einwohner über, später an die Gemeinde als Vertreterin der Einwohnerschaft. Die Ausübung dieser Rechte erwies sich durch das Anwachsen der Bevölkerung und ihrer Bedürfnisse mehr und mehr als fragwürdig. Die Angst um eine genügende Holzversorgung war seit dem 13. Jahrhundert der wichtigste Antrieb für alle Massnahmen zur Erhaltung des Waldes. Die wichtigsten Hindernisse für die Erhaltung des Waldes waren das Recht auf freie Holznutzung, der freie Weidegang des Viehs und der Stehendverkauf des Holzes. Im Laufe des 15. und 16. Jahrhunderts hatte die freie Holznutzung immer stärker abgenommen, weil mit der Einwilligung der Grafschaft Môtiers Land an einzelne Bürger verpachtet wurde. Diese Verkleinerung des zu nutzenden Gebietes alarmierten die Six-Communes (Couvet, Môtiers, Boveresse, Fleurier, St.-Sulpice und Buttes), welche dringend um die Pacht des verbliebenen Gebietes (inkl. Wald) ersuchten und sie um 1520 auch erhielten, um die freie Holznutzung für die Allgemeinheit (bzw. ihre Bürger) zu sichern. Die neuen Besitzverhältnisse änderten jedoch nichts an den Nutzungsrechten, denn die freie Holznutzung war so zur Gewohnheit geworden, dass sie allgemeines Recht für alle Einwohner der Grafschaft blieb. Um der ungeordneten Holznutzung ein Ende zu setzen, erhielt die Korporation der Six-Communes 1567 die Erlaubnis, oberhalb Buttes rund 30 ha Wald als Bannwald auszuscheiden. Die Gemeinden erhielten ihrerseits das Recht, gewisse Gebiete als Bannwald zu halten. Der freie Holzbezug fand aber erst 1765 ein Ende, nachdem einem Ansuchen der Gemeinde Couvet an die Regierung in Neuenburg um Aufteilung der gemeinschaftlichen Wälder und Weiden entsprochen wurde.

Nach der Aufhebung des Rechts auf freien Holzbezug gaben die Gemeinden ihren Einwohnern die Möglichkeit, sich mit dem benötigten Holz an Holzversteigerungen zu versorgen. Die Gemeindevorsteher bezeichneten die Bäume, die zum Verkauf gelangten, und bildeten Verkaufslöse von einem oder mehreren Bäumen je nach ihrer Grösse, so dass die Bedürfnisse des Käufers durch den Kauf eines Loses befriedigt werden konnten. Dabei war allerdings die Nutzung des Holzes durch die Ersteigerer für den Wald eine Katastrophe, denn die Ersteigerer waren bestrebt, die grösstmöglichen Schäden anzurichten, denn es war zugestanden, dass die beschädigten Bäume dem Ersteigerer gehörten! Einige Gemeinden entschlossen sich deshalb, das Holz vor dem Verkauf zu schlagen. Wegbereiter in dieser Sache waren die Verwalter der Six-Communes, die bereits ab 1801 auf den Verkauf geschlagenen Holzes umstellten. Doch erst 70 Jahre später folgten andere Gemeinden, durch den Grossen Rat des Kantons gestützt, dem guten Beispiel.

In der Beweidung durch das Vieh sah man lange Zeit eine geringere Gefahr als in der freien Holznutzung, trotz der Vernichtung des Jungwuchses durch Huftritt und Abfressen. Deshalb waren selbst die gebannten Wälder weiterhin dem Weidegang unterworfen. Erst 1807 wurde unter der napoleonischen Regierung jeder Weidegang im Val-de-Travers verboten, aber 1818 erhielten die Gemeinden wieder freie Verwaltung über ihre Wälder. So dauerte es in den meisten Gemeinden bis 1869, bis die Waldweide durch das erste kantonale Forstgesetz verboten wurde.

Ein letztes Hindernis zur Einführung einer geregelten Forstwirtschaft bildeten die Gemeinden, welche stark auf ihrer Autonomie beharrten und sich gegen jede Einmischung der Regierung in ihre inneren Gemeindeangelegenheiten wehrten. Erst nach der Einführung der Republik wurde 1864 ein Vorschlag für ein kantonales Forstgesetz gemacht, dem jedoch von Seiten der Gemeinden grosser Widerstand erwuchs, da sie sich als geschädigt erachteten. Nach mehreren Jahren des Werdens wurde ein umgearbeitetes Projekt 1869 endlich angenommen, und der Kanton Neuenburg gelangte so zu seinem ersten Forstgesetz.

Gemäss diesem Forstgesetz schlossen sich die Gemeinden zum Forstkreis Val-de-Travers zusammen. Als erster Kreisförster wurde M. Neukomm ernannt, ein Schaffhauser, der seine Studien in Deutschland absolviert hatte und von dort den Gedanken des Altersklassenwaldes als Inbegriff der geregelten Fortwirtschaft mitbrachte. Mit Erstaunen stellte er fest, dass es im Val-de-Travers grösstenteils gemischte Wälder gab, in denen verschiedene Altersstufen im grössten Durcheinander beieinander standen. Er setzte sich zum Ziel, dieser Unordnung abzuhelpfen und die bis dahin übliche unregelmässige Plenterung durch einen geordneten Schlagbetrieb zu ersetzen. Ziel dieser Waldbewirtschaftung war der "Normalzustand" des Altersklassenwaldes, d.h. ein flächengleicher Anteil aller Altersklassen. Um dieses Ziel möglichst schnell zu erreichen, teilte er die Wälder entsprechend der mittleren zu erwartenden Umtriebszeit in 100 Parzellen am Nordhang und 80 Parzellen am Südhang ein mit der Absicht, jedes Jahr eine Parzelle kahlzuschlagen. Diese Art der Bewirtschaftung erforderte kostspielige Pflanzungen, um den durch den Kahlschlag zerstörten natürlichen Anwuchs zu ersetzen. Dazu eignete sich auf den Kahlflächen nur die frostharte Fichte, nicht jedoch die natürlichen Hauptbaumarten Tanne und Buche. Durch diese Schlagmethode wurden damals künstliche Fichten-Reinbestände begründet. Diese Waldgebiete lassen sich noch heute vom Gegenhang aus unschwer erkennen.

Diese Periode dauerte nur gerade 10 Jahre, danach kehrte Forstinspektor Neukomm nach Schaffhausen zurück. Sein Nachfolger wurde Henry Biolley, dessen forstliche Ausbildung in Zürich sich grundsätzlich von derjenigen seines Vorgängers unterschied. Als Biolley Ende 1880, erst 22 Jahre alt und deshalb provisorisch gewählt, sein Amt als Forstinspektor antrat, war er voll überzeugt, dass sich die Waldbewirtschaftung nach den Naturgesetzen auszurichten hätte. An der Weltausstellung 1879 in Paris hatte er erstmals von der Kontrollmethode des französischen Forstmannes Gurnaud Kenntnis genommen. Dass er sich in der Folge einerseits für die Plenterung, andererseits für die Kontrollmethode entschieden hat, beruhte weder auf einer vorgefassten Idee noch auf einer vorübergehenden Begeisterung, sondern vielmehr auf einer kritischen Prüfung der forstwirtschaftlichen Verhältnisse seiner Zeit. Seine Schlussfolgerungen können im folgenden Zitat zusammengefasst werden: "Nun aber ist es nicht Schwärmerei für die Plenterung, die mich zur Kontrollmethode geführt hat, sondern es ist vielmehr die Kontrolle, die mich zur Plenterung geführt hat, weil die Kontrolle mich gelehrt hat, den Wald selber nach dem Geheimnis seiner Behandlung zu fragen." Mit dem Einverständnis seines Vorgesetzten, des neuenburgischen Kantonsforstinspektors, begann Biolley 1888 die Plenterung als waldbauliche Betriebsart und die Kontrollmethode als die ihr bestens angepasste Einrichtungsmethode im Val-de-Travers anzuwenden. Der erste Wirtschaftsplan nach der Kontrollmethode war 1888 derjenige für den Wald der Six-Communes, zwei Jahre später folgte der erste Wirtschaftsplan für Couvet, 1891 derjenige von Boveresse. Bis 1912 waren die Wälder aller Gemeinden des heutigen siebten Neuenburgischen Forstkreises nach der Kontrollmethode eingerichtet. Die systematische Einführung der pfleglichen Plenterung ("jardinage contrôlé") liegt also mehr als 100 Jahre zurück und hat mittlerweile erstaunliche Resultate hervorgebracht. Das Val-de-Travers im allgemeinen und Couvet im speziellen gelten heute als Mekka der Plenterung. Die Verleihung des Binding-Preises 1990 für vorbildliche Waldpflege war deshalb eine verdiente Auszeichnung einerseits für die Weitsicht und das unermüdliche Schaffen eines Henry Biolley, andererseits aber auch für eine Region, deren Bewohner seit Jahrhunderten um das Wohl ihrer Wälder besorgt waren.

2.8 Waldzustand

Über die Entwicklung des Waldzustands im Val-de-Travers unter dem Einfluss der Plenterung geben mehrere Schriften Auskunft (Tab. 2.8-1) :

Tab. 2.8-1: Übersicht über die Literatur zur Entwicklung der Plenterung im Val-de-Travers.

| Autor | Jahr | Gemeinde/Gebiet | Geltungsbereich |
|--------------|------|---------------------|---|
| Favre E. | 1932 | Boveresse | südexponierte Wälder |
| Favre E. | 1944 | Couvet | nordexponierte Wälder |
| Farron P.-E. | 1980 | Les Verrières | höher gelegenen Wälder (oberhalb 1000 m ü.M.) |
| Favre J.-L. | 1980 | öffentliche Wälder | Kanton Neuenburg, Erfolg der Kontrollmethode |
| Oberson | 1984 | Couvet | nordexponierte Wälder, nach rund 100 Jahren Plenterung |
| Favre J.-L. | 1990 | alle Gemeindewälder | Val-de-Travers |

Die Entwicklung aller Gemeindewälder im Zeitraum 1912 bis 1987 (75 Jahre) ist beeindruckend. Nach Favre (1990) stieg der Durchschnittsvorrat von 256 sv/ha (1912) auf 341 sv/ha (1987), was einer Vorratsvermehrung von 33 % entspricht. Der heutige Vorrat liegt nahe beim Optimum. Die Zusammensetzung des Vorrates hat sich ebenfalls merklich verbessert: der Anteil des Starkholzes (GB mit BHD > 52.4 cm) hat auf Kosten des Schwach- (PB mit 17.5 bis 32.4 cm BHD) und Mittelholzes (BM mit 32.5 bis 52.4 cm BHD) deutlich von 20 auf 36 % zugenommen. Für die ganze Region tendiert die Entwicklung zu einem Mittel von 20% Schwach-, 40% Mittel- und 40% Starkholz. Je nach der Standortsgüte und wirtschaftlicher Konzeption kann der angestrebte ideale Starkholzanteil stark schwanken.

Die Angaben in Tab. 2.8-2 zeigen die Entwicklung der Gemeindewälder von Couvet im Verlauf der letzten hundert Jahre unter dem Einfluss der kontrollierten Plenterung. In Couvet stockten 1890 mehrheitlich gemischte, stufige Wälder (vgl. Kap. 2.7). Diese waren aber wesentlich stammzahlreicher und starkholzärmer als die heutigen Wälder. Zudem waren die Wälder des südexponierten "Endroits" noch stark von der früheren Beweidung geprägt; darauf weisen der eher niedrige Vorrat von 232 sv/ha und der hohe Fichtenanteil hin. Die Wälder des nordexponierten "Envers" dagegen wiesen 1890 mit 392 sv/ha bereits einen hohen mittleren Vorrat auf. Dieser Vorrat hat sich in den letzten Jahrzehnten auf einem Wert von rund 360 sv/ha eingependelt.

Tab. 2.8-2: Entwicklung der wichtigsten forstlichen Kenngrößen und Vergleich der Wälder in Nord- und Süd-Exposition in den Gemeindewäldern von Couvet.

| Bewirtschaftungsreihe | I (Envers = Nordhang) | | II (Endroit = Südhang) | |
|----------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|--------------|
| | 1890 | 1992 | 1890 | 1992 |
| Aufnahmejahr | 1890 | 1992 | 1890 | 1992 |
| Vorrat sv/ha | 392 | 372 | 232 | 332 |
| Mittelstamm sv | 1,1 | 1,4 | 0,8 | 1,1 |
| Vol.-Anteil % PB/ MB/ GB | 24 / 49 / 27 | 17 / 28 / 55 | 43 / 49 / 8 | 23 / 39 / 38 |
| BA-Anteil Vol% Ta /Fi/ Bu | 67 / 33/ 0 | 58 / 30 / 12 | 29 / 59/ 12 | 42 / 33 / 25 |
| mittlerer Zuwachs sv/ha*a | 8,1 (6,0 - 10,8) | | 6,0 (4,8 - 7,3) | |
| mittlerer Einwuchs sv/ha*a | 1,4 (1,0 - 2,3) | | 1,6 (1,1 - 2,7) | |
| mittlere Nutzung sv/ha*a | 9,8 (8,3 - 11,7) | | 6,7 (5,6 - 7,4) | |

Legende:

PB: petit bois (17,5-32,4 cm)

MB: moyen bois (32,5-52,4 cm)

GB: gros bois (≥ 52,5 cm BHD)

In beiden Bewirtschaftungsserien ist der Starkholzanteil und der Mittelstamm angestiegen. Nicht weniger bemerkenswert ist die Vergrösserung des Laubholzanteils von 0 auf 12 Vorratsprozenten in Nord- und von 12 auf 25 % in Südexposition. Für den markanten Rückgang der Fichte am Südhang gibt es mehrere Erklärungen: zum einen war die Fichte als verbissresistentere und lichtbedürftigere Baumart durch die frühere Beweidung von lichten Wäldern gegenüber der Tannen und Buchen bevorteilt und darum unnatürlich stark am Bestockungsaufbau beteiligt. Zum andern wies die Fichte seither wegen der Bekämpfung der Stamm- und Wurzelfäulen in den ehemals beweideten Wäldern und wegen natürlicher Ausfälle infolge der Trockenheit Ende der vierziger Jahre (Nagel 1950) grössere Ausfälle auf als alle andern Baumarten.

Auf Grund des in den öffentlichen Wäldern mittels der Kontrollmethode errechneten Zuwachses kann man annehmen, dass seit anfangs des Jahrhunderts der gesamte Volumenzuwachs in der Region unter dem Einfluss der Vorratsvermehrung nach und nach von 40'000 auf 45'000 m³ pro Jahr angestiegen ist. Die Holznutzungen sind im Gegensatz dazu recht stabil geblieben und betragen 35'000 m³ jährlich. Heute drängt sich aber eine Erhöhung der Nutzungen auf, um einen übermässig grossen Vorrat zu vermeiden. Ein solcher wäre ein Hindernis für die angestrebte Plenterstruktur. Deshalb hat der zuständige Kreisforstinspektor Oberson beschlossen, den Ziel-durchmesser auf 80 cm festzulegen und die stärkeren Bäume innerhalb zweier Perioden zu ernten. Neben dem Problem der übergrossen Vorräte bzw. der zu grossen Anteile an sehr starkem Holz (mit BHD > 72,5) bereitet die Abnahme der Widerstandskraft vieler Waldbäume (welche unter dem Schlagwort "Waldsterben" grosse Bekanntheit erlangte) und der Ausfall des Nachwuchses infolge starker Wildschäden dem Forstdienst die grössten Probleme.

Im Val-de-Travers sind Waldschäden zuerst bei den Weisstannen aufgetreten, als Folge der Trockenheit von 1976. Diese Erscheinung hat sich 1983 auf andere Baumarten ausgedehnt. Obwohl die Ursachen wissenschaftlich noch nicht belegt sind, vermutet man, dass die Luftverschmutzung neben den ungünstigen meteorologischen Verhältnissen sowie das Zusammenwirken beider Faktoren hauptsächlich für die Verschlechterung der Vitalität des Waldes verantwortlich sind. Nach einer relativ niederschlagsreichen Periode Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre haben sich die Bestände augenscheinlich wieder erholt.

Die Wildschäden wurden bereits früher festgestellt und sind deshalb besser bekannt. Bereits zu Beginn der 60er Jahre stellten sich die ersten Anzeichen des gestörten Gleichgewichts zwischen Wald und Wild im östlichen Teil des Val-de-Travers ein. Seit Mitte der 70er Jahre war annähernd der gesamte Tannen- Nachwuchs von weniger als 1,3 m Höhe im Verschwinden begriffen, und zwar an beiden Talhängen bis auf eine Meereshöhe von 1100 m ü.M.. Auch die andern Baumarten waren in unterschiedlichem Ausmass geschädigt. Nach Intensivierung der Rehjagd ab 1980 nahm der Bestand im Val-de-Travers bis 1988 von 363 auf 125 (Reduktion um fast zwei Drittel) ab. Eine Nachwuchsinventur im Jahr 1991 ergab für die Tanne nur noch geringe Verbissbelastungen, für die Laubbäume dagegen nach wie vor jährliche Verbissprozente von über 20 % (Schneider 1994). Das Problem ist noch nicht gelöst, weil viele Tannen in früheren Jahren mehrfach verbissen wurden und deshalb als Kandidaten nicht mehr in Frage kommen, und weil sich der Rehwildbestand 1994 bereits wieder auf dem Niveau von 1980 bewegte.

2.9 Ziele und Grundsätze der heutigen Waldbewirtschaftung

Die Ziele und Grundsätze der heutigen Waldbewirtschaftung sind im Waldgesetz des Kantons Neuenburg (Loi cantonale sur les forêts du 6 février 1996) festgelegt und werden im zukünftigen Wirtschaftsplan konkretisiert. Bei der Interpretation der gesetzlichen Bestimmungen stütze ich mich auf die Waldbauprinzipien des Kantons Neuenburg (Arbeitsgruppe "Waldbauprinzipien" 1999).

Das neuenburgische Forstgesetz verlangt, dass die Wälder so zu bewirtschaften sind, dass sie die Schutz-, Nutz- und Wohlfahrtsfunktionen (Erholung, Biodiversität) nachhaltig erfüllen können. Die Umsetzung dieser Bestimmung erfolgt durch die Waldfunktionenanalyse im Rahmen des Bewirtschaftungsplanes. Diese weist Reservate mit vollständigem Nutzungsverzicht, Flächen mit einer Vorrangfunktion, Flächen mit konvergierender, multifunktionaler Nutzung und solche mit

divergierenden Interessen aus. Da der neue Wirtschaftsplan für das Val-de-Travers noch nicht abgeschlossen ist, liegt noch keine Waldfunktionenkarte vor. Nach brieflichen Angaben von Kreisförster Oberson beträgt der Anteil der Wälder mit besonderer Schutzfunktion (Waldbau C) im gesamten Val-de-Travers rund 18%, jener der Wälder mit Schutzfunktion (Waldbau B) rund 3%. Die restlichen 79% der Waldfläche weisen bloss eine allgemeine Schutzfunktion auf (Waldbau A). Was nicht innerhalb von Natur- oder Landschaftsschutzgebieten liegt, wird dabei multifunktionell bewirtschaftet. Da die Region insgesamt schwach besiedelt und der Tourismus ziemlich unbedeutend ist, gibt es von Seiten der Erholungsnutzung kaum Konflikte. Dagegen hat die Wald- und Holzwirtschaft für die regionale Entwicklung eine grosse Bedeutung (Oberson 1980). Das primäre Ziel der Waldbewirtschaftung ist deshalb in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes die nachhaltige Holzproduktion in dauernd stabilen, standortangepassten Bestockungen und unter Einhaltung der Natur- und Landschaftsschutzfunktion (Oberson 1999).

Der Zweckartikel des Waldgesetzes hält fest, dass die Produktionskapazität der Wälder durch einen naturnahen Waldbau, unter Berücksichtigung des Standortes, sicherzustellen sei (Art.1.c). Der naturnahe Waldbau (Art. 46) zielt darauf ab, die qualitative und quantitative Nachhaltigkeit der Waldbestände und ihre Schutzwirkung zu sichern, strukturreiche, an den Standort angepasste Bestände zu schaffen, die Wälder bevorzugt durch natürliche Verjüngung zu erneuern, und Bäume, welche zur vollständigen Erfüllung des biologischen Kreislaufs beitragen (Totholz), in genügender Menge zu erhalten.

Die Arbeitsgruppe "Waldbauprinzipien" fasst die Waldbauziele für den Kanton Neuenburg wie folgt zusammen: Der Waldbau im Kanton Neuenburg zielt darauf ab, gesunde, stabile, vielfältige, qualitativ wertvolle und ungleichförmige, strukturreiche Wälder zu schaffen und zu erhalten.

Zur Erreichung dieser Ziele kommen mehrere Waldbaukonzepte in Frage; diese können durch die Stellung des Altbestandes zum Nachwuchs, die Grösse der Verjüngungslücken und die räumliche Abfolge der einzelnen Hiebe charakterisiert werden (Waldbauprinzipien Kt. Neuenburg 1999).

- Einzelplenterung (jardinage pied par pied)
Einzelstammweise Nutzung von stufigen Hochwäldern, in welchen sich der Nachwuchs mehrheitlich auf Flächen von maximal einer Are einstellt und wo die Bäume der "Oberschicht" (bzw. der oberen Höhenklasse) einzeln aufwachsen, d.h. ohne seitliche Bedrängung. Aus der Einzelplenterung resultiert der dauernd stufige, klassische Plenterwald der montanen Stufe mit Tannen, Fichten und Buchen in inniger Mischung.
- Gruppenplenterung (jardinage par groupes)
Kleinflächige Nutzung von stufigen Hochwäldern in Truppgrösse (1-4 Aren), in welchen sich der Nachwuchs vorwiegend truppweise einstellt und wo die Bäume dauernd gemeinsam mit Bäumen ähnlicher Grösse in Baumkollektiven mit seitlicher Bedrängung aufwachsen. Aus der Gruppenplenterung resultiert der trupp- bis gruppenweise gemischte, stufige Plenterwald.
- Mosaikhieb (coupe en mosaïques)
Flächige Nutzung von schichtigen Hochwäldern in Gruppen- (5-9 Aren) bis Horstgrösse (10-ca. 30 Aren), welche nicht erweitert werden und wo die Hiebsfolge deshalb keine räumliche Ordnung aufweist. Die einzelnen Bestockungen durchlaufen alle Entwicklungsstufen vom Jungwuchs über Dickung und Stangenholz zum Baumholz. Mosaikhiebe führen zu grossflächig ungleichförmigen, truppweise stufigen bis kleinflächig schichtigen Mischwäldern.
- Femelhieb (coupe progressive):
Verjüngungsform, bei der unterschiedlich grosse Flächen (rund 5 bis 50 Aren) durch die Kombination verschiedener Hiebsarten (Schirmhieb, Femelhieb, Saumhieb) unter Berücksichtigung einer räumlichen und zeitlichen Ordnung verjüngt werden. Die Anwendung des Femelhiebes führt in der Verjüngungsphase, aufgrund der freien Hiebsführung, zu einer Vielzahl möglicher Waldbilder. Im Idealfall entsteht ein räumlich geordnetes Nebeneinander von Beständen unterschiedlicher Entwicklungsstufen und/ oder Baumartenzusammensetzung, d.h. ein kleinflächig gleichförmiger, grossflächig aber strukturreicher Hochwald.

3 Methodik, Aufnahme- und Auswerteverfahren

3.1 Erläuterung einiger Begriffe

Plenterwald =forêt jardinée (nach Schütz 1989, vereinfacht)

Der Plenterwald ist ein Wald mit dauernd stufiger Struktur, in welchem Bäume aller Stärkeklassen kleinflächig gemischt wachsen und in dem als Eingriffsart stets die Plenterung praktiziert wird.

Hauptkennzeichen des Plenterwaldes sind (nach Mayer 1984 und Schütz 1989) :

- gleichmässige Verteilung des Holzvorrates über die gesamte Waldfläche, mit kleinflächig (im Bereich von wenigen Aren) erheblicher Streuung
 - langfristig geringe Vorratsschwankungen mit Plenterstruktur auf kleinster Fläche
 - ständige Verjüngung auf der ganzen Fläche zur Kompensation der Nutzungen
 - stark verlangsamtes Jugendwachstum (Unterdrückung) als Folge der Überschirmung
 - individuelles Wachstum ab der Baumholzstufe, unabhängig von seitlicher Konkurrenz
 - Einzelbaum-Wachstum wird weitgehend durch Lichteinfall ins Bestandesinnere gesteuert
 - Durchmesser- und Höhenzuwachs nehmen in der Jugend nur langsam zu, verlaufen dann aber sehr lange und gleichmässig auf hohem Niveau und lassen auch im Alter kaum nach
 - Fehlen jeder räumlichen Ordnung, Transportgrenze hat nur erntetechnische Bedeutung
- Plenterwälder kommen in ausserordentlicher Vielfalt vor. Massgebend dafür, ob man einen Wald als Plenterwald bezeichnen kann oder nicht, ist nach obiger Definition nicht nur die momentane Struktur, sondern auch der Wille des Bewirtschaftes, den Wald dauernd nach dem Plenterprinzip zu behandeln und damit eine nachhaltig optimale Plenterstruktur anzustreben (Indermühle 1978).

Plenterstruktur = structure jardinatoire (nach Indermühle 1978)

Die Struktur des Plenterwaldes ist durch die innige Mischung von Bäumen verschiedener Höhenklassen bzw. Stärkeklassen auf kleiner Fläche gekennzeichnet, wobei es sich sowohl um Einzelmischung als auch um Trupp- oder Gruppenmischung handeln kann.

Aus dieser Definition geht hervor, dass es nicht nur eine Plenterstruktur geben kann, sondern dass es unzählige Variationen gibt, bedingt durch die an der Mischung beteiligten Baumarten und ihr Verhalten, durch standörtliche Gegebenheiten und durch unterschiedliche Zielsetzungen in der Bewirtschaftung (z.B. Zieldurchmesser, Anteil Starkholz).

Die Plenterstruktur wird charakterisiert durch die Stammzahlverteilung (Schütz 1981), d.h. die Verteilung der Stämme auf die Durchmesserstufen, und durch Angabe des Vorratsanteils von drei bis vier Stärkeklassen (Schütz 1989). Im Kanton Neuenburg ist seit Einführung der pfleglichen Plenterung und der Kontrollmethode durch Biolley die Angabe der drei Stärkeklassen "petit bois", "bois moyen" und "gros bois" üblich. Weil der Starkholzanteil bei dieser Festlegung zu wenig zwischen schlechteren und besseren Standorten zu differenzieren vermag, wurden für diese Untersuchung die folgenden vier Stärkeklassen verwendet (Tab. 3.1-1):

Tab. 3.1-1: Definition der Stärkeklassen zur Charakterisierung der Plenterstruktur.

| Stärkeklasse | französ. Bezeichnung | Abkürzung | Durchmesserbereich |
|-----------------|----------------------|-----------|----------------------|
| Schwachholz | petit bois | PB | 17.5 bis 32.4 cm BHD |
| Mittelholz | moyen bois | MB | 32.5 bis 52.4 cm BHD |
| Starkholz | gros bois | GB | 52.5 bis 72.4 cm BHD |
| Super-Starkholz | très gros bois | TG | > 72.4 cm BHD |

Plenterung, Plenterhieb = coupe de jardinage (nach Schütz 1989 und Indermühle 1978)

Waldbaulicher Eingriff in einen im Strukturgleichgewicht stehenden Plenterwald mit dem Ziel, eine bereits vorhandene Plenterstruktur zu verbessern oder zu erhalten, unter gleichzeitiger Förderung der Qualität und unter nachhaltig bestmöglicher Ausnutzung der Ertragsfähigkeit des Standortes. Die Plenterung fasst die folgenden waldbaulichen Entnahmekriterien zusammen: Verjüngung, Auslese und Erziehung, Strukturausformung, Ernte und Zwangsnutzung.

Nachwuchspflege = petit jardinage (nach Schütz 1989, verändert)

Pflegeeingriff im Plenterwald, der im Sommer nach dem Haupteingriff im Nachwuchs erfolgt und die Erhaltung und Förderung einer genügenden Anzahl von stabilen, vitalen und qualitativ guten Nachwuchsstangen der erwünschten Baumarten zum Ziel hat. Dazu bedient sich die Nachwuchspflege der Mischungsregulierung, Auslese, Erziehung (Dichteregulierung) und Freistellung von Nachwuchsgruppen.

Nachwuchs = recrutement

Unter Nachwuchs verstehen wir alle Bäume unterhalb der durch die Vollkluppierung erfassten untersten Stärkeklasse (= petit bois, 17,5 bis 32,5 cm BHD), d.h. alle Bäume bis 17,4 cm BHD. Für eine detaillierte Betrachtung von dimensionsabhängigen Variablen ist es notwendig, eine relativ feine Einteilung der Nachwuchsbäume in Höhen- und Durchmesserstufen vorzunehmen. Die Nachwuchspflege beschränkt sich nicht mehr wie früher auf den Bereich bis 17,4 cm BHD, sondern erfolgt heute bis zu einem Durchmesser von rund 25 cm. In dieser Arbeit werden deshalb im Nachwuchs 16 Stufen unterschieden, welche für viele Auswertungen zu den angegebenen 5cm-Stufen zusammengefasst wurden (Tab. 3.1-2):

Tab. 3.1-2: Charakterisierung der benutzten Durchmesserstufen im Nachwuchs

| 2,5-cm-Stufen | Abkürz. | Höhe / BHD (cm) | 5-cm-Stufen | Abk. |
|----------------------|----------------|------------------------|---------------------|-------------|
| Keimlinge | KL | 0 bis 9 cm Höhe | | |
| Jungwuchs 1 | J1 | 10 bis 49 cm Höhe | | |
| Jungwuchs 2 | J2 | 50 bis 89 cm Höhe | | |
| Jungwuchs 3 | J3 | 90 bis 130 cm Höhe | | |
| Dickung 1 | D1 | 0.1 bis 2.4 cm BHD | (BHD-Stufe 0) | S00 |
| Dickung 2 | D2 | 2,5 bis 4,9 cm BHD | BHD-Stufe 5 | S05 |
| Dickung 3 | D3 | 5,0 bis 7,4 cm BHD | (2.5 - 7.4 cm BHD) | |
| Dickung 4 | D4 | 7,5 bis 9,9 cm BHD | BHD-Stufe 10 | S10 |
| Stangen 1 | S1 | 10,0 bis 12,4 cm BHD | (7.5 - 12.4 cm BHD) | |
| Stangen 2 | S2 | 12,5 bis 14,9 cm BHD | BHD-Stufe 15 | S15 |
| Stangen 3 | S3 | 15,0 bis 17,4 cm BHD | (12.5-17.4 cm BHD) | |
| Stangen 4 | S4 | 17,4 bis 19,9 cm BHD | BHD-Stufe 20 | S20 |
| Stangen 5 | S5 | 20,0 bis 22,4 cm BHD | (17.5-22.4 cm BHD) | |
| [Stangen 6] | S6 | 22.5 bis 24.9 cm BHD | | |

Die Bezeichnungen der Durchmesser- und Höhenstufen orientieren sich mangels brauchbarer Alternativen an den Bezeichnungen für die Entwicklungsstufen im gleichförmigen Hochwald.

Auslesebaum = arbre d'élite

Durch die Auslese werden bei der Nachwuchspflege diejenigen Bäume bestimmt, welche das beste Entwicklungspotential aufweisen und welche in ihrer Entwicklung noch zusätzlich durch Entnahme eines oder mehrerer Konkurrenten gefördert werden sollen. Auch wenn der Begriff Auslesebaum normalerweise mit der Auslesedurchforstung in gleichförmigen Hochwäldern assoziiert wird, so scheint er doch für die Nachwuchspflege ebenfalls sehr geeignet. So schreibt Leibundgut (1978, S. 145): "Im Unterschied zum Schlagwald befinden sich im Plenterwald in allen Bestandesschichten Ausleseebäume - in der Oberschicht, Mittelschicht und Unterschicht -..."

Da die Wahl der Ausleseebäume im Plenterwald im Vergleich zur Lebenszeit der Bäume sehr früh erfolgt und das Risiko eines Ausfalles durch die Nutzung grosser Stämme relativ bedeutend ist, muss die Auslese im Stangenholz nicht als endgültige Auswahl gesehen werden. In diesem Sinne könnten die geförderten Bäume auch als Eliteanwärter bezeichnet werden, denn sie sind Anwärter für einen späteren Aufstieg zur Elite des Bestandes in der oberen Höhenklasse.

3.2 Wahl der Untersuchungsflächen und der Messbäume

Für die Beantwortung der Fragen zur Nachwuchspflege war es unumgänglich, Bestände mit einer stufigen Struktur auszuwählen, in welchen der Haupteingriff der Plenterung kurz zuvor durchgeführt worden war. Die Auswahl geeigneter Objekte (Abteilungen) richtete sich deshalb in erster Linie nach der Pflegeplanung der Forstkreise Couvet und Travers des Kantons Neuenburg. Eine erste Begehung und Beurteilung der gemeldeten Flächen zeigte schnell, dass der Laubholzanteil als vermuteter Einflussfaktor auf die Nachwuchspflege in den nordexponierten Wäldern kaum variiert. Deshalb wurden für die Untersuchungen auch die Wälder der gegenüberliegenden Talseite mit SSE-Exposition mitberücksichtigt. Auf die Untersuchung der höher gelegenen "Bergwälder" dagegen wurde verzichtet, weil oberhalb von 1100 m ü.M. die ökologischen, insbesondere die klimatischen Verhältnisse sehr verschieden sind von jenen des Haupttales. Die Wahl der Untersuchungsflächen innerhalb der Abteilungen erfolgte nicht zufällig, sondern gutachtlich nach einer Begehung der ganzen Abteilung. Es wurden Flächen von 0.5 bis 1.0 ha Ausdehnung gesucht, welche folgenden Anforderungen genügen sollten:

- Homogene Standortverhältnisse, d.h. einheitliche Exposition, einheitlicher geologischer Untergrund und einheitliche Pflanzengesellschaft.
- Keine erheblich störenden Seitenlichteinflüsse durch Strassenschneisen. Am Nordhang wurde auf Flächen unmittelbar unterhalb, am Südhang auf solche oberhalb von Waldstrassen weitgehend verzichtet.

Insgesamt genügten in den beiden Jahren 1991 und 1992 nur 16 der behandelten Abteilungen den Anforderungen, unter anderem auch deshalb, weil 1992 als Folge des Sturmes 'Vivian' einzelne Schläge zurückgestellt wurden. In zwei Abteilungen wurden je zwei strukturell unterschiedliche Untersuchungsflächen ausgewählt, so dass schliesslich 18 Flächen zur Verfügung standen. Die Tab. 3.2-1 gibt eine Übersicht über die geografische Lage der Untersuchungsflächen.

Tab. 3.2-1: Geografische Übersicht über die Untersuchungsflächen.

| FNR | Gemeinde | Abteilung | Koordinaten | | Höhenlage | Exposition | Neigung |
|-----|-------------|-----------|-------------|---------|-----------|------------|---------|
| 1 | Boveresse | 9 | 535.425 | 196.500 | 870 | SSE | 42 |
| 2 | Couvet | I/2 | 538.625 | 196.325 | 845 | NW | 45 |
| 3 | Couvet | II/13 | 538.825 | 198.275 | 865 | SSE | 40 |
| 4 | Couvet | I/14 | 539.725 | 196.775 | 865 | N | 30 |
| 5 | Fleurier | 8 | 534.800 | 193.425 | 995 | NNW | 37 |
| 6 | Môtiers | 2 | 538.300 | 194.975 | 975 | NW | 47 |
| 7 | Môtiers | 16 | 538.175 | 195.450 | 915 | SSE | 44 |
| 8 | St.-Sulpice | 16 | 532.250 | 195.600 | 885 | N | 54 |
| 9 | Buttes | 8 | 533.325 | 192.900 | 965 | NNW | 45 |
| 10 | Buttes | 8 | 533.400 | 192.900 | 965 | NNW | 54 |
| 11 | Buttes | 1 | 533.325 | 193.050 | 900 | NNW | 48 |
| 12 | Couvet | II/3 | 537.500 | 198.200 | 930 | NNW | 48 |
| 13 | Couvet | II/10 | 539.275 | 198.200 | 800 | S | 44 |
| 14 | Noiraigue | 42 | 546.450 | 199.825 | 915 | NNW | 59 |
| 15 | Fleurier | 11 | 536.000 | 194.250 | 890 | N | 50 |
| 16 | Môtiers | 13 | 537.650 | 194.400 | 960 | NNE | 50 |
| 17 | Môtiers | 13 | 537.450 | 194.650 | 865 | NNW | 49 |
| 18 | Buttes | 9 | 533.225 | 192.875 | 970 | N | 27 |

Legende: FNR = Flächennummer

Die 18 Untersuchungsflächen befinden sich alle in einer Höhenlage von 800 bis 1000 m ü. M. 14 Flächen weisen Nord- (NW bis NNE), 4 Flächen Südexposition auf.

Der geologische Untergrund wird dominiert von den Schichten des oberen Jura (v.a. Portlandien) und der unteren Kreide (v.a. Valangien). Auf den tiefer gelegenen Flächen kommt auch Moränenüberdeckung durch alpine Gletscher vor (Tab. 3.2-2). Die Auswirkungen des verschiedenen geologischen Untergrundes auf die Bodenart ist bescheiden: 17 der 18 untersuchten Bodenprofile wurden als Rendzinen angesprochen, eine einzige Untersuchungsfläche stockt auf einer Braunerde. An den nordwest- bis nordexponierten Hängen ist die Klimaxgesellschaft das Abieti-Fagetum, an den südost- bis südexponierten das Fagetum. Die häufigste Untergesellschaft im Abieti-Fagetum ist "festucetosum"; sie zeigt mittlere Verhältnisse an Hanglagen an (vgl. Tab. 2-3). Die Subassoziatio "petasitetosum" zeigt etwas mergeligen und kompakten Boden in Mittelhang- oder Hangfusslagen an. Innerhalb der Cardamino-Fageten zeigt die Subassoziatio "elymetosum" etwas tonhaltige, aber gut durchlässige Böden an (vgl. Tab. 2-4).

Tab. 3.2-2: Standörtliche Übersicht über die Untersuchungsflächen.

| FNR | Geologie | Bodenart | Waldgesellschaft | Untergesellschaft |
|-----|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------|
| 1 | Urgonien (Barremien) | Mull-Rendzina | Cardamino-Fagetum | elymetosum |
| 2 | alpine Moräne | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | petasitetosum |
| 3 | Portlandien sup. | Mull-Rendzina | Cardamino-Fagetum | typicum |
| 4 | alpine Moräne/Portland. | Mull-Braunerde | Abieti-Fagetum | petasitetosum |
| 5 | Portlandien | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 6 | Valangien inf. | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 7 | Valangien inf. | Mull-Rendzina | Cardamino-Fagetum | elymetosum |
| 8 | Jura-Moräne/ Portland. | Moder-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 9 | Portlandien | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 10 | Portlandien | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 11 | Portlandien/ (Moräne) | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 12 | Valangien inf./ sup. | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 13 | Portlandien sup. | Moder-Rendzina | Cardamino-Fagetum | typicum |
| 14 | nacheisz. Hangrutsch | Moder-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 15 | Valangien sup. | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 16 | Portlandien sup. | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | athyrietosum |
| 17 | Valangien/ Hauterivien | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |
| 18 | Portlandien | Mull-Rendzina | Abieti-Fagetum | festucetosum |

Legende:

FNR = Flächennummer

Innerhalb der Untersuchungsflächen wurden an allen Ausleseebäumen und an einem Teil der Aushiebe detaillierte waldbauliche und wachstumskundliche Kriterien erhoben ("Messbäume"). Entsprechend der Fragestellung wurden dabei v.a. die Baumarten Tanne und Fichte berücksichtigt. Innerhalb der Ausleseebäume wurde keine weitere Auswahl getroffen, sondern alle bezeichneten 393 Ausleseebäume im Bereich 2,5 bis 22,4 cm BHD detailliert aufgenommen.

Von den rund 600 Nadelholz-Aushieben konnten aus zeitlichen Gründen nur 190 detailliert vermessen werden. Die Auswahl erfolgte gezielt nach folgenden Prioritäten und Kriterien:

- direkte Konkurrenten von Ausleseebäumen
- Fichten, weil sie viel seltener anfallen als Tannen
- rund 10, mindestens jedoch 8, maximal 16 Bäume pro Untersuchungsfläche
- Bäume aller Aushiebsgründe und BHD-Stufen in angemessener Vertretung
- Höhentrieb mindestens während der letzten 10 Jahre unbeschädigt.

Eine strikte Beschränkung der Aufnahmen auf Nadelbäume hätte die Ableitung von waldbaulichen Schlussfolgerungen erschwert, wenn nicht gar verunmöglicht. Deshalb wurden auf den laubholzreicheren Untersuchungsflächen nachträglich 90 Buchen und 22 Bergahorne im Bereich 2,5 bis 22,5 cm BHD mit Hilfe von rund 10 Merkmalen erfasst.

3.3 Aufnahmeverfahren

Die Feldaufnahmen erfolgten in den Jahren 1991 und 1992 jeweils in drei Phasen.

In einer ersten Phase von Ende Mai bis Mitte Juni wurde die Nachwuchspflege durchgeführt und die wichtigsten Merkmale an allen Auslesebäumen und den Aushieben erfasst.

In einer zweiten Phase im Juni wurde ein Teil der liegenden Baumstämme im Detail vermessen.

Die dritte Phase erfolgte in den Monaten August bis Oktober und stellte die Hauptarbeit dar, nämlich die detaillierte Vermessung aller Auslesebäume der Baumarten Tanne und Fichte.

Nachaufnahmen im Frühjahr 1992 und 1993 dienten der Ergänzung fehlender Werte und zusätzlichen Aufnahmen, v.a. der Bodenuntersuchungen und Aufnahmen an den Auslesebäumen von Buche und Bergahorn. Im Herbst 1995 schliesslich wurde der Durchmesser der Auslesebäume ein zweites Mal aufgenommen, um zuverlässige Angaben über den Durchmesser-Zuwachs der geförderten Eliteanwärter zu haben.

Die Anzeichnung der Nachwuchspflege erfolgte im ersten Aufnahmejahr ausschliesslich durch die Gemeindeförster (Revierleiter), im zweiten Jahr überwiegend durch Forstwarte. Dies ermöglichte einen ersten Vergleich zwischen Förstern und Forstwarten. Da einer der vier Förster deutlich "konservativer" anzeichnete als seine jüngeren Kollegen, wurde er separat ausgewertet. Deshalb ergaben sich drei Gruppen von Anzeichnenden, welche nachfolgend als "Förstergruppen" FGR1 bis FGR3 bezeichnet werden (vgl. dazu v.a. Kap. 5.1 und 5.2).

Tab. 3.3-1: Charakterisierung der separat ausgewerteten, anzeichnenden Forstleute.

| Förstergruppe | Funktion | Anzahl | Charakteristik | Untersuchungsflächen |
|---------------|------------|--------|---------------------|----------------------|
| 1 | Förster | 1 | konservative Pflege | 1, 2, 3, 4, 6, 7 |
| 2 | Förster | 3 | klassische Pflege | 5, 8, 9, 10, 14 |
| 3 | Forstwarte | 5 | moderne Pflege | 11,12,13,15,16,17,18 |

Die Förster und Forstwarte sollten einerseits die Eliteanwärter im Nachwuchsbereich (BHD < 17.5 cm) bestimmen, andererseits die ihrer Meinung nach notwendigen Aushiebe bezeichnen.

Die Eliteanwärter wurden zur besseren Übersicht mit gelbem Plasticband markiert, die Aushiebe im Anschluss an die Anzeichnung gefällt, einseitig aufgeastet und für die anschliessende Detailvermessungen liegengelassen.

Um den Einfluss der Förster und Forstwarte auf die Nachwuchspflege eingehender studieren zu können, wurde auf einer der 18 Flächen ein Vergleich durchgeführt. Daran nahmen 5 Förster der ehemaligen Neuenburgischen Forstkreise 6 und 7, 5 erfahrene Forstwarte, ein Absolvent der Försterschule und ein Forstwart mit kürzlich abgeschlossener Berufslehre teil. Die alphabetische Liste der Teilnehmer ist im Anhang (Tab. A.5.3-1) zusammengestellt.

3.4 Aufnahmemerkmale

Zur Charakterisierung der Untersuchungsflächen wurden folgende Daten erhoben (Tab. 3.4-1):

Tab. 3.4-1: Merkmale zur Charakterisierung der Untersuchungsflächen.

| Merkmal | Methodik der Erfassung |
|-------------------------------|--|
| Koordinaten | gemäss Landeskarte 1: 25'000 |
| mittlere Höhe über Meer | aus der Landeskarte 1: 25'000 |
| mittlere Exposition | mit der Bussole im Gelände, Kontrolle auf der Landeskarte |
| mittlere Hangneigung | Durchschnitt aus 10 bis 15 Messungen auf systematisch verteilten Stichprobepunkten |
| geologische Unterlage | gemäss geologischer Karte (Rickenbach 1925) |
| Boden | anhand eigener Ansprache von Bodenprofilen |
| Waldgesellschaft | gemäss pflanzensoziologischer Karte (Richard 1965) |
| Bestandesstruktur und -textur | Vollkluppierung der Bäume mit BHD > 7.4 cm Stichprobeninventur für Jungwuchs ab 50 cm Höhe und Dichtung bis 7.4 cm BHD, Methode Duc (1991) Aufnahme der Nachwuchgruppen (mind. 5 Bäume) |

Die Nachwuchsinventur wurde auf rund 20 bis 30 systematisch verteilten Stichproben pro Fläche durchgeführt. Die Grösse der Stichprobeflächen betrug einheitlich 100 m². Auf dieser Fläche wurden alle Nadelbäume ab 50 cm Höhe und alle Laubbäume ab 2.5 cm BHD bis zur Kluppschwelle von 7.5 cm BHD erfasst.

Die Erfassung des Nachwuchses auf einheitlichen Stichprobeflächen erlaubt die Berechnung eines Dispersionsindex als Varianz geteilt durch den Mittelwert der Nachwuchsstammzahl. Dieser Index gibt die Abweichung von einer Poisson-Verteilung wider und ist nach Fischer (1980) als Mass für die Aggregation der Nachwuchsindividuen geeignet. Der Dispersionsindex ist aber abhängig von der Grösse der Stichprobe im Verhältnis zur Klumpengrösse (Cox 1971). Weil systematische Stichproben zu wenig präzise Angaben über die Nachwuchsverteilung erlauben, wurde zusätzlich die Ausdehnung und die räumliche Verteilung der Nachwuchsgruppen erhoben. Als Nachwuchsgruppe wurde dabei jede Ansammlung von 5 oder mehr Nachwuchsbäumen mit mindestens 130 cm Baumhöhe bezeichnet. Neben der Lage und der Flächengrösse wurde auch die Stammzahl und die Zahl der Ausleseebäume pro Nachwuchsgruppe bestimmt, je nach BHD-Stufen und Baumarten getrennt. Die Berechnung der Flächengrösse erfolgte für eine elliptische Fläche nach der Formel $F = \pi * \text{Länge}/2 * \text{Breite}/2$.

Messungen und Ansprachen an Einzelbäumen (Probepflanzen) wurden sowohl bei den Ausleseebäumen als auch an den Bäumen im Aushiebes durchgeführt. An allen Ausleseebäumen wurden die in Tab. 3.4-2 tabellierten dendrometrische Grössen erhoben. An 190 Bäumen des Aushiebes wurden ebenfalls solche Grössen erhoben (Tab. 3.4-3), um den Einfluss des Alters auf die Dimension und das Wachstum der Bäume untersuchen zu können.

Die exakte Altersbestimmung am Stock ist im Plenterwald wegen der extrem engen Jahrringe während des Unterdrückungszeitraumes nur in Ausnahmefällen möglich. Deshalb wurden die Forstwerte angewiesen, von allen Stammscheiben der Baumarten Tanne, Fichte und Buche ab 5 cm BHD Stammscheiben auf Schnitthöhe zu entnehmen. Von den 1380 Aushiebes wurde an 753 (54.6%) Bäumen eine Stammscheibe entnommen, 7 Baumalter wurden am Stock bestimmt. Von den 620 Aushiebes ohne Altersbestimmung wiesen 444 einen BHD unter 5 cm und 176 einen solchen über 4.9 cm auf. Davon waren 79 tote oder kernfaule Bäume oder andere Baumarten als die erwähnten. Insgesamt wurden also rund 80 % der geforderten Stammscheiben entnommen und standen für weitere Untersuchungen zur Verfügung. An diesen Stammscheiben wurden zusätzlich zum Alter weitere Merkmale (vgl. Tab. 3.4-4) erhoben.

Tab. 3.4-2: Aufnahmemerkmale an den Auslesebäumen.

| Merkmal | Methodik der Erfassung |
|------------------------------|---|
| Baumart | nur Fichte oder Tanne |
| BHD | auf mm genau, übers Kreuz |
| Durchmesser am Stammfuss | auf mm genau, auf Schnitthöhe |
| Baumhöhe | bis 9 m Höhe mit Teleskopstange auf 0.1 m genau, oberhalb von 9 m mit Suunto auf 0.5 m genau |
| grösste Kronenbreite | Quirl mit grösster Kronenbreite geschätzt, Höhe gemessen |
| Kronenansatz | unterster Astquirl mit mindestens zwei grünen Ästen (nach Schöpfer 1961), auf 0.1 (< 9 m Höhe) bzw. 0.5 m genau |
| unterster Dürrast | unterster Dürrast mit mind. 5 cm Länge, auf 0.1 m genau |
| Kronenradien | Bestimmung der Distanz Kronenrand bis Stammmittelpunkt, in den 4 Hauptrichtungen N, E, S, und W, von Auge mit Hilfe eines Jalons, auf 0.25 m genau |
| Wurzelsymmetrie | gutachtliche Beurteilung: symmetrisch, schwach und stark asymmetrisch |
| Eindringtiefe der Wurzeln | gutachtliche Beurteilung: tiefgehend/ mittel/ flachstreichend |
| Schäden am Stammfuss | gesund / beschädigt |
| lotrechter Stand | gutachtliche Beurteilung: lotrecht (zweischnürig)/ schief (einschnürig) / krumm (unschnürig) |
| Rindenrauhigkeit | gutachtliche Beurteilung: glatt/leicht schuppig/stark schuppig |
| Kronenentwicklung/ Vitalität | gutachtliche Beurteilung: üppig / normal / schwach entwickelt |
| Schäden und Holzfehler | Erfassung vorhandener Baumschäden und Holzfehler der Kategorie Wipfelbruch, Zwiesel, Rindenverletzung, unvital, instabil und andere; vgl. Tab. 3.4.5 |
| Feinastigkeit | Schätzung des mittleren Astdurchmessers der Grünäste im unteren Kronenbereich, Einteilung in die drei Kategorien feinastig (<2 mm), mittel, grobastig (≥ 3 mm) |
| Astdichte | Bestimmung der Anzahl Astquirle pro Laufmeter unterhalb von 10 m Höhe, mit Hilfe der Teleskopstange |
| Höhenwachstum | Höhenwachstum der letzten 20 Jahre, in festen 5-Jahresschritten (1991-87; 1986-82, 1981-77, 1976-72); unterhalb 9 m mit Teleskopstange, oberhalb 9 m mit Suunto |
| Entwicklungstendenz | Schätzung des Verhältnisses Endtrieblänge zu oberster Seitentrieblänge. Drei Kategorien (Indermühle 1978): vorwachsend, mitwachsend, zurückbleibend |
| Überschirmung | gutachtlich (Kategorien nicht überschirmt, Trauf, überschirmt) und durch Messung der Kronenausladung grosser Nachbarn |
| seitliche Konkurrenz | Anzahl der direkten Konkurrenten, d.h. der Nachbarn ähnlicher Höhe, welche die Krone des Auslesebaumes zumindest berühren |

Tab. 3.4-3: Aufnahmemerkmale an den Aushieben für Detailuntersuchungen.

| Merkmal | Methodik der Erfassung |
|--|--|
| Baumart | nur Fichte oder Tanne |
| BHD | auf mm genau |
| Durchmesser am Stammfuss und auf verschiedenen Höhen | auf mm genau, Stammfuss auf Schnitthöhe, dann alle 2 m, ab BHD > 7.5 cm übers Kreuz gemessen |
| Baumhöhe | mit Messband, auf 0.1 m genau |
| Baumalter | Zählung auf präparierter Stammscheibe; vgl. Kap. 3.4.3 |
| Astlänge | grösste und kleinste Astlänge alle 1m (<10 cm BHD) oder 2m (10 bis 22.5 cm BHD) mit Doppelmeter, auf 0.1 m genau |
| Kronenansatz | unterster Astquirl mit mindestens zwei grünen Ästen (nach Schöpfer 1961), auf 0.1 m genau |
| unterster Dürrast | unterster Dürrast mit mind. 5 cm Länge, auf 0.1 m genau |
| Feinastigkeit | Messung des mittleren Astdurchmessers der 10 dicksten Grünäste unterhalb von 10 m Baumhöhe, Einteilung in die drei Kategorien feinastig (< 2mm), mittel, grobastig (≥ 3mm) |
| Astdichte | Bestimmung der Anzahl Astquirle pro Laufmeter unterhalb von 10 m Höhe |
| Höhenwachstum | Höhenwachstum der letzten 20 bis 30 Jahre, auf cm genau |
| Länge des Gipfeltriebes | Gipfeltrieb 1990 bzw. 1991, auf cm genau. |
| Länge des Seitentriebes | längster Seitentrieb des obersten Quirls, auf cm genau |
| Schäden und Holzfehler | Erfassung vorhandener Baumschäden und Holzfehler der Kategorie Wipfelbruch, Zwiesel, Rindenverletzung, unvital, instabil und andere; vgl. Kap. 3.4.4 |
| Überschirmung | gutachtlich, Kategorien nicht überschirmt, Trauf, überschirmt |
| seitliche Konkurrenz | Anzahl der direkten Konkurrenten, d.h. der Nachbarn ähnlicher Höhe, welche die Krone des Aushiebes zumindest berührt haben. |

Tab. 3.4-4: Aufnahmemerkmale an den Stammscheiben der Aushiebe.

| Merkmal | Methodik der Erfassung |
|---------------------|---|
| Radius Stammscheibe | grösster und kleinster Radius, auf 1 mm genau |
| Alter Stammscheibe | Alter inklusive Engkern, Auszählung auf einer Achse |
| Radius Engkern | mittlerer Engkernradius= (grösster+kleinster Radius)/ 2; Definition Engkern nach Schütz 1969 (Jahrringbreite < 1 mm) |
| Alter Engkern | Alter bis zur Engkerngrenze |

Für Zuwachsuntersuchungen wurde an insgesamt 243 Nadelbäumen eine Stammscheibe auf Brusthöhe (1,3 m), auf 1,0 oder auf 2,0 m entnommen. Die unterschiedlichen Messhöhen ergaben sich aus der Tatsache, dass das Holz z.T. als Brennholz im Metermass genutzt wurde und die Förster oder Forstwarte nicht bereit waren, irgendwelche Zwischenlängen zu produzieren.

Die Auswahl erfolgte gezielt aufgrund der folgenden Prioritäten und Kriterien:

- Aushiebe mit Detailaufnahme
- direkte Konkurrenten von Auslesebäumen
- Fichten, weil sie viel seltener anfallen als Tannen
- rund 12 Stammscheiben pro Untersuchungsflächen
- Bäume aller BHD-Stufen in angemessener Vertretung

In zwei Gemeinden werden die Stangen noch genutzt und verwertet, so dass nicht für alle Untersuchungsflächen Stammscheiben vorliegen. Von den 243 Stammscheiben für die Zuwachsuntersuchung waren 195 Tannen und 48 Fichten. Die Zuwachsmessungen erfolgten auf einer Jahrring-Messmaschine nach Eklund, auf 0.01 mm genau. Die Synchronisation der Jahrringe mit auffälligen Weiserjahren erwies sich dabei als recht schwierig, weil die Bäume im Unterstand sehr kleine Jahrringbreiten aufweisen und nicht immer das gleiche Zuwachsverhalten aufweisen wie jene des Oberstandes. Um Fehlzuweisungen in ihren Auswirkungen zu minimieren, wurden darum immer fünf Jahre zu einer Zuwachsperiode zusammengefasst und bei der Auswertung nur noch die Zuwachsperioden analysiert. Als Grundlage für die Berechnung der Durchwuchszeiten wurden die Jahrringe bis zu bestimmten Radien gezählt, nämlich für:

- BHD-Stufen von 4 cm (0- 4, 4- 8, 8-12, 12-16, 16-20) Radien von 2, 4, 6, 8 und 10 cm
- BHD-Stufen von 5 cm (0- 5, 5-10, 10-15, 15-20) Radien von 2.5, 5.0, 7.5 und 10.0 cm

An allen Auslesebäumen und Aushieben wurden Schäden und zukünftige Risiken erhoben. Unter "Schaden" verstehe ich jede Beeinträchtigung eines erwünschten Zustandes von Bäumen. Darunter fallen nicht nur Verletzungen der Stammachse (Wipfelbruch) oder der Rinde, sondern auch Krankheiten (z.B. Tannenkrebs, Wolllaus) und Wuchsanomalien (z.B. Drehwuchs). Beeinträchtigungen der Stabilität oder Vitalität werden dagegen nicht als Schäden, sondern als Risiken für das Erreichen der waldbaulichen Ziele aufgefasst. Es wurden folgende Schadenarten an Laub- (Tab. 3.4-6) und Nadelbäumen (Tab. 3.4-5) erfasst:

Tab. 3.4-5: An Nadelbäumen erhobene Schadenarten und ihre Definition.

| Schadenart | Definition |
|----------------------------|---|
| Wipfelbruch, aktuell | Verlust eines Teils des Wipfels mit mind. 2 Jahreszuwächsen |
| Wipfelbruch, ausgewachsen | Krümmungen in der Stammachse als Folge der Entwicklung eines einzigen Triebes nach Wipfelbruch oder Endtriebverlust |
| Zwiesel | Entwicklung zweier gleichwertiger Triebe nach Endtriebverlust |
| Verlust des Endtriebes | Verlust der Endknospe oder des Terminaltriebes |
| Rindenverletzung, aktuell | Holzkörper sichtbar, unabhängig von der Verletzungsgrösse |
| Rindenverletzung, überwält | Holzkörper aufgrund der Wundreaktion nicht mehr sichtbar |
| Schiefwuchs (einschnürrig) | Abweichung von der Lotrechten von mehr als 5° |
| Säbelwuchs | Krümmung des Schaftfusses bis max. 0,5 m Baumhöhe |
| Grobastigkeit (Protz) | Äste unterhalb 10 m Höhe mit mehr als 3 cm Durchmesser |
| übrige | alle übrigen Schäden |

Tab. 3.4-6: Zusätzlich an Laubbäumen erhobene Schadenarten

| Schadenart | Definition |
|--------------------------|--|
| Krummwuchs (unschnürrig) | Abweichung der Stammachse von der Lotrechten in 2 Ebenen |
| Schlingelwuchs | Zickzackwuchs der Hauptachse des Baumes |
| Steilastigkeit | Äste erster Ordnung in einem Winkel < 45° |
| Astbeulen | mind. 2 cm vorstehende Beulen an ehemaligem Astansatz |

3.5 Abgeleitete Merkmale

3.5.1 Berechnung des Standortpotentials

Unter Standortpotential verstehen wir den höchstmöglichen Zuwachs (durchschnittlicher Gesamtzuwachs dGZ) bzw. die höchstmögliche Gesamtwuchsleistung GWL (Summe von Vorrat und Vornutzungen), die auf einem bestimmten Standort möglich ist. Das Standortpotential hängt ab von den Standortfaktoren, insbesondere vom Boden (geologisches Substrat, Bodenart und -tiefe), vom Klima (Niederschlag und Temperatur) und von der Geländeausformung (Topographie, Exposition, Hangneigung).

Die Standortsbonitierung im gleichförmigen Hochwald wird üblicherweise aufgrund der Alters-Höhenkurve oder des durchschnittlichen Gesamtzuwachses vorgenommen. Sie basiert auf zwei stochastischen Beziehungen, welche die Grundlage fast aller heutigen Ertragstabellen darstellen. Die erste Beziehung drückt aus, dass die Mittelhöhen-Entwicklung (heute Oberhöhenentwicklung) als Funktion des Alters verstanden werden kann. Die zweite Grundbeziehung besagt, dass zu einer gegebenen Bestandeshöhe eine bestimmte Gesamtwuchsleistung gehört (Eichhornsches Gesetz). Daraus kann abgeleitet werden, dass die Gesamtwuchsleistung eine Funktion der Bestandeshöhe (in einem bestimmten Alter) ist. Die Gesamtwuchsleistung auf einem bestimmten Standort ist deshalb innerhalb bestimmter Grenzen der Bestandesdichte konstant, unabhängig vom waldbaulichen Konzept (sinngemäss nach Kramer 1988).

Im Plenterwald kann das Alter wegen der langdauernden Jugendunterdrückung nicht als Massstab verwendet werden, da die Höhe nicht mehr Funktion des Alters ist. Nach den Untersuchungen von Flury (1929) besitzen die Mittelhöhen der Stärkeklassen eine gewissen Konstanz und sind deshalb geeignet, als Massstab für die Einschätzung der Standortsgüte zu dienen. Wegen des gehemmten Jugendwachstums eignen sich dazu aber nur die Stärkeklassen IV (36 - 51 cm BHD) und V (52 - 71 cm BHD). Aufgrund der Baumhöhen in diesen Stärkeklassen stellte Flury für die Bonitierung von Plenterwäldern eine fünfstufige Höhenskala je für Fichte und Tanne auf. Mitscherlich (1952) kritisiert diese Art der Bonitierung und weist darauf hin, dass in der Beziehung Höhe zu Alter ein echter Leistungsmaßstab steckt, was bei der Beziehung Höhe zu Durchmesser nicht der Fall ist. Er schlägt deshalb vor, den Durchmesserzuwachs als Bonitätsmaßstab zu verwenden. Weil der Durchmesserzuwachs des Schwach- und Mittelholzes zusätzlich zum Seitendruck auch vom Schirmdruck abhängt, berücksichtigt Mitscherlich für seine Bonitierungstabelle nur die Stämme von 50 und mehr cm BHD.

Assmann (1953) weist nach, dass die auf der Plenterwald-Untersuchungsfläche Toppwald der WSL beschriebene Verlagerung der Höhenkurven (Flury 1929, 1933) auf eine Erhöhung des mittleren Alters der Bäume der oberen Stärkeklassen zurückzuführen ist. Nach Assmann sind also im Plenterwald die Alterswirkungen keineswegs ausgeschaltet, jedoch schwieriger festzustellen. Ohne Berücksichtigung des Altersfaktors bzw. der Zeit lassen sich gewisse Erscheinungen im Plenterwald weder gedanklich erfassen noch praktisch beherrschen. Dies gilt vor allem auch für die Frage der Bonitierung und des Vergleichs der Leistungen von Plenterwald und Schlagwald. Weil die Untersuchungsflächen z.T. stark von den Abteilungen abweichen und die Einrichtungs-Perioden verschieden sind, konnten die Zuwachs-Ergebnisse aus der Kontrollmethode nicht für die Bonitierung verwendet werden. Bohrungen an Stämmen kamen aus wirtschaftlichen Gründen ebenfalls nicht in Frage. Deshalb wurde für die Bonitierung einerseits auf die Standortdaten zurückgegriffen, andererseits nach dem Ansatz von Flury Mittelhöhen für die Stärkeklasse 50 bis 69 cm BHD berechnet. Auch wenn die Beziehung zwischen Durchmesser und Baumhöhe nicht direkt als Leistungsmaß verwendet werden kann, ist es unbestritten, dass die erreichten Endhöhen auf schlechten Standorten wesentlich unter denjenigen von guten Standorten liegen. Aufgrund der Abflachung der Höhenkurve oberhalb von rund 50 cm BHD kann die Mittelhöhe zwischen 50 und 69 cm BHD als Annäherung an die standörtlich erreichbare Endhöhe verstanden und deshalb als Hilfsmass für die Standortsgüte verwendet werden.

3.5.2 Merkmale zur Charakterisierung der Vitalität von Einzelbäumen

Die Untersuchung der Krone und ihrer Kennwerte geht vom bewährten Kronenmodell nach Burger (1939) aus. Wesentliches Charakteristikum ist die Unterteilung der Krone in eine Lichtkrone oberhalb der maximalen Kronenbreite und eine Schattenkrone unterhalb derselben. Aus der Messung der Baumhöhe, der Höhe der maximalen Kronenbreite HMKB und des untersten grünen Astquirles GAST lassen sich folgende Kennwerte der Kronenlänge ableiten :

- Kronenlänge KLA Baumhöhe - GAST
- Lichtkronenlänge KLAL Baumhöhe - HMKB
- Schattenkronenlänge KLAS HMKB - GAST

Die Kennwerte der Kronenlänge sind absolut oder relativ (bezogen auf Baumhöhe) angegeben.

Aus der Messung der Kronenradien in den vier Hauptrichtungen (Nord, Ost, Süd, West) wurden folgende Kennwerte der Kronengrösse abgeleitet (nach Kramer & Akça, 1987):

- mittlerer Kronenradius KRAD arithmetisches Mittel der vier gemessenen Kronenradien
- Kronenbreite KBRE doppelter mittlerer Kronenradius
- Kronenschirmfläche KSFL Berechnung mit Hilfe des Teilkreismodelles, bei dem jeweils das arithm. Mittel zweier benachbarter Radien als Eingangsgrösse zur Berechnung der Teilkreisflächen verwendet wird.
- Kronenmantelfläche KMFL Berechnung einer Paraboloidmantelfläche nach der Formel $\pi * KRAD/6 * KLA [(4 * KLA^2 + KRAD^2)^{3/2} - KRAD^3]$.

Mit Hilfe von erhobenen oder abgeleiteten Merkmalen der vertikalen oder horizontalen Kronenausdehnung wurden Kennwerte der Kronenform entwickelt:

- Lichtkronenquotient Quotient aus Kronenbreite und Länge der Lichtkrone
- Kronensymmetrie KSYM Quotient aus dem grössten und dem kleinsten Kronenradius bzw. (Aushieb) Quotient aus der Summe der jeweils längeren und der Summe der jeweils kürzeren Kronenradien.

Im Gegensatz zum Plumpeitsgrad (Kronenbreite durch Kronenlänge, Kramer & Akça, 1987) berücksichtigt der Lichtkronenquotient nur die physiologisch wesentlich bedeutendere Lichtkrone. Er ist deshalb sowohl ein Mass für die Kronenform in vertikaler Richtung als auch für die Wuchskraft in den letzten Jahrzehnten. Mit Hilfe des Lichtkronenquotienten können Bäume mit ähnlichen Kronenformen bestimmt und in einem relativen Masssystem gemeinsam dargestellt werden (Kap. 8.3.3). In dieser Untersuchung wurden vier Kronentypen nach quantitativen Kriterien definiert:

Spitzkrone: Lichtkrone deutlich länger als breit, Lichtkronenquotient ≥ 1.5

Langkrone: Lichtkrone wenig länger als breit, $1.0 \leq$ Lichtkronenquotient < 1.5

Kurzkrone: Lichtkrone wenig kürzer als breit, $0.667 \leq$ Lichtkronenquotient < 1.0

Stumpfkrone: Lichtkrone deutlich kürzer als breit, Lichtkronenquotient < 0.667 .

Die Kronensymmetrie drückt die Abweichung der horizontalen Kronenprojektion von der Kreisform aus. Aktuelle Forschungsansätze verwenden dazu den Abstand und die Richtung des Schwerpunktes der Kronenprojektion vom Stammmittelpunkt (Rouvinen & Kuuvulainen, 1997). Aufgrund der rudimentären Erhebung von nur vier Kronenradien liess sich ein solcher Aufwand nicht rechtfertigen. Deshalb wurde die Kronensymmetrie über den Quotienten des kürzesten zum längsten Kronenradius definiert. Damit werden auch einseitig asymmetrische Kronen identifiziert.

Als Mass der momentanen Vitalität wurde die Entwicklungstendenz ET der Bäume abgeleitet. Sie wird mit Hilfe des TriebLängenquotienten TLQ definiert, d.h. dem Längenverhältnis des Endtriebes zum Mittel der Seitentriebe des obersten Quirles. In Anlehnung an Indermühle (1978) wurden drei Klassen unterschiedlicher Entwicklungstendenz definiert:

ET 3: Endtrieb deutlich länger als die obersten Seitentriebe, TLQ > 1

ET 2: Endtrieb ungefähr so lang wie die obersten Seitentriebe, TLQ ≈ 1

ET 1: Endtrieb deutlich kürzer als die obersten Seitentriebe, TLQ < 1 .

3.5.3 Merkmale zur Charakterisierung der Konkurrenzwirkung auf Einzelbäume

Als direkte Konkurrenten werden in einschichtigen Beständen alle Nachbarbäume bezeichnet, welche den betrachteten Baum im Bereich seiner grünen Krone berühren, ihm dadurch Licht, Wasser und Nährstoffe entziehen und dessen seitliche Ausbreitung verhindern oder behindern. In mehrschichtigen oder stufigen Beständen tritt zur horizontalen die vertikale Konkurrenz durch die stärkeren Bäume hinzu (Otto 1994). Bäume der oberen und mittleren Höhenklasse wirken sich durch den Schirmdruck auf die Lichtversorgung, durch die Wurzelkonkurrenz auf die Nährstoff- und Wasserversorgung der darunter wachsenden Nachwuchsbaume negativ aus. Diese Wirkung ist besonders gross, wenn die kleineren Bäume unter dem Schirm der grösseren Bäume wachsen. Zur genauen Erfassung der Konkurrenzverhältnisse bei den Nachwuchsbaumen im Plenterwald müssen deshalb, neben den seitlichen Konkurrenten derselben Stärkeklasse, auch weiter entfernte, stärkere Bäume berücksichtigt werden, welche eine direkte Wirkung auf die weitere Entwicklung des Messbaumes haben könnten. Nach Untersuchungen von Badoux (1949) beträgt die Kronen- grundfläche auch bei dicken Bäumen (Buchen mit BHD > 50, Tannen mit BHD = 90) nicht mehr als 100 m². Der maximale Kronenradius von starken Bäumen ist also kleiner als 6 m, jener der Bäume mit rund 20 cm BHD rund 2 m. Zur Erfassung der Gesamtkonkurrenz wurden deshalb pro Messbaum folgende Nachbarbäume in einer konzentrischen Stichprobe aufgenommen:

- bis zu einem Abstand von 5.64 m (1 Are) alle Bäume mit BHD > 7.4
- bei Messbäumen mit BHD < 7.5 alle direkten Konkurrenten mit Kronenberührung
- bis zu einem Abstand von 9.77 m (3 Aren) alle Bäume mit BHD > 17.4

Von allen Bäumen innerhalb der Stichprobe wurde die Baumart, der BHD, der Abstand zum Messbaum und die Lage innerhalb der Kreisfläche mit Hilfe von 6 Kompartimenten bestimmt. Die Lage der frischen Stöcke und deren Durchmesser am Schaftfuss wurde ebenfalls erhoben. Zusätzlich wurde die Baumhöhe aller direkten Konkurrenten und der Bäume über 50 cm BHD gemessen und der Kronenradius der grösseren Bäume in Richtung des Messbaumes gemessen. Die Konkurrenzsituation eines Baumes wird häufig durch einen Konkurrenzindex ausgedrückt. Die geläufigen Konkurrenzindices wurden für gleichförmige Bestände entwickelt und können in stufigen Beständen nicht ohne weiteres angewendet werden. Ideal wäre die Verwendung der von Pretzsch (1990, 1992) entwickelten Modelle zur Analyse der Konkurrenz im dreidimensionalen Raum. Dies hätte aber wesentlich detailliertere Aufnahmen der Konkurrenzbaume erfordert. Deshalb wurden zwei andere Konkurrenzindices berechnet:

- Die Konkurrenzzahl nach Schütz (1989), basierend auf dem Abstand, dem Höhenunterschied und der Kronenbreite des Messbaumes (Zentralbaum) und seiner Nachbarn (Konkurrenten).

$$\text{Konkurrenzzahl KZ} = \sum_i (0.5 - \Delta d + 0.65 * \Delta h)$$

Legende: $\Delta d = (d - D) / D$

d = Distanz zwischen Zentralbaum Z und Konkurrent K

D = mittlere Kronenbreite KB von Z und K (=Kronenradius Z + Kronenradius K)

$\Delta h = \Delta H / D$ (Höhenunterschied zwischen Z und K im Verhältnis zur mittl. KB)

ΔH = Höhenunterschied zwischen Zentralbaum und Konkurrent)

- Der Konkurrenzindex nach Groualle und Minot (1989), der auf ähnlichen Überlegungen beruht wie die Konkurrenzzahl.

$$\text{Konkurrenzindex KI} = [\sum (H_i/d_i) / \sum (1/d_i)] * n / H * 4$$

Legende: H_i = Höhe des Konkurrenten

d_i = Distanz zwischen Zentralbaum Z und Konkurrent K

n = Anzahl der Konkurrenten

H = Höhe des Zentralbaumes

Als dritte Kenngrösse wurde die Anzahl der potentiellen Konkurrenten berechnet und bei der statistischen Analyse als kategoriales Merkmal verwendet. Aus den Detailaufnahmen der Auslesebaume und der Kronenausladung der Konkurrenten wurde ein potentieller Kronendurchmesser pro Baumart berechnet. Als potentielle Konkurrenten wurden diejenigen Bäume angesprochen, deren berechnete Kronenradien sich mit der Modellkrone des Auslesebaumes überschneiden und welche zu einer ähnlichen Höhenklasse gehören.

3.5.4 Merkmale zur Charakterisierung der Qualität von Einzelbäumen

Für die Qualitätsbeurteilung unterscheidet Leibundgut (1978) zwischen Güte Merkmalen und Fehlern der Stammform einerseits und der Holzeigenschaften andererseits. Für nahezu jeden Verwendungszweck seien gerade, kreisrunde Stämme mit geringer Durchmesserabnahme von Vorteil. Krummschaftigkeit, Aufteilung der Schaftachse, Abholzigkeit, exzentrischer und spannrückiger Wuchs seien somit als Fehler zu betrachten. Daraus ergeben sich Qualitätsanforderungen an die Geradschaftigkeit und an die Schaftform.

Die Geradschaftigkeit wird durch die Abweichung des Stammes vom Lot (Schrägwuchs) und durch die allfällige Krümmung des Schaftes in einer (einschnüurig) oder mehreren (unschnüurig) Ebenen erfasst.

Die Schaftform kann grundsätzlich durch einen Längsschnitt (Schaftkurve) zur Beurteilung der Vollholzigkeit und einen Querschnitt erfasst werden. Der Längsschnitt wurde nur an den Bäumen des Aushiebes bestimmt, der Querschnitt an allen Ausleseebäumen durch Messung zweier rechtwinklig zueinander stehender Durchmesser auf 1.3 m Höhe. Aus diesen zwei Durchmessern kann der BHD-Quotient als Mass für die Ovalität des Schaftes durch Division des grösseren durch den kleineren Durchmesser berechnet werden:

$$\text{BHDQ (\%)} = 100 * (\text{MAX}(\text{BHDA}, \text{BHDB}) / \text{MIN}(\text{BHDA}, \text{BHDB}))$$

Bei der Beurteilung der Holzeigenschaften spielen die folgende Merkmale eine wichtige Rolle:

- Gesundheit, d.h. das Fehlen von Schädlingen, Krankheiten und Verletzungen.
- Astigkeit, d.h. Anzahl, Durchmesser und Baumhöhenverteilung der Grün- und Dürnräste.
- regelmässiger Jahrringbau, d.h. kein abrupter Übergang von engen zu breiten Jahrringen.

Bei der Astigkeit muss zwischen Grünast- und Dürnrastbereich unterschieden werden. Grünäste wachsen vollständig in den Holzkörper ein, Dürnräste dagegen werden umwachsen und ergeben Ausfallstellen. Die Astigkeit lässt sich demnach beurteilen nach Grün- und Dürnrastbereich (Höhe am Stamm, Länge), Aststärke (Astdurchmesser) und Astdichte (Anzahl Äste pro Laufmeter). Der mittlere Astdurchmesser unterhalb von 10 m Höhe wurde geschätzt und einer der drei folgenden Kategorien feinastig (< 2,0 cm), normal (2,0 – 2,9 cm) und grobastig (≥ 3,0 cm) zugewiesen.

Die Astdichte wurde mit Hilfe der Teleskopstange bis auf eine Höhe von 10 m quantitativ erfasst. Wichtigste Zielgrösse für die Beurteilung der Astigkeit ist die Länge des astfreien Schaftes. Sie entspricht der Höhe des untersten Dürnrastes. Die Berechnung der relativen astfreien Schaftlänge ermöglicht den Vergleich unterschiedlich dicker Bäume. Aus der Höhe des untersten Grünastquirles GAST (mit mindestens 2 grünen Ästen) und des untersten Dürnrastes DAST mit mindestens 5 cm Länge lassen sich zusätzlich folgende Schaftkennwerte ableiten :

- Dürnrastbereich DAB GAST - DAST
- relativer Dürnrastbereich RDAB 100*(GAST - DAST)/HOEHE

Für die Beschreibung der Schaftform von Aushieben wurden folgende Parameter verwendet:

- Unechte Ausbauchungsreihe: sie gibt die Verhältnisse der Stammdurchmesser in gleichen absoluten Abständen (hier: alle 2 m) zu einem Bezugsdurchmesser (meist BHD) an.
- Durchmesserabnahme pro Laufmeter von 2 bis 8 m Höhe als Mass für die Vollholzigkeit.
- Echte Formzahl nach Hohenadl (λ) als Mass für die Formigkeit des Baumes.
Sie ist definiert als das Volumen des Baumes (v) im Vergleich zu einer Bezugswalze (w), deren Durchmesser einem Baumdurchmesser in relativer Baumhöhe (meist 10%) und deren Länge der Baumhöhe entspricht: $\lambda_{0,1} = v / w_{0,1}$ (Formzahl nach Hohenadl)
- Schaftovalität und Durchmesserdivergenz als Mass für die Abweichung des Schaftquerschnittes von der Kreisform. Als Schaftovalität wird der Quotient von grösserem zu kleinerem Durchmesser auf einer bestimmten Baumhöhe bezeichnet. Sie gibt die relative Abweichung des grösseren vom kleineren Durchmesser an, die Durchmesserdivergenz die absolute.

3.5.5 Merkmale zur Charakterisierung von Schäden und Risiken am Einzelbaum

Im Zusammenhang mit der Auswahl von Ausleseebäumen können Anforderungen an die Stabilität, Vitalität und Qualität formuliert werden. Sind diese Anforderungen aufgrund von Verletzungen, Krankheiten oder Holzfehler nicht erfüllt, sprechen wir von Schäden, andernfalls von Risiken. Es gibt Schäden, welche sich nur auf ein Kriterium auswirken, solche, welche sich auf zwei und solche, welche sich auf alle drei Kriterien auswirken. Drehwuchs z.B. hat nur auf die Holzqualität einen negativen Einfluss, nicht aber auf die Vitalität oder Stabilität der Bäume. Im Gegensatz dazu wirkt sich ein Stammkrebs auf Qualität, Vitalität und Stabilität der Bäume gleichermassen aus. Eine solche Zuordnung der einzelnen Schäden und Risiken zu den Beeinträchtigungen der waldbaulichen Anforderungen erlaubt eine eindeutige Aussage darüber, in welcher Art und in welchem Umfang sich die Schäden und Risiken auf die kombinierte Erfüllung aller Anforderungen an die Stabilität, Vitalität und Qualität eines Einzelbaumes auswirken. Damit kann die waldbauliche Brauchbarkeit von Ausleseebäumen beurteilt werden (vgl. Kap. 6.6).

3.6 Statistische Auswertung

Die Daten wurden mit den Programmpaketen SAS (PC-Versionen 6.04 unter DOS und 6.08 unter Windows) und SYSTAT (Version 5.02) statistisch ausgewertet und graphisch dargestellt. Die Anwendung der statistischen Methoden folgen, wo nicht anders angegeben, den von Lozán 1992 vorgegebenen Flussdiagrammen für den Vergleich zweier Stichproben (S. 79) und für den Vergleich mehrerer Stichproben (S. 109).

Bei der Berechnung von arithmetischen Mittelwerten wurden jeweils die Standardabweichung, der W-Wert der Normalverteilungsprüfung NVP nach dem Shapiro-Wilks-Test und die zugehörige Überschreitungswahrscheinlichkeit angegeben. Die Daten gelten als normalverteilt, falls der W-Wert grösser als 0,10 ist. Da viele Daten in der Naturwissenschaft nicht normalverteilt sind, wurde zusätzlich meist das erste Quartil, der Median und das dritte Quartil angegeben, teilweise auch das 5 % - und das 95%-Perzentil.

Bei der graphischen Darstellung von Datenverteilungen wurden häufig die von Tukey 1977 entwickelten "Box-and-Whisker-Plots" angewendet. Die horizontale Mittellinie entspricht dabei dem Median, Unter- und Oberkante der Box sind die ersten bzw. dritten Quartile. Die vertikale Linie beschreibt die Spannweite der Verteilung und erstreckt sich höchstens über den anderthalbfachen Interquartilbereich (=Boxgrösse). Werte zwischen dem anderthalbfachen und dem dreifachen Quartilsabstand werden durch Sterne (*), noch extremere Werte durch Kreise (°) gekennzeichnet (Systat for Windows: Graphics, Version 5 Edition, Seite 195). Diese Darstellung wurde oft noch durch das Einfügen der Standardabweichungen als Einkerbungen ("notched") ergänzt, was den Vergleich zweier oder mehrerer Medianwerte ermöglicht (Lozán 1992: S.46).

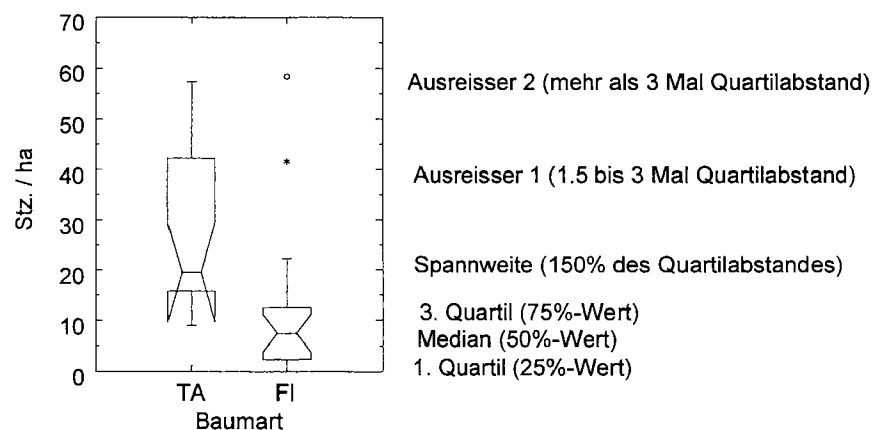


Abb. 3.6-1: Beispiel einer Boxplot-Darstellung, "notched boxplots" mit Ausreissern.

Entsprechend ihrer Verteilung mussten die Daten zahlreicher Variablen für die Anwendung parametrischer Tests und Modellberechnungen (insbesondere lineare Regressionsmodelle) transformiert werden. Linksschief verteilte Daten wurden Logarithmus-transformiert (Basis e), rechtschiefe Verteilungen wurden durch Reziproken-Transformation in Normalverteilungen überführt.

Der Vergleich von Gruppen erfolgte bei nicht normalverteilten Daten meist mit dem Rangsummentest (U-Test nach Mann-Whitney) im Zweistichproben-Fall und mit dem H-Test nach Kruskal-Wallis im Mehrstichproben-Fall. Bei starken Verteilungsunterschieden musste auf den Median bzw. den erweiterten Median-Test zurückgegriffen werden.

Normalverteilte Daten wurden mit dem t-Test, im Mehrstichproben-Fall mittels Varianzanalyse (F-Test) verglichen. Der multiple Vergleich der Mittelwerte wurde bei balancierten Daten mit dem Tukey-Test (wenige Stichproben) oder mit dem Test nach Student-Newman-Keuls (viele Stichproben), bei unbalancierten Daten mit dem Scheffé-Test durchgeführt.

Kategoriale Daten wurden hauptsächlich mittels logistischer Regressionsmodelle analysiert. Die logistische Regression eignet sich besonders gut, um den Einfluss mehrerer Faktoren auf qualitative Merkmale zu ermitteln. Das zugrundeliegende kategoriale Modell ist der multiplen Regression ähnlich und berücksichtigt die binäre Struktur der Daten. Die statistischen Grundlagen sind in Cox (1977) beschrieben, und ein Anwendungsbeispiel aus den Forstwissenschaften ist in Mandallaz et al. (1986) dargestellt. Die SAS-Prozedur CATMOD beschreibt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Beobachtung bei gegebenen erklärenden Variablen ein bestimmtes Merkmal aufweist, z.B. das Vorhandensein eines Engkerns. Darüber hinaus bestimmt sie, wie gross der Einfluss der untersuchten Faktoren auf den zu beschreibenden Zustand ist. Die Parameter werden mit Maximum Likelihood-Verfahren geschätzt.

Für metrische Daten kamen verschiedene multivariate Verfahren (Backhaus et al. 1989) zur Anwendung: Gruppierungen mehrdimensionaler Objekte (Bestände) wurden mittels Clusteranalysen vorgenommen (Deichsel, Trampisch 1985), Variablenreduktionen wurden mittels Hauptkomponentenanalyse durchgeführt (Flury, Riedwyl 1983).

Zur paarweisen Überprüfung statistischer Zusammenhänge zwischen quantitativen Variablen wurde jeweils der Korrelationskoeffizient nach Spearman berechnet. Daraus abgeleitete multivariate Regressionsmodelle umfassten in einem ersten Schritt sämtliche erhobenen Merkmale (volles Modell). Dieses wurde in einem zweiten Schritt auf die drei bis vier wichtigsten reduziert. Teilweise waren linearisierende Transformationen notwendig, um nichtlineare Kurven in Geraden zu überführen und dadurch die Berechnung einer linearen Regression zu ermöglichen. Neben den einfachen und multiplen linearen Regressionen wurden zum Teil auch Gleichungen zweiten Grades für die Modellbildung geprüft. Die Regressionsmodelle wurden über die Verteilung der Residuen überprüft. Die geforderte Normalverteilung der Residuen wurde mit dem Shapiro-Wilks-Test geprüft.

Um den Einfluss metrischer und kategorialer Einflussvariablen auf eine Zielvariable zu prüfen, wurde die Kovarianzanalyse verwendet. Sie verbindet nach Dufner et al. (1992) Methoden der Varianzanalyse und der Regressionsanalyse im Rahmen der linearen Modelle. Das Varianzanalysemodell wird dahingehend erweitert, dass eine oder mehrere Kovariablen, die mit der quantitativen Zielvariablen in Beziehung stehen, in das Modell aufgenommen werden. Dadurch soll einerseits die Fehlervarianz gegenüber einem reinen Varianzanalysemodell verringert und andererseits die Interpretierbarkeit der Behandlungseffekte verbessert werden (S. 357).

Als Signifikanzgrenzen wurden Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % (schwach signifikant *), 1 % (signifikant **) und 0.1 % (hochsignifikant ***) angegeben, ausnahmsweise auch 10 % (sehr schwach signifikant (*)).

4 Struktur von Hauptbestand und Nachwuchs

4.1 Plenterstruktur

Die Struktur und Textur der Untersuchungsflächen, d.h. ihre Verteilung auf Stärkeklassen und Baumarten, ist in der Tab A.4.2-1 im Anhang zusammengestellt, die Stammzahlabnahmekurven in den Abb. A.4.2-1, a bis c. An dieser Stelle werden die nach Stärkeklassen zusammengefassten Ergebnisse wiedergegeben (Tab. 4.1-1).

Tab. 4.1-1: Struktur der Untersuchungsflächen, alle Bäume mit BHD > 17.4 cm. Stammzahl und Vorrat pro Stärkeklasse, Grundfläche total.

| FNR | FLA | Stammzahl pro Klasse (Stz/ha) | | | | | GFL | Vorrat pro Klasse (sv/ha) | | | | |
|-----|------|-------------------------------|-----|----|----|-----|------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | PB | MB | GB | TG | STZ | | PB | MB | GB | TG | VOL |
| 1 | 0.49 | 97 | 35 | 39 | 14 | 185 | 29.2 | 38 | 61 | 163 | 91 | 353 |
| 2 | 0.55 | 183 | 72 | 31 | 17 | 303 | 37.2 | 79 | 110 | 126 | 117 | 432 |
| 3 | 0.79 | 141 | 68 | 42 | 4 | 255 | 30.0 | 61 | 106 | 154 | 27 | 348 |
| 4 | 0.81 | 87 | 74 | 45 | 15 | 221 | 34.9 | 38 | 119 | 170 | 93 | 419 |
| 5 | 0.85 | 108 | 80 | 48 | 4 | 240 | 32.1 | 48 | 135 | 175 | 21 | 379 |
| 6 | 0.46 | 130 | 82 | 56 | 2 | 270 | 35.2 | 52 | 137 | 213 | 14 | 416 |
| 7 | 0.68 | 157 | 62 | 22 | 0 | 241 | 21.4 | 68 | 90 | 79 | 0.0 | 236 |
| 8 | 0.42 | 182 | 61 | 26 | 2 | 271 | 24.5 | 71 | 88 | 100 | 13 | 273 |
| 9 | 0.47 | 103 | 45 | 41 | 11 | 200 | 29.7 | 40 | 80 | 158 | 78 | 356 |
| 10 | 0.38 | 102 | 52 | 50 | 10 | 214 | 32.5 | 37 | 98 | 190 | 67 | 392 |
| 11 | 0.88 | 167 | 75 | 36 | 12 | 290 | 34.7 | 74 | 113 | 135 | 81 | 402 |
| 12 | 0.83 | 208 | 63 | 19 | 2 | 292 | 25.2 | 97 | 89 | 74 | 14 | 274 |
| 13 | 1.05 | 194 | 88 | 24 | 3 | 309 | 29.3 | 83 | 141 | 88 | 17 | 329 |
| 14 | 0.63 | 62 | 111 | 30 | 0 | 202 | 27.8 | 25 | 184 | 119 | 0 | 328 |
| 15 | 0.92 | 102 | 26 | 33 | 26 | 187 | 32.9 | 38 | 41 | 138 | 182 | 399 |
| 16 | 0.42 | 146 | 61 | 31 | 7 | 245 | 27.2 | 64 | 88 | 117 | 44 | 313 |
| 17 | 0.34 | 166 | 24 | 12 | 15 | 217 | 22.8 | 75 | 27 | 57 | 100 | 258 |
| 18 | 0.65 | 145 | 98 | 32 | 8 | 283 | 32.6 | 60 | 150 | 118 | 47 | 376 |

Legende:

FNR= Flächennummer

FLA = Flächengrösse in ha

STZ= Stammzahl pro ha

GFL = Grundfläche (m²) pro ha

VOL = Vorrat (sv) pro ha

PB = Schwachholz (17.5 bis 32.4 cm BHD)

MB = Mittelholz (32.5 bis 52.4 cm BHD)

GB = Starkholz (52.5 bis 72.4 cm BHD)

TG = Super-Starkholz (> 72.4 cm BHD)

Für die Vorratsberechnung wurde der Einheitstarif des Kt. Neuenburg verwendet (vgl. Tab. A.4.2-1 im Anhang).

Die Struktur der 18 Untersuchungsflächen variiert recht stark. Die Stammzahlen liegen zwischen 185 und 308, die Grundfläche zwischen 21 und 37 m², der Vorrat zwischen 236 und 431 m³. Der Anteil Schwachholz (PB) am GesamtVorrat beträgt 10 bis 30 %, beim Mittelholz (MB) sind es 10 bis 50 %, beim Starkholz 22 bis 51 % und beim Super- Starkholz 0 bis 45 % (Tab. 4.1-2).

Die Textur, ausgedrückt durch die Vorratanteile der drei Hauptbaumarten Tanne, Fichte und Buche und der beigemischten uebrigen Laubbäume, ergibt folgendes Ergebnis (Tab. 4.1-2):

14 Untersuchungsflächen sind von der Tanne dominiert (Anteil 46 bis 74 %), zwei Flächen von Tanne und Fichte gemeinsam (FNR 3 und 6) und zwei Flächen von der Fichte (FNR 9 und 10).

Der Laubholzanteil liegt zwischen 3 und 34 % des Vorrats, 7 Untersuchungsflächen weisen einen Laubholzanteil über 20 % des Vorrats auf, darunter alle Flächen in Südexposition.

Die Struktur von Plenterbeständen lässt sich graphisch durch ein Dreiecksdiagramm darstellen.

Dazu muss die Anzahl Stärkeklassen allerdings auf die üblichen drei Klassen Schwachholz (PB),

Mittelholz (MB) und Starkholz (GTB= GB + TG, d.h. BHD > 52.4 cm) reduziert werden. In der Abb. 4.1-1 ist die Position jeder Untersuchungsfläche im Dreiecksdiagramm ersichtlich.

**Tab. 4.1-2: Struktur der Untersuchungsflächen, alle Bäume mit BHD > 17.4 cm.
Vorratsanteil pro Stärkeklasse und pro Baumart (%).**

| FNR | FZE | Vorratsanteil pro Klasse (%) | | | | Vorratsanteil pro Baumart (%) | | | | | |
|-----|-----|------------------------------|------|------|------|-------------------------------|------|------|-----|------|------|
| | | PB | MB | GB | TG | TA | FI | BU | AL | NDH | LBH |
| 1 | A | 10.6 | 17.2 | 46.3 | 25.9 | 69.8 | 8.3 | 18.3 | 3.6 | 78.1 | 21.9 |
| 2 | B | 18.3 | 25.4 | 29.2 | 27.0 | 67.5 | 25.9 | 3.9 | 2.8 | 93.4 | 6.6 |
| 3 | C | 17.6 | 30.4 | 44.4 | 7.6 | 36.0 | 35.1 | 25.3 | 3.6 | 71.1 | 29.0 |
| 4 | D | 9.0 | 28.3 | 40.5 | 22.2 | 67.3 | 28.6 | 3.4 | 0.6 | 95.9 | 4.1 |
| 5 | E | 12.6 | 35.7 | 46.2 | 5.5 | 70.9 | 18.6 | 10.6 | 0.0 | 89.5 | 10.6 |
| 6 | F | 12.5 | 33.0 | 51.1 | 3.3 | 48.6 | 47.5 | 3.9 | 0.0 | 96.1 | 3.9 |
| 7 | G | 28.7 | 38.1 | 33.2 | 0.0 | 66.5 | 7.5 | 24.8 | 1.1 | 74.0 | 26.0 |
| 8 | H | 26.1 | 32.3 | 36.6 | 4.9 | 47.4 | 26.8 | 19.0 | 6.7 | 74.2 | 25.7 |
| 9 | I | 11.3 | 22.4 | 44.4 | 21.9 | 36.7 | 50.2 | 12.9 | 0.3 | 86.9 | 13.1 |
| 10 | J | 9.5 | 25.0 | 48.3 | 17.2 | 40.2 | 56.7 | 3.0 | 0.0 | 96.9 | 3.0 |
| 11 | K | 18.4 | 28.0 | 33.5 | 20.1 | 58.0 | 34.5 | 7.5 | 0.0 | 92.5 | 7.5 |
| 12 | L | 35.3 | 32.5 | 27.2 | 5.0 | 46.3 | 19.9 | 33.8 | 0.0 | 66.2 | 33.8 |
| 13 | M | 25.1 | 42.8 | 26.9 | 5.2 | 50.3 | 18.7 | 27.4 | 3.6 | 69.0 | 31.0 |
| 14 | N | 7.7 | 56.0 | 36.3 | 0.0 | 61.6 | 23.1 | 15.3 | 0.0 | 84.7 | 15.3 |
| 15 | O | 9.4 | 10.3 | 34.7 | 45.7 | 74.2 | 16.9 | 7.0 | 1.9 | 91.1 | 8.9 |
| 16 | P | 20.3 | 28.2 | 37.5 | 14.0 | 67.9 | 25.1 | 6.8 | 0.2 | 93.0 | 7.0 |
| 17 | Q | 28.9 | 10.3 | 22.0 | 38.8 | 48.8 | 23.9 | 27.3 | 0.0 | 72.7 | 27.3 |
| 18 | R | 16.0 | 40.0 | 31.5 | 12.5 | 53.0 | 28.9 | 18.2 | 0.0 | 81.9 | 18.2 |

Legende:

FNR = Flächennummer

FZE = Flächenzeichen

NDH = Nadelholz

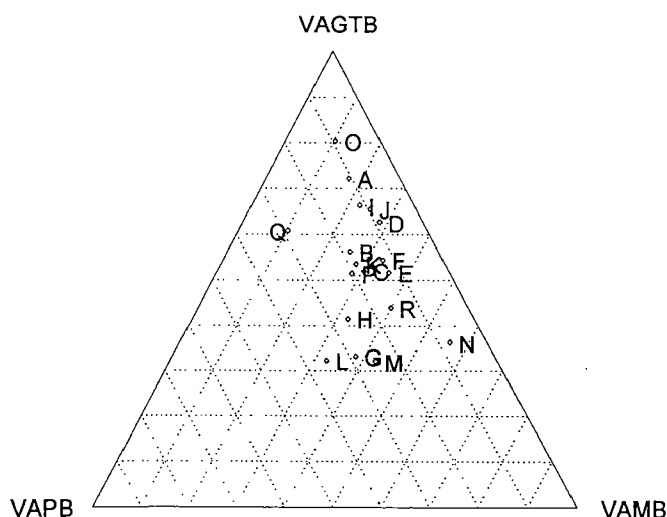
LBH = Laubholz

PB = Schwachholz (17.5 bis 32.4 cm BHD)

MB = Mittelholz (32.5 bis 52.4 cm BHD)

GB = Starkholz (52.5 bis 72.4 cm BHD)

TG = Super-Starkholz (> 72.4 cm BHD)



Legende:

VAPB: Vorratsanteil Schwachholz

VAMB: Vorratsanteil Mittelholz

VAGTB: Vorratsanteil Starkholz/

Super-Starkholz (> 52.4 cm)

Abb. 4.1-1: Vorratsverteilung auf Stärkeklassen.

Die Flächen N (14), O (15) und Q (17) weisen "extreme" Werte auf. Die andern Untersuchungsflächen befinden sich in einem Bereich von 5 bis 35 % PB, 15 bis 45 % MB und 30 bis 75 % GTB. Die objektive Gruppierung der Untersuchungsflächen wurde mittels Clusteranalyse vorgenommen, welche dem von Backhaus et al. (1994) empfohlenen Schema folgt. Neben den Vorratsanteilen der Stärkeklassen wurde auch die Grundfläche als Mass für die Bestandesdichte in die Berechnung einbezogen. Zuerst wurden mögliche Ausreisser nach dem Single-Linkage-Verfahren eruiert. Die Flächen 14 und 17 erwiesen sich dabei als aussergewöhnliche, eher zweischichtige Bestände (vgl. Abb. A.4.2-1 im Anhang). Nach Entfernen dieser zwei Datensätze wurde in einem zweiten Schritt die Strukturanalyse nach dem Ward-Verfahren durchgeführt.

Das daraus resultierende Dendrogramm ist in Abb. 4.1-2 dargestellt. Zur Überprüfung der Gruppenbildung wurden weitere Clusteranalysen mit absoluten Werten der Grundfläche und des Vorrats pro Stärkeklasse durchgeführt. Sie ergaben alle dieselbe Gruppierung.

TREE DIAGRAM

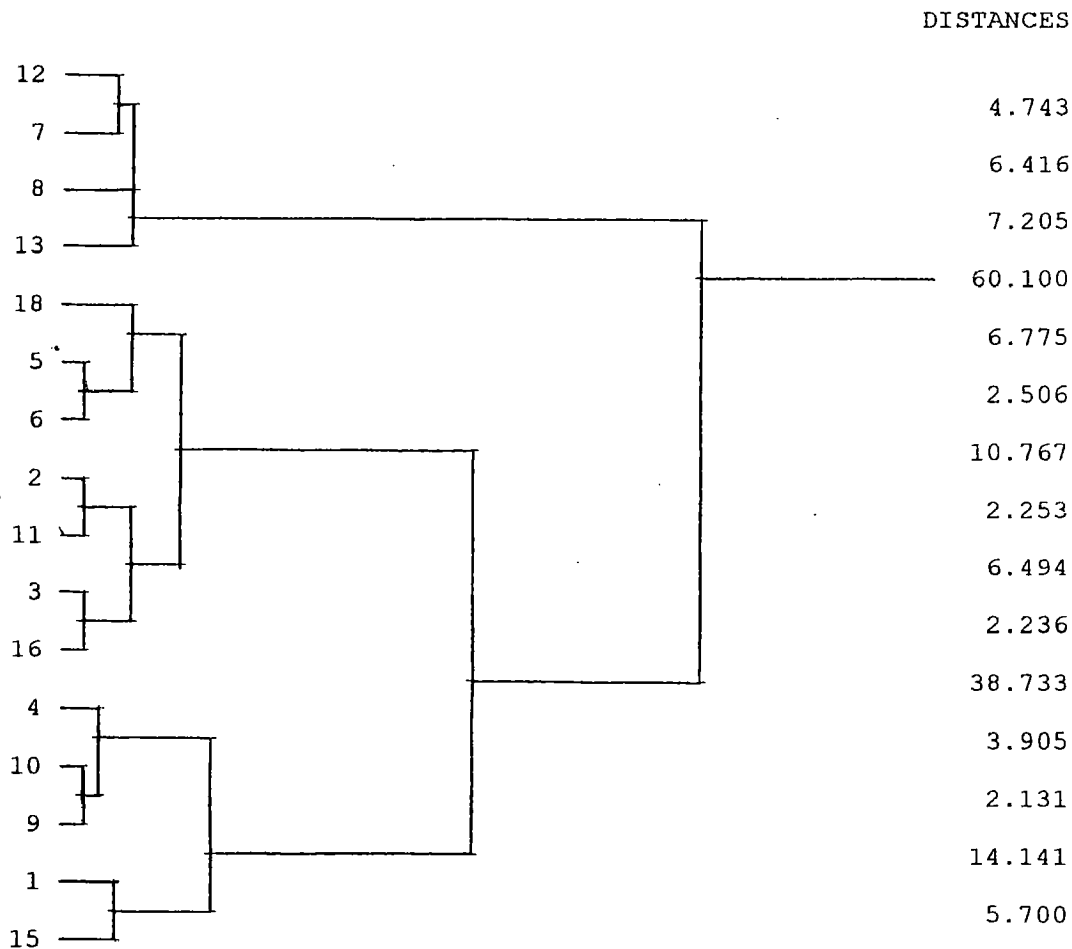


Abb. 4.1-2: Clusteranalyse der Plenterstruktur nach dem Ward-Verfahren,
mit den Variablen VAPB, VAMB, VAGB und GFL.

Die Zahlen am linken Rand entsprechen der Bestandesnummer, am rechten Rand ist das Verschmelzungsniveau von je zwei benachbarten Objekten angegeben.

Je nachdem, ob bei der Analyse drei oder vier Stärkeklassen verwendet werden, ergeben sich verschiedene Lösungen. Als relativ konstant erweisen sich die Gruppen 1 (FNR 1, 4, 9, 10, 15, d.h. A, D, I, J, O) und 3 (FNR 7, 8, 12, 13, d.h. G, H, L, M), während die Flächen 2 und 11 (B, K) manchmal in Gruppe 1 erscheinen. Sie werden deshalb als eigenständige Untergruppe behandelt.

Die resultierenden drei Gruppen können wie folgt charakterisiert werden (Tab. 4.1-3):

Gruppe 1a: Starkholzreiche Plenterstruktur mit wenig Schwachholz

Gruppe 1b: Starkholzreiche Plenterstruktur mit viel Schwachholz

Gruppe 2: normale Plenterstruktur mit ausgewogenem Stärkeklassenverhältnis

Gruppe 3: starkholzarme Plenterstruktur mit kleinem Vorrat.

Tab. 4.1-3: Charakteristiken der vier Plenterstruktur-Gruppen

| Gruppe | FNR | VOL (sv) | VOLGTB (sv) | VAGTB (%) | VOLTG (sv) | STZPB (/ha) |
|--------|-------------|----------|-------------|-----------|------------|-------------|
| 1a | 1,4,9,10,15 | > 350 | > 230 | > 60 | > 60 | < 110 |
| 1b | 2,11 | > 400 | 200 bis 250 | 50 bis 60 | > 60 | > 150 |
| 2 | 3,5,6,16,18 | > 300 | 150 bis 230 | 40 bis 55 | 15 bis 50 | 100 bis 150 |
| 3 | 7,8,12,13 | < 300 | < 120 | < 40 | < 20 | > 150 |

Legende:

FNR = Nr. der Untersuchungsflächen

VOL = Vorrat

STZPB = Stz. PB (17.5-32.5 cm BHD)

VOLGTB= Vorrat Klasse GTB (BHD > 52.4 cm)

VAGTB = Vorratsanteil Klasse GTB

VOLTG = Vorrat Klasse TG (BHD > 72.4 cm)

Eine Strukturanalyse mit hoch korrelierten Merkmalen (wie z.B. Stammzahl und Vorrat) sollte nicht mittels Clusteranalyse durchgeführt werden, weil bei der Fusionierung der Objekte bestimmte Aspekte überbetont werden, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann (Backhaus et al. 1994).

Zur Reduktion korrelierter Variablen eignet sich dagegen die Hauptkomponenten-Analyse. Sie wird im folgenden benutzt, um die Stammzahl pro ha und die Vorratsverteilung auf die vier in Tab. 4.1-1 und Tab. 4.1-2 tabellierten Stärkeklassen PB, MB, GB und TG sichtbar zu machen.

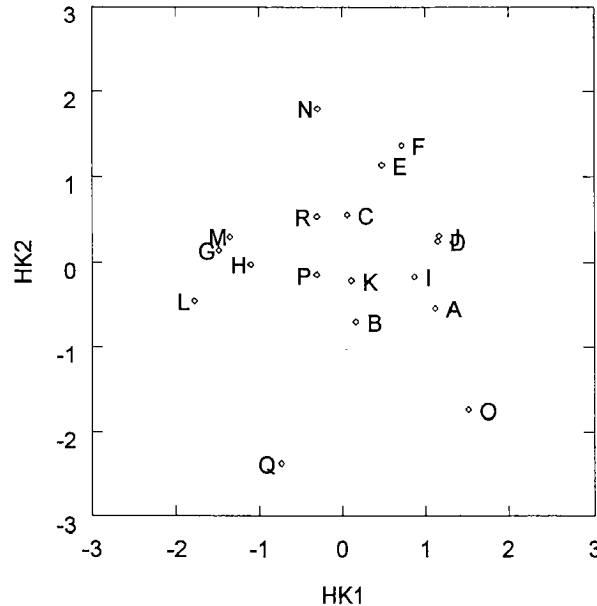


Abb. 4.1-3: Hauptkomponenten-Analyse der Plenterstruktur aller Untersuchungsflächen.

HK1 = erste Hauptkomponente

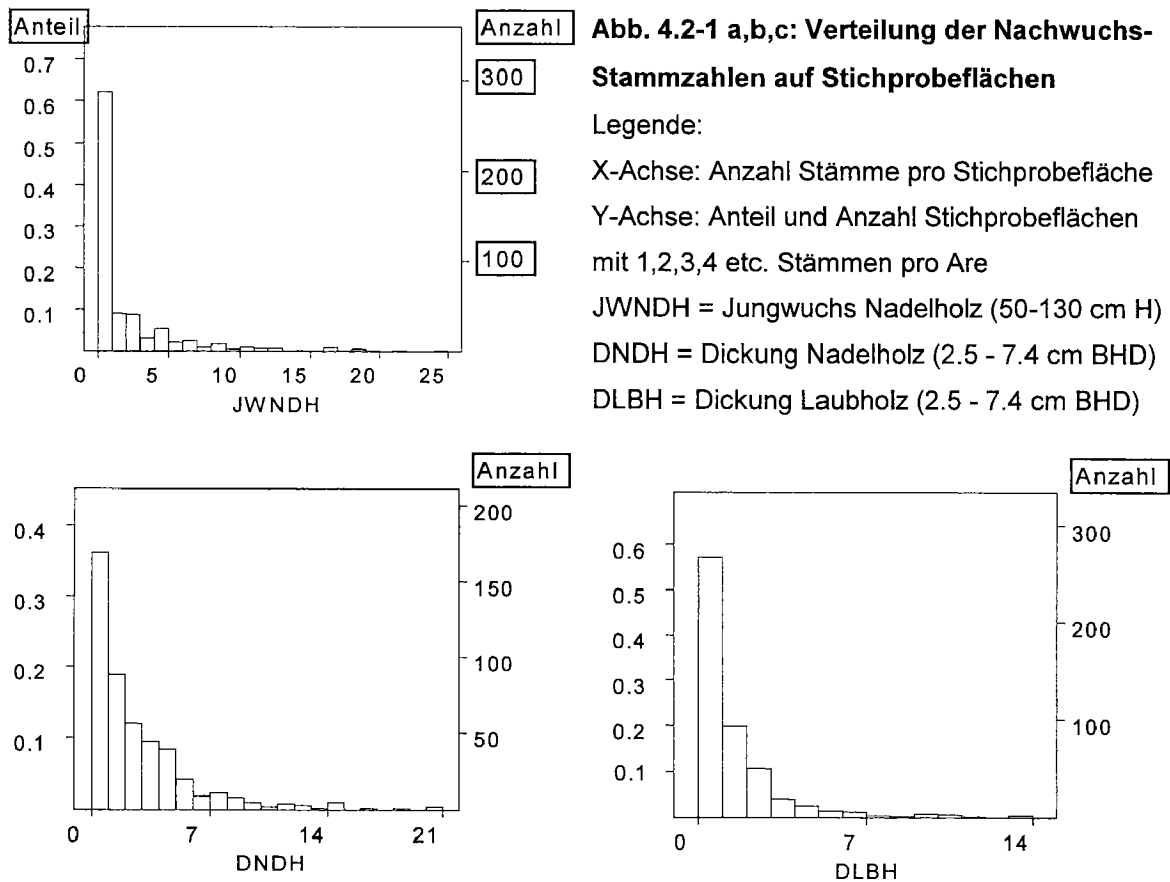
HK2 = zweite Hauptkomponente

Die zwei ersten Hauptkomponenten erklären zusammen 81.4 % der Gesamtvarianz. Die erste Hauptkomponente wird vorwiegend von den Klassen PB (-) und GB (+) und vom Vorrat (+), die zweite von den Klassen MB (+) und TG (-) erklärt. Deshalb erlaubt die Position im xy-Plot der Hauptkomponenten eine eindeutige Interpretation der Struktur: links sind die Flächen mit viel Schwachholz (PB) und kleinem Vorrat, oben die Flächen mit viel Mittelholz (MB), rechts mit viel Starkholz (GB) und grossem Vorrat und unten mit viel Super-Starkholz (TG). Die Stellung der Flächen (N, O, Q) kommt deutlich zum Ausdruck.

4.2 Nachwuchsstruktur

4.2.1 Anzahl und Verteilung des Nachwuchses

Die Bäume über 7.5 cm BHD wurden durch Vollkluppierung ermittelt, diejenigen unter 7.5 durch Stichprobenkluppierung. Die Laubbäume wurden im ersten Aufnahmejahr ab einem BHD von 2.5 cm erfasst, im zweiten Jahr ab 0.1 cm BHD, die Nadelbäume bis hinunter zur Jungwuchsstufe (ab 50 cm Höhe). Insgesamt wurden auf den 18 Untersuchungsflächen 468 Stichproben aufgenommen, 351 am Nord- und 117 am Südhang. Die Verteilung der Nachwuchsstämme auf die Stichproben ist weder insgesamt (Abb. 4.2-1) noch pro Untersuchungsfläche (Tab. A.4.3-1) normalverteilt, sondern weist eine negative Binomialverteilung auf.



Auf über 60 % der Stichprobeflächen findet sich kein Nadelholz-Jungwuchs, rund 25 % weisen 1 bis 4 Stämme, nur 15 % 5 und mehr Stämme auf. In der Dichtung (Bereich 2.5 bis 7.4 cm BHD) weisen 36 % der Stichproben keine Nadelbäume, fast 60 % keine Laubbäume auf. Der Anteil der SPF mit 1 bis 4 Stämmen beträgt beim Nadelholz 48 %, beim Laubholz 37 %. Mehr als 4 Bäume pro Stichprobe weisen demnach beim Nadelholz 16 %, beim Laubholz nur 6 % der Stichproben. In diesen Zahlen sind die Stammzahlen der Stufe D1 (0.1 bis 2.4 cm BHD) nicht berücksichtigt, da sie nur im zweiten Aufnahmejahr erfasst wurden.

Die Nachwuchs-Stammzahlen der 18 Untersuchungsflächen sind in Tab. 4.2-1 und Tab. 4.2-2 nach Baumarten und Entwicklungsstufen getrennt tabelliert. Im Jungwuchs und in der BHD-Stufe 0 wurden nur die Nadelbäume erfasst. Die Zahlen schwanken in einem weiten Rahmen zwischen einigen wenigen und mehr als Tausend Pflanzen. In der BHD-Stufe 5 variieren die Stammzahlen deutlich weniger stark und liegen mit einer Ausnahme zwischen 200 und 800 Bäume pro ha. In den BHD-Stufen 10 und 15 sind die Abweichungen vom Mittel noch geringer: in der BHD-Stufe 10 schwanken die Stammzahlen zwischen 60 und 370, in der BHD-Stufe 15 zwischen 55 und 175 pro ha. Auffallend ist hier der teilweise sehr ungleiche Anteil der Baumarten.

Tab. 4.2-1: Nachwuchsstammzahlen pro ha, getrennt nach Stufen und Baumarten. Jungwuchs und Jungpflanzen der BHD-Stufen 0 und 5, aus Stichprobenkluppierung.

| FNR | SPA | Jungwuchs | | BHD-Stufe 0 | | BHD-Stufe 5 (2.5 - 7.4 cm BHD) | | | | TOTAL |
|-----|-----|-----------|------|-------------|-----|--------------------------------|-----|-----|-----|-------|
| | | TA | FI | TA | FI | TA | FI | BU | AL | |
| 1 | 27 | 59 | 126 | 126 | 59 | 196 | 104 | 256 | 119 | 674 |
| 2 | 24 | 0 | 8 | 42 | 17 | 142 | 13 | 0 | 46 | 200 |
| 3 | 29 | 0 | 10 | 28 | 0 | 117 | 0 | 55 | 35 | 207 |
| 4 | 27 | 4 | 193 | 30 | 30 | 100 | 59 | 37 | 33 | 230 |
| 5 | 30 | 80 | 220 | 47 | 93 | 53 | 113 | 53 | 0.0 | 220 |
| 6 | 26 | 8 | 23 | 89 | 19 | 227 | 8 | 81 | 12 | 327 |
| 7 | 30 | 453 | 207 | 300 | 110 | 240 | 83 | 193 | 13 | 530 |
| 8 | 26 | 369 | 100 | 362 | 50 | 354 | 27 | 235 | 31 | 646 |
| 9 | 22 | 0 | 0 | 32 | 5 | 186 | 5 | 150 | 0 | 341 |
| 10 | 20 | 70 | 80 | 140 | 10 | 215 | 0 | 110 | 0 | 325 |
| 11 | 30 | 0 | 20 | 10 | 7 | 97 | 0 | 33 | 0 | 130 |
| 12 | 27 | 89 | 85 | 85 | 33 | 130 | 33 | 85 | 0 | 248 |
| 13 | 31 | 3 | 61 | 32 | 65 | 103 | 81 | 119 | 10 | 313 |
| 14 | 27 | 22 | 1067 | 22 | 237 | 96 | 222 | 59 | 0 | 378 |
| 15 | 30 | 10 | 57 | 97 | 87 | 200 | 57 | 13 | 3 | 273 |
| 16 | 20 | 0 | 40 | 55 | 70 | 225 | 55 | 40 | 0 | 320 |
| 17 | 18 | 156 | 250 | 217 | 133 | 600 | 189 | 28 | 0 | 817 |
| 18 | 24 | 0 | 38 | 8 | 13 | 25 | 4 | 17 | 0 | 46 |

Legende:

FNR = Flächennummer
SPA= Stichprobenanzahl

TA= Tanne
FI = Fichte

BU = Buche
AL = and. Laubholz

Tab. 4.2-2: Nachwuchsstammzahlen pro ha, getrennt nach Stufen und Baumarten. Stangen der BHD-Stufen 10 und 15, aus Vollkluppierung.

| FNR | BHD-Stufe 10 (7.5 - 12.4 cm) | | | | | BHD-Stufe 15 (12.5 - 17.4 cm) | | | | |
|-----|------------------------------|-----|-----|----|-------|-------------------------------|----|----|----|-------|
| | TA | FI | BU | AL | TOTAL | TA | FI | BU | AL | TOTAL |
| 1 | 56 | 45 | 113 | 29 | 243 | 21 | 6 | 43 | 19 | 89 |
| 2 | 134 | 9 | 2 | 9 | 154 | 123 | 2 | 0 | 13 | 138 |
| 3 | 86 | 1 | 30 | 6 | 123 | 53 | 0 | 19 | 5 | 77 |
| 4 | 43 | 4 | 9 | 4 | 60 | 46 | 5 | 7 | 1 | 59 |
| 5 | 55 | 32 | 27 | 0 | 114 | 40 | 21 | 18 | 0 | 79 |
| 6 | 155 | 9 | 54 | 0 | 218 | 99 | 2 | 20 | 0 | 121 |
| 7 | 47 | 44 | 110 | 10 | 211 | 37 | 16 | 37 | 12 | 102 |
| 8 | 160 | 12 | 50 | 17 | 238 | 99 | 5 | 19 | 7 | 130 |
| 9 | 108 | 0 | 193 | 4 | 305 | 37 | 2 | 56 | 2 | 97 |
| 10 | 146 | 8 | 42 | 0 | 196 | 71 | 18 | 31 | 0 | 120 |
| 11 | 75 | 0 | 23 | 0 | 97 | 66 | 0 | 27 | 0 | 93 |
| 12 | 94 | 29 | 30 | 0 | 153 | 93 | 10 | 30 | 0 | 133 |
| 13 | 89 | 19 | 45 | 12 | 165 | 69 | 9 | 38 | 9 | 125 |
| 14 | 60 | 57 | 3 | 0 | 120 | 35 | 17 | 3 | 0 | 55 |
| 15 | 127 | 13 | 24 | 20 | 184 | 56 | 4 | 19 | 16 | 95 |
| 16 | 106 | 64 | 52 | 0 | 222 | 68 | 21 | 33 | 0 | 122 |
| 17 | 208 | 130 | 27 | 3 | 368 | 98 | 50 | 27 | 0 | 175 |
| 18 | 118 | 0 | 20 | 0 | 138 | 101 | 1 | 8 | 0 | 110 |

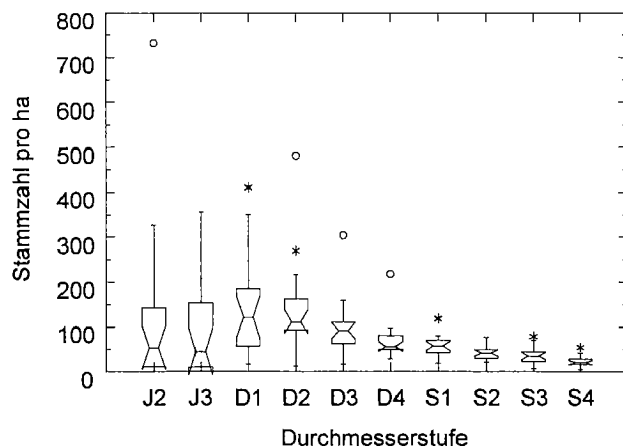
Die Nachwuchs-Stammzahlen der 18 Untersuchungsflächen sind nicht normalverteilt (Tab. 4.2-3). Die Verteilung der Nachwuchsstämme auf 2.5 cm-Stufen ist deshalb in Form von boxplots, getrennt für Nadelholz (Abb. 4.2-2) und Laubholz (Abb. 4.2-3), wiedergegeben.

Tab. 4.2-3: Statistische Kennwerte der Nachwuchsstammzahlen pro Stufe (n= 18).

| Stufe | MW | STD | NVP | P < W | P10 | Q1 | MED | Q3 | P90 |
|------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Jungwuchs NDH | 217.1 | 285.6 | 0.75 | 0.000 | 8.3 | 30.8 | 108.3 | 300.0 | 660.0 |
| BHD-Stufe 0 NDH | 153.1 | 127.3 | 0.87 | 0.013 | 20.8 | 58.3 | 121.8 | 185.2 | 410.0 |
| BHD-Stufe 5 NDH | 242.1 | 162.9 | 0.79 | 0.001 | 96.7 | 159.3 | 203.0 | 300.0 | 380.8 |
| BHD-Stufe 5 LBH | 103.6 | 94.6 | 0.81 | 0.002 | 16.7 | 40.0 | 77.8 | 129.0 | 265.4 |
| BHD-Stufe 10 NDH | 130.1 | 62.3 | 0.80 | 0.000 | 74.6 | 91.8 | 117.3 | 153.8 | 172.1 |
| BHD-Stufe 10 LBH | 53.7 | 50.7 | 0.79 | 0.001 | 11.0 | 22.6 | 38.6 | 57.3 | 142.1 |
| BHD-Stufe 15 NDH | 77.8 | 31.9 | 0.96 | 0.510 | 38.7 | 53.2 | 71.5 | 102.4 | 124.7 |
| BHD-Stufe 15 LBH | 28.8 | 16.8 | 0.95 | 0.477 | 7.6 | 17.6 | 26.9 | 34.6 | 58.0 |

Legende:
 MW = Mittelwert
 NVP= Normalverteilungsprüfung (Shapiro-Wilks-Test)
 P10= 10%-Wert
 P90= 90%-Wert

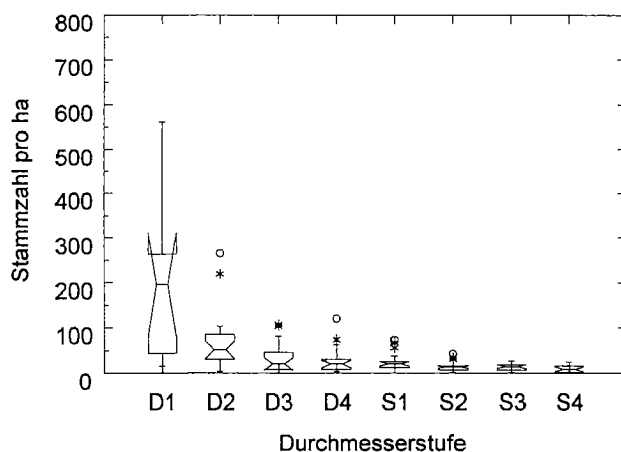
STD= Standardabweichung
 P < W : Testwert für NVP
 MED = Median



Legende:

J2 = Jungwuchs 2 (50-90 cm H)
 J3 = Jungwuchs 3 (90-130 cm H)
 D1= Dichtung 1 (0.1 - 2.4 cm BHD)
 D2= Dichtung 2 (2.5 - 4.9 cm BHD)
 D3= Dichtung 3 (5.0 - 7.4 cm BHD)
 D4= Dichtung 4 (7.5 - 9.9 cm BHD)
 S1= Stangenholz 1 (10.0-12.4 cm)
 S2= Stangenholz 2 (12.4-14.9 cm)
 S3= Stangenholz 3 (15.0-17.4 cm)
 S4= Stangenholz 4 (17.5-22.4 cm)

Abb. 4.2-2: Verteilung des Nadelholz-Nachwuchses auf Durchmesserstufen.



Legende:

D1= Dichtung 1 (0.1 - 2.4 cm BHD)
 D2= Dichtung 2 (2.5 - 4.9 cm BHD)
 D3= Dichtung 3 (5.0 - 7.4 cm BHD)
 D4= Dichtung 4 (7.5 - 9.9 cm BHD)
 S1= Stangenholz 1 (10.0 - 12.4 cm)
 S2= Stangenholz 2 (12.4 - 14.9 cm)
 S3= Stangenholz 3 (15.0 - 17.4 cm)
 S4= Stangenholz 4 (17.5 - 19.9 cm)

Abb. 4.2-3: Verteilung des Laubholz-Nachwuchses auf Durchmesserstufen.

Die grössten Nachwuchsstammzahlen liegen beim Nadelholz im Bereich der Dichtung zwischen 0.1 und 5 cm BHD. Oberhalb 7.5 cm nimmt die Stammzahl pro BHD-Stufe nur noch langsam ab. Der Median der Nachwuchsstammzahlen pro 2.5 cm-Stufe liegt zwischen 50 und 150 Stämmen

pro ha. Beim Laubholz nehmen die Stammzahlen von der Stufe D1 zur Stufe D2 sprunghaft ab. Der Median der Stammzahl pro ha beträgt ab Stufe D2 weniger als 50. Ein weiteres Mass zur Charakterisierung des Nachwuchses ist der mittlere Durchmesser im BHD-Bereich 2.5 bis 17.5 cm BHD. Er wurde als gewichteter Mittelwert aus Stammzahl pro Stufe mal mittlerer Durchmesser der Stufe berechnet. Das Ergebnis ist in Tab. 4.2-4 dargestellt. Der gewichtete Durchmesser-Mittelwert liegt mit wenigen Ausnahmen zwischen 5 und 10 cm BHD. Untersuchungsflächen mit einem hohen mittleren Durchmesser (> 9 cm) weisen einen grossen Anteil von Stangen im Verhältnis zu den Bäumen der Dickungsstufe auf. Umgekehrt dominiert in Flächen mit einem kleinen mittleren Durchmesser (< 7 cm) die Bäume schwacher Dimension.

Tab. 4.2-4: Mittlerer Durchmesser im Nachwuchsbereich (2.5 bis 17.4 cm BHD), nach Laub- und Nadelholz getrennt.

| FNR/FZE | 1/A | 2/B | 3/C | 4/D | 5/E | 6/F | 7/G | 8/H | 9/I |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| NDH | 6.6 | 9.6 | 8.7 | 7.6 | 8.1 | 8.5 | 6.8 | 7.5 | 7.5 |
| LBH | 6.9 | 7.0 | 7.5 | 6.2 | 7.5 | 8.1 | 7.8 | 6.1 | 8.7 |
| FNR/FZE | 10/J | 11/K | 12/L | 13/M | 14/N | 15/O | 16/P | 17/Q | 18/R |
| NDH | 8.5 | 9.5 | 9.3 | 8.4 | 7.3 | 7.6 | 8.5 | 7.2 | 11.5 |
| LBH | 7.4 | 9.7 | 7.9 | 7.8 | 4.8 | 11.1 | 9.3 | 9.7 | 9.2 |

FNR= Flächennummer FZE= Flächenzeichen NDH= Nadelholz LBH= Laubholz

4.2.2 Baumartenzusammensetzung

Die Baumartenverteilung im Nachwuchs wird mit Dreiecksdiagrammen verdeutlicht, getrennt für die BHD-Stufe 5 (Abb. 4.2-4) und die BHD-Stufen 10 und 15 (Abb. 4.2-5). Die Baumarten Buche und anderes Laubholz wurden zur Klasse Laubholz (LBH) zusammengefasst und den Anteilen der Baumarten Tanne (TA) und Fichte (FI) gegenübergestellt.

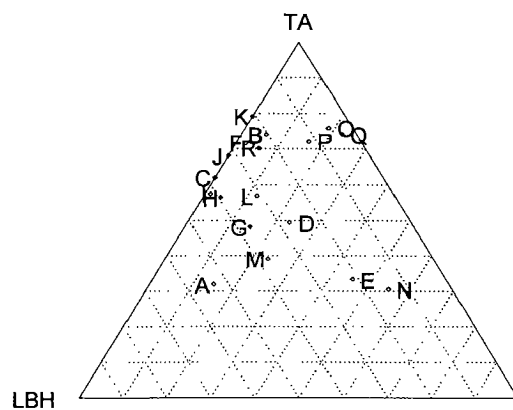


Abb. 4.2-4: Baumartenzusammensetzung in der BHD-Stufe 5 (2.5 bis 7.4 cm BHD)

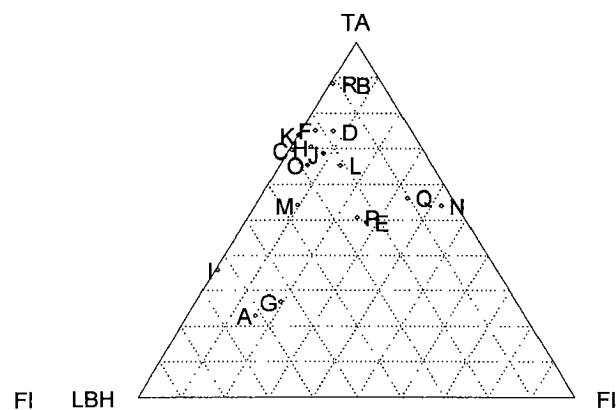


Abb. 4.2-5: Baumartenzusammensetzung in den BHD-Stufen 10 und 15 (7.5 bis 17.4 cm BHD)

In der BHD-Stufe 5 weisen die meisten Untersuchungsflächen einen Laubholzanteil von über 15 % auf, das Laubholz dominiert aber nur auf der Fläche A. Die Fichte ist auf einigen Flächen kaum oder gar nicht vertreten, dominiert aber auf den Flächen E und N. Die Tanne ist auf allen Flächen mit mindestens 30 % an der Stammzahl vertreten und auf 15 von 18 Flächen die dominierende Baumart in der Dickung. In den BHD-Stufen 10 und 15 weisen die Laubbäume auf 3 Flächen (A, G, I) den grössten Anteil auf. Auf 4 Flächen (B, N, P, Q) sind sie mit weniger als 15 % vertreten. Die Fichte ist im Vergleich zur BHD-Stufe 5 schwächer vertreten und weist nur auf 4 Flächen (E, N, P, Q) einen Anteil von mehr als 25 % auf. Die Tanne ist auch im Stangenholz auf 15 der 18 Untersuchungsflächen die dominierende Baumart.

Zwischen den beiden Expositionen Nord und Süd können Unterschiede in der Baumartenzusammensetzung erwartet werden. Deshalb wurden die mittleren Stammzahlen für beide Expositionen berechnet, für die Dickungsstufe aus 351 Stichproben in Nord- und 117 in Südexposition, in der Stangenholz-Stufe aus 14 Untersuchungsflächen in Nord- und 4 in Südexposition (Tab. 4.2-5). Die Tanne ist bis zur Stufe Dickung 1 am Südhang häufiger vertreten als am Nordhang, ab Stufe Dickung 2 (BHD ≥ 2.5 cm) gerade umgekehrt. Die Fichte ist in beiden Expositionen ungefähr gleich häufig vertreten. Die Buche ist in Südexposition doppelt so häufig, die andern Laubbäume drei bis vier Mal so häufig zu finden wie in Nordexposition.

Tab. 4.2-5: Nachwuchs-Stammzahlen pro Stufe und Baumart, nach Exposition getrennt.

| STUFE | Bereich | EXP | TANNE | FICHTE | Σ NDH | BUCHE | A.LBH | Σ LBH | % Lbh |
|--------------|--------------|-----|-------|--------|--------------|-------|-------|--------------|-------|
| Jungwuchs | 50-130 cm | N | 53.7 | 108.9 | 162.6 | --- | --- | --- | |
| Jungwuchs | 50-130 cm | S | 72.3 | 75.2 | 147.5 | --- | --- | --- | |
| BHD-Stufe 0 | 0.1-2.4 cm | N | 87.3 | 48.9 | 136.2 | 285.8 | 7.7 | 293.5 | 68.3 |
| BHD-Stufe 0 | 0.1-2.4 cm | S | 121.4 | 58.5 | 179.9 | 516.1 | 45.2 | 561.3 | 75.7 |
| BHD-Stufe 5 | 2.5-7.4 cm | N | 185.8 | 48.1 | 233.9 | 65.1 | 8.9 | 74.0 | 24.0 |
| BHD-Stufe 5 | 2.5-7.4 cm | S | 164.2 | 66.9 | 231.1 | 155.9 | 44.0 | 199.9 | 46.4 |
| BHD-Stufe 10 | 7.5-12.4 cm | N | 113.4 | 26.1 | 139.5 | 39.6 | 4.1 | 43.7 | 23.9 |
| BHD-Stufe 10 | 7.5-12.4 cm | S | 69.5 | 27.5 | 97.0 | 74.2 | 14.5 | 88.7 | 47.8 |
| BHD-Stufe 15 | 12.5-17.4 cm | N | 73.6 | 11.4 | 85.0 | 21.2 | 2.8 | 24.0 | 22.0 |
| BHD-Stufe 15 | 12.5-17.4 cm | S | 44.9 | 7.8 | 52.7 | 34.4 | 11.3 | 45.7 | 46.4 |

Legende: EXP=Exposition N= Nord S= Süd NDH= Nadelholz LBH= Laubholz

4.2.3 Gruppierung der Untersuchungsflächen

Die Zusammenfassung der Nachwuchs-Stammzahlen im Bereich 2.5 bis 17.4 cm BHD in die zwei Klassen Nadelholz und Laubholz ermöglicht die Darstellung in einem xy-plot (Abb. 4.2-6).

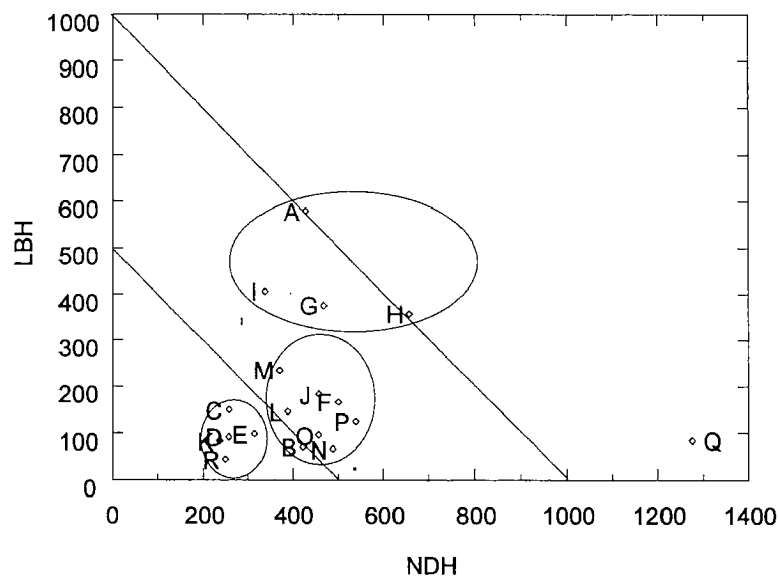


Abb. 4.2-6: Nachwuchs-Stammzahlen (Stz./ha im Bereich von 2.5 bis 17.4 cm BHD) von Laub- und Nadelholz, Gruppenbildung.

Es sind 3 Gruppen mit unterschiedlicher Nachwuchsdichte und eine Einzelbeobachtung mit sehr hoher Nadelholz-Stammzahl ($Q=FNR$ 14) zu erkennen. Sie können wie folgt charakterisiert werden (Tab. 4.2-6):

Tab. 4.2-6: Charakterisierung der Untersuchungsflächen mit ähnlicher Nachwuchsdichte
Angabe der Stammzahl pro ha für den Nachwuchsbereich (2.5 bis 17.4 cm BHD).

| Nachwuchs | FZE | FNR | NW SUM | NW NDH | NW LBH |
|-----------|---------------------|------------------------------|-------------|-------------|--------|
| NW-reich | A, G, H, I | 1, 7, 8, 9 | > 700 | 300 bis 700 | > 300 |
| NW-mittel | B, F, L, M, N, O, P | 2, 6, 10, 12, 13, 14, 15, 16 | 500 bis 700 | 350 bis 550 | < 300 |
| NW-arm | C, D, E, K, R | 3, 4, 5, 11, 18 | 250 bis 500 | 200 bis 350 | < 200 |

Legende: NW = Nachwuchs SUM= Summe NDH=Nadelholz LBH= Laubholz

4.2.4 Vergleich der Nachwuchsdichte mit der Plenterstruktur

Der Vergleich von Plenterstruktur (Tab. 4.1-3, ab 17.5 cm BHD) und Nachwuchsdichte (2.5 bis 17.4 cm BHD) ergibt kein einheitliches Bild (Tab. 4.2-7): Starkholzreiche Bestände z.B. können sehr grosse, aber auch kleine Nachwuchsdichten aufweisen. Von den Beständen mit "normaler" Plenterstruktur (Vorratsanteil ungefähr 20 % PB, 30 % MB und 50 % GB/TG) weist kein einziger eine grosse Nachwuchsdichte auf. Die Bestände 3, 5 und 18 sind gar arm an Nachwuchs. Die starkholzarmer Bestände dagegen weisen mittlere bis hohe Nachwuchsdichten auf.

Tab. 4.2-7: Verteilung der Untersuchungsflächen auf Gruppen unterschiedlicher Plenterstruktur und Nachwuchsdichte.

| Plenterstruktur | Nachwuchsdichte | | |
|-----------------|-----------------|-----------|----------|
| | NW-reich | NW-mittel | NW-arm |
| starkholzreich | 1, 9 | 2, 10, 15 | 4, 11 |
| normal | | 6, 16 | 3, 5, 18 |
| starkholzarm | 7, 8 | 12, 13 | |

Legende: Angabe der Flächennummern

4.2.5 Räumliche Verteilung der Nachwuchsstämme

Die räumliche Verteilung der Nachwuchsstämme aus der Stichprobenklumpierung (mit BHD < 7.5 cm) kann mit dem Klumpungsindex ($KLUI = \frac{STD^2}{MW} = \frac{VAR}{MW}$) quantifiziert werden. Bei einer zufälligen Verteilung der Individuen auf die Fläche (Poisson -Struktur) weist der Index den Wert 1 auf. Zeigt die Population Tendenz zur Aggregation, dann wird er grösser als 1 (Cox 1971). In einem ersten Schritt wird die räumliche Verteilung der Nadelbäume im Bereich 50 cm Höhe bis 2.4 cm BHD untersucht (Tab. 4.2-8). In den Stufen Jungwuchs und Dickung 1 ist die Verteilung der Nadelbäume praktisch auf allen Flächen signifikant bis hochsignifikant verschieden von der zufälligen Verteilung. Die Fichte kommt auf 16 (89 %), die Tanne auf 12 der 18 Untersuchungsflächen (67 %) geklumpt vor. Der Unterschied zwischen Fichte und Tanne im Klumpungsindex ist statistisch nicht signifikant (Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben).

In einem zweiten Schritt wurden für die Bäume der BHD-Stufe 5 alle Baumarten auf jeder Untersuchungsfläche miteinander verglichen. Uns interessiert dabei die Frage, ob gewisse Baumarten im Nachwuchs stärker geklumpt sind als andere. Fast auf allen Flächen kommen Baumarten mit geklumpeter und solche mit zufälliger Verteilung vor (Tab. A.4.3-3 im Anhang). Die Unterschiede zwischen den Baumarten sind in Tab. 4.2-9 zusammengefasst.

Der H-Test nach Kruskal-Wallis ergibt für die Variable Klumpungsindex keine signifikanten Unterschiede zwischen den Baumarten ($\chi^2 = 4.24$, $FG = 3$, $Prob = 0.24$).

Tab. 4.2-8: Klumpungsindizes des Nadelholz-Nachwuchses in den Stufen Jungwuchs (50 - 130 cm Höhe) und Dichtung 1 (0.1 bis 2.4 cm BHD).

| | | Fichte | | Tanne | | Nadelholz | | Fichte | | Tanne | | Nadelholz | |
|-----|-----|--------|------|-------|------|-----------|------|--------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| FNR | SPA | MW | STD | MW | STD | MW | STD | KI | Sign. | KI | Sign. | KI | Sign. |
| 1 | 27 | 1.9 | 2.4 | 1.9 | 2.2 | 3.7 | 4.0 | 3.1 | *** | 2.5 | *** | 4.3 | *** |
| 2 | 24 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | | 1.2 | | 1.0 | |
| 3 | 29 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 1.6 | * | 0.8 | | 0.8 | |
| 4 | 27 | 2.2 | 4.2 | 0.3 | 1.0 | 2.6 | 4.3 | 7.9 | *** | 3.2 | *** | 7.2 | *** |
| 5 | 30 | 3.1 | 4.7 | 1.3 | 4.4 | 4.4 | 7.6 | 6.9 | *** | 15.1 | *** | 13.3 | *** |
| 6 | 26 | 0.4 | 0.8 | 1.0 | 1.0 | 1.4 | 1.4 | 1.6 | * | 1.0 | | 1.3 | |
| 7 | 30 | 3.2 | 4.0 | 7.5 | 10.5 | 10.7 | 11.9 | 5.0 | *** | 14.6 | *** | 13.3 | *** |
| 8 | 26 | 1.5 | 2.6 | 7.3 | 7.9 | 8.8 | 8.6 | 4.3 | *** | 8.6 | *** | 8.3 | *** |
| 9 | 22 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.7 | 0.4 | 0.7 | 1.0 | | 1.3 | | 1.2 | |
| 10 | 20 | 0.9 | 1.4 | 2.1 | 2.7 | 3.0 | 2.5 | 2.1 | ** | 3.5 | *** | 2.0 | ** |
| 11 | 30 | 0.3 | 0.9 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 1.0 | 3.1 | *** | 0.9 | | 2.9 | *** |
| 12 | 27 | 1.2 | 1.7 | 1.7 | 2.8 | 2.9 | 3.2 | 2.5 | *** | 4.5 | *** | 3.6 | *** |
| 13 | 31 | 1.3 | 2.2 | 0.4 | 1.0 | 1.6 | 2.4 | 3.8 | *** | 2.6 | *** | 3.7 | *** |
| 14 | 27 | 13.0 | 16.2 | 0.4 | 1.2 | 13.5 | 16.2 | 20.1 | *** | 3.0 | *** | 19.5 | *** |
| 15 | 30 | 1.4 | 2.1 | 1.0 | 1.5 | 2.5 | 3.0 | 3.2 | *** | 2.0 | *** | 3.6 | *** |
| 16 | 20 | 1.1 | 1.9 | 0.6 | 0.9 | 1.7 | 2.1 | 3.2 | *** | 1.6 | * | 2.6 | *** |
| 17 | 18 | 3.8 | 3.7 | 3.7 | 3.4 | 7.6 | 6.5 | 3.6 | *** | 3.1 | *** | 5.6 | *** |
| 18 | 24 | 0.5 | 1.3 | 0.1 | 0.3 | 0.6 | 1.3 | 3.3 | *** | 1.0 | | 3.0 | *** |

Legende:

FNR = Flächennummer SPA = Anzahl Stichproben KI = Klumpungsindex
 MW = Mittelwert (Stz./a) STD = Standardabweichung Sign. = Signifikanz der Abweichung
 von einer zufälligen Verteilung

Tab. 4.2-9: Anzahl und Anteil signifikanter, grösster und kleinster Klumpung in BHD-Stufe 5 (2.5 bis 7.4 cm BHD).

| Baumart | Anzahl n | Signif. Klumpung | | Grösste Klumpung | | Kleinste Klumpung | |
|----------|-------------|------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | | n | % | n | % | n | % |
| and. Lbb | 9 | 6 | 66.7% | 3 | 33.3% | 3 | 33.3% |
| Buche | 17 | 9 | 52.9% | 1 | 5.9% | 11 | 64.7% |
| Fichte | 15 | 11 | 73.3% | 8 | 53.3% | 3 | 20.0% |
| Tanne | 18 | 16 | 88.9% | 7 | 38.9% | 1 | 5.6% |

4.2.6 Nachwuchsgruppen

Insgesamt wurden in der Dichtungs- und Stangenholzstufe bis 20 cm BHD 55 Nachwuchsgruppen (NWG) erfasst. In der nachfolgenden Tab. 4.2-10 sind die wichtigsten erhobenen Merkmale und ihre statistische Verteilung zusammengestellt.

Tab. 4.2-10: Merkmale der Nachwuchsgruppen (n=55).

| Variablen | MW | STD | NVP | P<W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|---------------------------------|-------|------|------|-------|-----|----|-----|-----|-----|
| Flächengrösse (m ²) | 139.8 | 97.3 | 0.89 | 0.000 | 27 | 63 | 130 | 188 | 353 |
| Stz-Dichte (Stz./Are) | 45.3 | 22.7 | 0.81 | 0.000 | 20 | 30 | 40 | 51 | 90 |

Legende:

MW = Mittelwert STD = Standardabweichung
 NVP = Normalverteilungsprüfung (Shapiro-Wilks-Test) P < W : Testwert für NVP
 P05 = 5%-Wert Q1 = erstes Quartil MED = Median
 P95 = 95%-Wert Q3 = drittes Quartil

Die Flächengrösse der Nachwuchsgruppen ist nicht normalverteilt, sondern linkssteil (Abb. 4.2-7). 21 Gruppen (38%) weisen eine Flächengrösse von weniger als 100 m² (1 Are) auf, 22 (40%) eine solche von 100 bis 200 m² und 12 (22%) eine Grösse von mehr als 200 m².

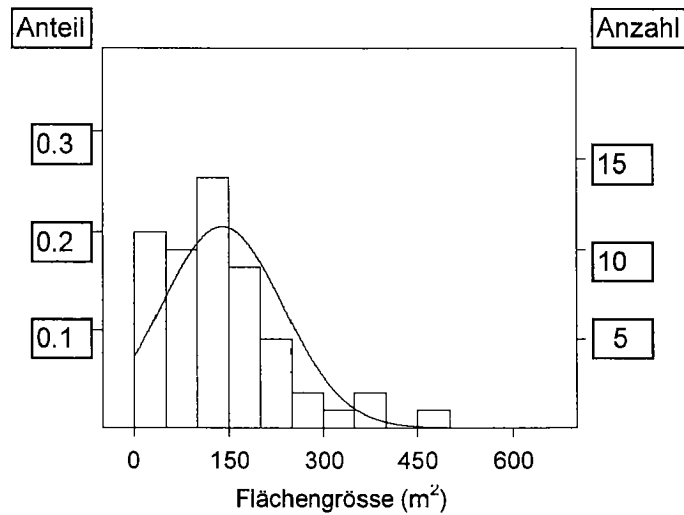


Abb. 4.2-7: Verteilung der Flächengrößen der Nachwuchsgruppen

Durch Log-Transformation erhält man eine symmetrische, annähernd normale Verteilung mit Mittelwert MW = 109.2 und 95%-Vertrauensintervallen bei 89.2 und bei 133.6 m².

Die Stammzahldichte innerhalb der Nachwuchsgruppen ist ebenfalls nicht normalverteilt. 50 % der Gruppen weisen Dichten von 30 bis 50 Stämmen pro are, 90 % Dichten zwischen 20 und 90 Stämmen pro are auf. Die mittlere Standfläche der Bäume in den Nachwuchsgruppen liegt also grösstenteils zwischen 1.1 und 5.0 m², mit einem Schwergewicht zwischen 2.0 und 3.3 m². Die Zahl der Nachwuchsgruppen pro Untersuchungsfläche liegt zwischen 0 und 13 pro ha, der Median beträgt 4.8. Die Verteilung ist dreigipflig, mit grössten Häufigkeiten bei 0, 5 und 10. Die Fläche verteilen sich wie folgt auf die drei Dichteklassen (Tab. 4.2-11):

Tab. 4.2-11: Verteilung der Untersuchungsflächen auf Dichteklassen.

| Nachwuchsgruppen/ha | Untersuchungsfläche | Plenterstruktur | Nachwuchsdichter |
|---------------------|-------------------------|---|--|
| 0 bis 2,5 | 2, 6, 9, 11, 16, 18 | mehrheitlich normal oder starkholzarm | mehrheitl. nachwuchsarm oder zweischichtig |
| 2,5 bis 7,5 | 3, 4, 5, 12, 13, 14, 15 | uneinheitlich | uneinheitlich |
| mehr als 7,5 | 1, 7, 8, 10, 17 | Zweischichtbestände, starkholzreich oder -arm | mehrheitlich nachwuchsreich |

Die Zusammenhänge zwischen Plenterstruktur, Nachwuchsstruktur und Anzahl Nachwuchsgruppen pro ha sind nicht in jeder Klasse zu erkennen. Kleine Dichten finden sich häufig bei ausgewogenen Plenterstrukturen mit wenig Verjüngung, grosse Dichten bei Zweischichtbeständen (FNR 14, 17), bei starkholzreichen (FNR 1, 10) oder bei starkholzarmen Beständen (FNR 7, 8). Die räumliche Verteilung der Nachwuchsgruppen ist wegen der geringen Zahl von Gruppen pro Fläche statistisch nicht sauber auszuwerten. Die Abstände zwischen den Nachwuchsgruppen betragen mindestens 15 m; sie variieren mehrheitlich zwischen 20 und 50 m. In wenigen Flächen sind Konzentrationen festzustellen, welche auf zusätzliches Seitenlicht zurückzuführen sind.

4.2.7 Zustand und waldbauliche Brauchbarkeit der Nadelbäume im Nachwuchs

Der Zustand der Nachwuchsbäume bezüglich Vitalität und Qualität wurde aufgrund der erfassten Schäden beurteilt. Bäume mit Wipfelbruch, Zwiesel, Rindenschaden, Stammkrebs oder Krumm- bzw. Schiefwuchs wurden als waldbaulich unbrauchbar taxiert, solche mit schlechter Vitalität nicht. Die Ansprache der Schäden erfolgte auf den Untersuchungsflächen Nr. 1 bis 8, bei den Bäumen mit BHD 7,5 bis 17,4 cm anlässlich der Vollkluppierung, bei jenen mit BHD 0,1 bis 7,5 cm im Rahmen der Nachwuchsinventur auf insgesamt 219 Stichprobeflächen. Auf den 8 Flächen wurden insgesamt 1752 Nadelbäume angesprochen, 359 Fichten und 1393 Tannen (Tab. 4.2-12). Bei den Fichten sind Rindenschäden (7%) und schlechte Vitalität (8%) von Bedeutung. Insgesamt wurden 39 (10,9%) der 359 Fichten als unbrauchbar taxiert. Tannen weisen deutlich häufiger Wipfelbrüche (3,2% vs. 1,1%), schiefe oder krumme Schäfte (6,6% vs. 2,5%) oder eine schlechte Vitalität (19,7% vs. 8,4%) auf als Fichten. Dagegen ist der Anteil der Tannen mit Rindenschäden geringer (3,8% vs. 7,0%). Insgesamt wurden 13,9% der Tannen als unbrauchbar taxiert.

Tab. 4.2-12: Schäden und Vitalität der Nadelbäume im Nachwuchs.

| Baumart | STU | STZ | WIP | ZWI | RIN | KRE | KRU | VIT | SUM | SUM2 | ASUM2 |
|---------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Fichte | 0 | 107 | 1 | 2 | 4 | 0 | 3 | 14 | 24 | 10 | 9.3% |
| Fichte | 5 | 115 | 0 | 0 | 6 | 0 | 3 | 8 | 17 | 9 | 7.8% |
| Fichte | 10 | 97 | 1 | 0 | 11 | 0 | 3 | 5 | 19 | 14 | 14.4% |
| Fichte | 15 | 40 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 3 | 9 | 6 | 15.0% |
| Fichte | 0-15 | 359 | 4 | 2 | 25 | 0 | 9 | 30 | 69 | 39 | 10.9% |
| Tanne | 0 | 281 | 0 | 4 | 10 | 0 | 43 | 109 | 166 | 57 | 20.3% |
| Tanne | 5 | 387 | 7 | 1 | 14 | 0 | 22 | 66 | 110 | 43 | 11.1% |
| Tanne | 10 | 422 | 19 | 11 | 14 | 3 | 16 | 68 | 120 | 52 | 12.3% |
| Tanne | 15 | 303 | 19 | 4 | 15 | 1 | 11 | 31 | 73 | 42 | 13.9% |
| Tanne | 0-15 | 1393 | 45 | 20 | 53 | 4 | 92 | 274 | 469 | 194 | 13.9% |

Legende:

STU = BHD-Stufe STZ = Stammzahl WIP = Wipfelbruch ZWI = Zwiesel
 RIN = Rindenschaden KRE = Tannenkrebs KRU = Krummwuchs VIT = Vitalität
 SUM = Summe aller Bäume mit Schäden SUM2 = Summe aller unbrauchbaren Bäume
 Unbrauchbare Bäume im Nachwuchs: alle Bäume mit Schäden WIP, ZWI, RIN, KRE und KRU.
 ASUM2 = Anteil der unbrauchbaren Bäume, d.h. SUM2/STZ.

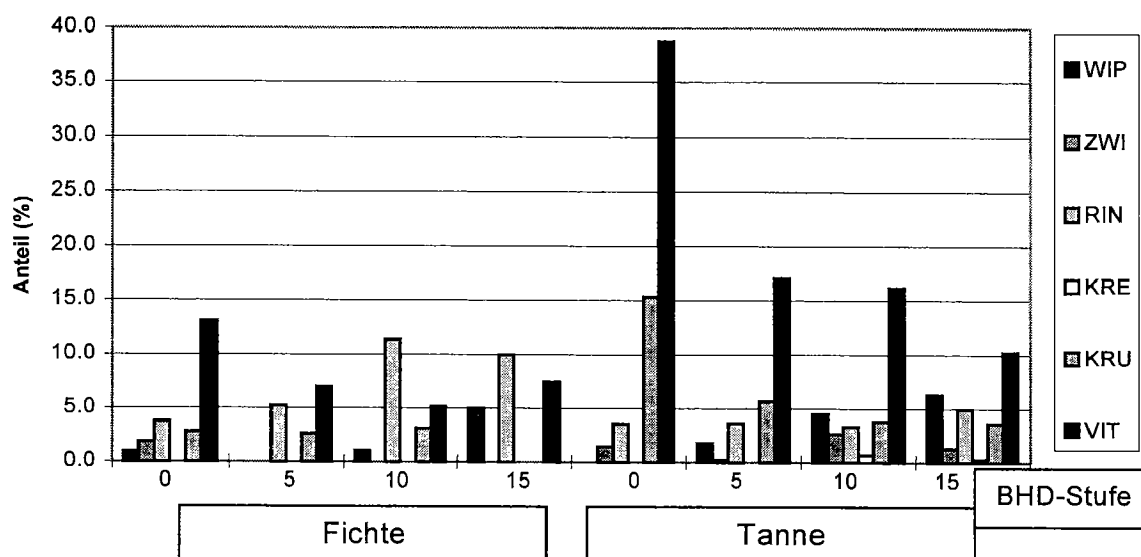


Abb. 4.2-8: Anteil der Schäden pro BHD-Stufe und Baumart.

5 Nachwuchspflege

Auf den 18 Untersuchungsflächen wurden insgesamt 656 Stämme im Bereich 1 bis 33 cm BHD als Ausleseebäume gewählt. Die stärkeren Bäume gehören nicht mehr in den klassischen Bereich der Nachwuchspflege, wurden aber wegen der besseren Übersicht bei der Anzeichnung der Pflege markiert. Im eigentlichen Nachwuchsbereich (bis 17,4 cm BHD) waren es 420 Ausleseebäume, unterhalb von 22.5 cm BHD 559 Bäume. Der Aushieb erfolgte im Bereich 1 cm bis 31 cm BHD. Insgesamt wurden 1380 Stämme entfernt; davon wiesen 250 einen BHD unter 2.5 cm auf.

5.1 Auslese

5.1.1 Verteilung der Ausleseebäume auf BHD-Stufen und Baumarten

Abb. 5.1-1 gibt den Durchmesserbereich der Auslese für jede Untersuchungsfläche an.

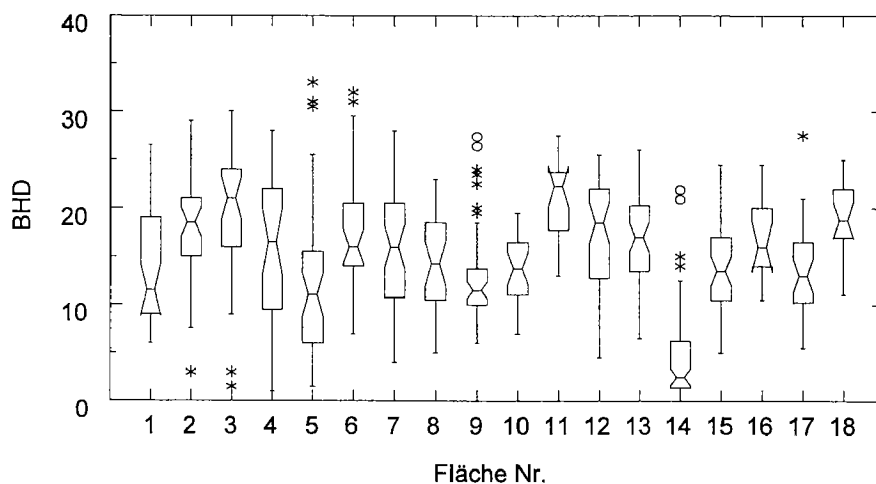


Abb. 5.1-1: Durchmesserverteilung der Ausleseebäume pro Untersuchungsfläche.

Der Median des BHD der Ausleseebäume liegt mit 3 Ausnahmen zwischen 10 und 20 cm, unteres und oberes Quartil zwischen 5 und 25 cm BHD. Deutlich ersichtlich ist die spezielle Situation in Fläche NR 14, wo mangels genügender Nachwuchsstangen die Ausleseebäume vorwiegend im Bereich der BHD-Stufe 5 (2,5-7,4 cm BHD) ausgelesen wurden. Abb. 5.1-2 zeigt die Durchmesserverteilung der Ausleseebäume auf 2.5 cm-Stufen deshalb ohne Fläche NR 14.

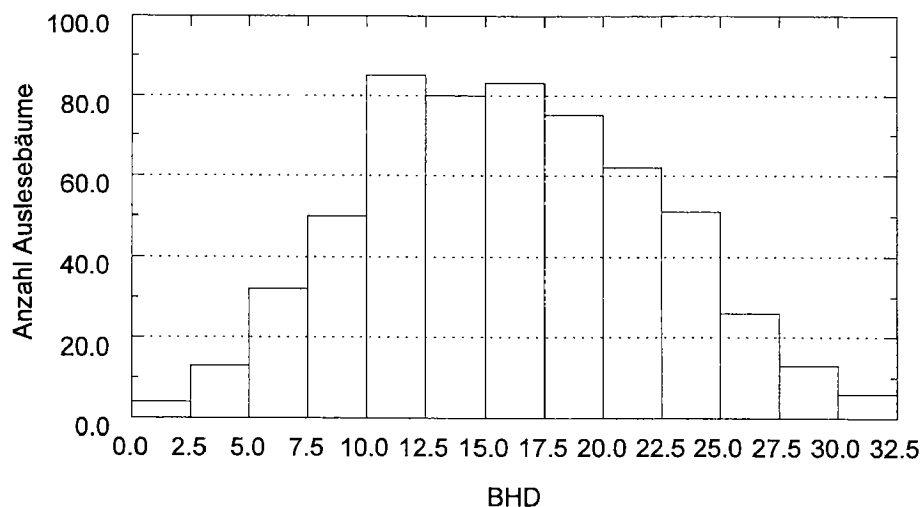


Abb. 5.1-2: Verteilung der Ausleseebäume auf BHD-Stufen von 2.5 cm (ohne Fläche NR 14).

Die Verteilung der Ausleseebäume auf BHD-Stufen entspricht ungefähr einer Normalverteilung. Die Auslese erfolgte überwiegend im Bereich 5,0 bis 27,5 cm BHD. Tab. A.5.1-1 im Anhang erlaubt zusätzlich folgende Feststellungen: Je 75 % der Flächen weisen ein 1.Quartil von mehr als 10.0 cm auf und ein 3.Quartil von weniger als 22.0 cm auf. Je 75 % der Flächen liegen mit ihren 5%-Perzentil über 5.5 cm bzw. mit ihrem 95%-Perzentil unter 27.0 cm BHD.

Für die weitere Auswertung dimensionsabhängiger Zielgrößen wurde der untersuchte BHD-Bereich, entsprechend dem Aushieb, auf 2.5 bis 22.4 cm festgelegt. Der BHD-Bereich unter 2.5 cm BHD wurde ausgeklammert, weil dort nur auf einer Fläche bedeutend eingegriffen wurde, der Bereich über 22.5 cm BHD aus methodischen Gründen. Im Untersuchungsbereich sind die folgenden Baumarten nach abnehmender Häufigkeit vertreten (Tab. 5.1-1) :

Tab. 5.1-1: Anzahl und Anteil der Baumarten an den Ausleseebäumen (n = 519).

| Baumart | Anzahl | Anteil (%) | Baumart | Anzahl | Anteil (%) |
|-----------|--------|------------|-------------|--------|------------|
| Tanne | 278 | 53.6 | Esche | 9 | 1.7 |
| Fichte | 119 | 22.9 | Spitzahorn | 2 | 0.4 |
| Buche | 87 | 16.8 | Winterlinde | 2 | 0.4 |
| Bergahorn | 21 | 4.1 | Bergulme | 2 | 0.4 |

Für die weiteren Auswertungen, insbesondere für multivariate Betrachtungen, erschien es sinnvoll, die übrigen Laubbäume (B'Ah, Es, S'Ah, W'Li, B'Ul) in einer Gruppe als andere Laubbäume (and. Lbb bzw. AL) zusammenzufassen.

Eine erste Auswertung ergab einen starken Einfluss der Exposition auf die Anzahl der Baumarten pro Durchmesserstufe (n= 519, FG=3, $\chi^2= 35.28$, $p < 0.001$). Deshalb wurde die Verteilung der vier erwähnten Baumarten(-gruppen) auf die vier untersuchten Durchmesserstufen nach Exposition getrennt berechnet und in Tab. 5.1-2 bzw. Tab. 5.1-3 dargestellt:

Tab. 5.1-2: Anzahl Ausleseebäume pro Baumart und BHD-Stufe in Nordexposition.

| Baumart | S05 | S10 | S15 | S20 | Total |
|--------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Tanne | 15 (27%) | 57 (52%) | 89 (69%) | 71 (72%) | 232 (59%) |
| Fichte | 35 (62%) | 25 (23%) | 18 (14%) | 14 (14%) | 92 (23%) |
| Buche | 5 (9%) | 23 (21%) | 14 (11%) | 10 (10%) | 52 (13%) |
| and. Lbb | 1 (2%) | 5 (5%) | 7 (6%) | 4 (4%) | 17 (4%) |
| Total | 56 (100%) | 110 (100%) | 128 (100%) | 99 (100%) | 393 (100%) |

Tab. 5.1-3: Anzahl Ausleseebäume pro Baumart und BHD-Stufe in Südexposition.

| Baumart | S05 | S10 | S15 | S20 | Total |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Tanne | 3 (27%) | 14 (39%) | 16 (41%) | 13 (33%) | 46 (37%) |
| Fichte | 3 (27%) | 13 (36%) | 6 (15%) | 5 (13%) | 27 (21%) |
| Buche | 3 (27%) | 7 (19%) | 10 (26%) | 15 (37%) | 35 (28%) |
| and. Lbb | 2 (18%) | 2 (6%) | 7 (18%) | 7 (18%) | 18 (14%) |
| Total | 11 (100%) | 36 (100%) | 39 (100%) | 40 (100%) | 126 (100%) |

Die Ausleseebäume verteilen sich recht gleichmässig auf die drei in Kapitel 3.2 beschriebenen Förstergruppen und auf die vier BHD-Stufen, mit Ausnahme der schwach vertretenen Stufe S05:

Tab. 5.1-4: Anzahl Ausleseebäume pro Förstergruppe und BHD-Stufe.

| Förstergruppe | S05 | S10 | S15 | S20 | Total |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Förstergruppe 1 | 13 (19%) | 46 (32%) | 57 (34%) | 55 (40%) | 171 (33%) |
| Förstergruppe 2 | 39 (58%) | 63 (43%) | 42 (25%) | 22 (16%) | 166 (32%) |
| Förstergruppe 3 | 15 (22%) | 37 (25%) | 114 (54%) | 62 (44%) | 182 (35%) |
| Total | 67 (100%) | 146 (100%) | 167 (100%) | 139 (100%) | 519 (100%) |

5.1.2 Auswahl der Ausleseebäume

In einem ersten Schritt wurde untersucht, welche Einflussfaktoren die Wahl eines Auslese-baumes begünstigen und welche nicht. Dazu wurden im logistischen Modell alle Ausleseebäume allen anderen Stämmen vor dem Eingriff gegenübergestellt und als Zielvariable verwendet. Als Einflussvariablen wurden die vermuteten Faktoren Baumart, Exposition, Förstergruppe und BHD-Stufe und ihre Interaktionen berücksichtigt. Da der Bereich unter 7.5 cm BHD mittels Stichproben erfasst wurde, wurden in diesem Modell nur die Ausleseebäume aus den BHD-Stufen S10, S15 und S20 verwendet. Das Ergebnis dieser Berechnung ist in Tab. A.5.1-2 und Tab. A.5.1-3 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 5.1-5 zusammengefasst.

Tab. 5.1-5: Faktoren mit signifikantem Einfluss auf die Auswahl von Ausleseebäumen.

| | |
|--|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 7.5 bis 22.4 cm BHD, 4512 Beobachtungen |
| Zielvariable | Wahl als Auslesebaum |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, DSTU, BA*EXP, BA*FGR, BA*DSTU, EXP*DSTU, FGR*DSTU |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart ***, Förstergruppe **, BHD-Stufe *** |
| Signifikante Interaktionseffekte | BA*FGR *, FGR*DSTU *** |
| Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | positiv: FI***, S20***, FGR1(*) negativ: BU***, S10***, FGR3**, TA(*), |
| bei den Interaktionseffekten | positiv: FGR2*S10***, BU*FGR2**, BU*Süd(*), negativ: FGR2*S20***, FI*FGR3*, BU*Nord(*), |

Legende:

BA= Baumart (**B**uche, **T**Anne, **F**ichte, **A**nd.Lbb)

EXP = Exposition (Nord, Süd)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

DSTU = BHD-Stufe (S10, S15, S20)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Bei den Haupteffekten weist die Baumart und die Durchmesserstufe einen hochsignifikanten, die Förstergruppe einen signifikanten Einfluss auf. Von den Interaktionseffekten ist vor allem jener zwischen Förstergruppen und BHD-Stufe von Bedeutung. Die Exposition ist sowohl für sich allein als auch in Interaktion mit andern Faktoren bedeutungslos. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass das Modell insgesamt nicht sehr geeignet ist (Überschreitungswahrscheinlichkeit $p < 0,05$).

Um den gesamten Auslesebereich analysieren und um den Zusammenhang zwischen dem BHD-Bereich der Auslese und den vermuteten Einflussfaktoren studieren zu können, wurde ein logistisches Modell mit Zielgrösse Durchmesserbereich der Ausleseebäume und den Faktoren Baumart, Exposition und Förstergruppe berechnet. Dabei wurde untersucht, welchen Einfluss die Faktoren und ihre Interaktionseffekte auf die Wahl eines Auslesebaumes im BHD-Bereich unter 7.5 cm haben. Da die übrigen Laubbäume in diesem Bereich sehr schwach vertreten sind, wurde die Berechnung nur für die Baumarten Tanne, Fichte und Buche durchgeführt. Die ausführlichen Ergebnisse sind in Tab. A.5.1-4 und A.5.1-5 im Anhang zu finden. Der Parameter Baumart zeigt einen statistisch gesicherten Einfluss auf den Durchmesserbereich der Auslese bzw. auf die Auslese von Bäumen mit weniger als 7.5 cm BHD (Tab. 5.1-6). Die Förstergruppen haben als Haupteffekt keinen, in Interaktion mit der Baumart einen schwach signifikanten Einfluss. Die Exposition dagegen hat sowohl allein als auch in Kombination mit der Baumart keinen signifikanten Einfluss auf die Wahl von dünnen Ausleseebäumen. Die Fichte ist in der Auslese im BHD-Bereich unter 7.5 cm BHD signifikant stärker vertreten als die andern Baumarten, die Tanne tendenziell schwächer. Förstergruppe 1 wählt signifikant mehr, Förstergruppe 2 signifikant weniger Buchen im schwachen BHD-Bereich aus. Umgekehrt wählt Förstergruppe 2 signifikant mehr kleine Fichten als Ausleseebäume aus.

Tab. 5.1-6: Faktoren mit signifikantem Einfluss auf den BHD-Bereich der Auslese.

| | |
|----------------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 0.1 bis 27.4 cm BHD, 521 Beobachtungen (ohne and.Lbb) |
| Zielvariable | Wahl eines Auslesebaumes mit BHD < 7.5 cm |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, BA*EXP, BA*FGR |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart BA** |
| Signifikante Interaktionseffekte | BA*FGR (*) |
| Signifikante Einflussvariablen | positiv: Fichte***, Buche*FGR1*, Fichte*FGR2* negativ: Buche*FGR2*, |
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 0.1 bis 27.4 cm BHD, 561 Beobachtungen |
| Zielvariable | Wahl eines Auslesebaumes mit BHD > 19.9 cm |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, BA*EXP, BA*FGR |
| Signifikante Haupteffekte | Förstergruppe FGR *, Baumart BA (*) |
| Signifikante Einflussvariablen | positiv: FGR3**, Fichte*Nord*, Buche*FGR3 negativ: FGR2**, Fichte*, Buche*FGR2 |

Legende:

BA= Baumart (**B**uche, **T**anne, **F**ichte, and.**L**bb)

EXP = Exposition (Nord, Süd)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

DSTU = BHD-Stufe (S5, S10, S15)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Die Berechnung des komplementären Modells, d.h. des Einflusses auf die Wahl von Auslesebäumen mit BHD > 19.9 cm, ergibt ähnliche Ergebnisse: schwach signifikanter Einfluss von Baumart und Förstergruppe, kein Einfluss der Exposition und der Interaktionseffekte (Tab. 5.1-6). Der Unterschied zwischen den Baumarten einerseits und den Förstergruppen FGR andererseits ist in Abb. 5.1-3 und Abb. 5.1-4 verdeutlicht. FGR 1 liest die Ausleseebäume überwiegend im Bereich 8.0 bis 24.0 cm aus, FGR 2 im Bereich 6.0 bis 21.0 und FGR 3 zwischen 8.5 und 23.5 cm BHD.

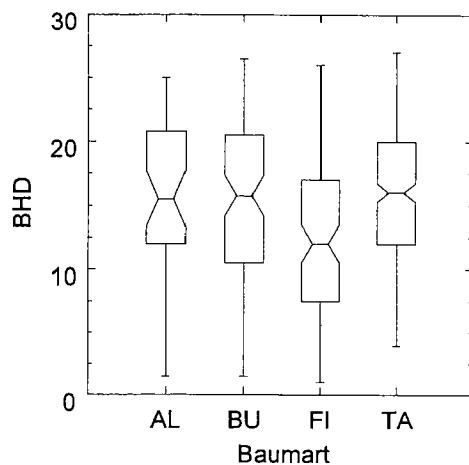


Abb. 5.1-3: BHD-Verteilung der Ausleseebäume mit BHD < 27.5 cm (n=561), pro Baumart.

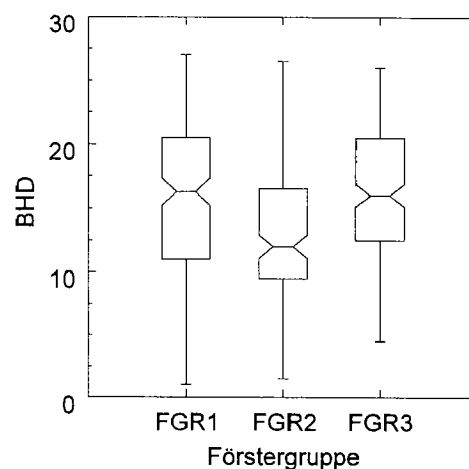


Abb. 5.1-4: BHD-Verteilung der Ausleseebäume mit BHD < 27.5 cm (n=561), pro Förstergruppe.

5.1.3 Stammzahldichte der Auslesebäume

Abb. 5.1-5 zeigt die Anzahl Auslesebäume pro ha im Bereich 2.5 bis 22.4 cm BHD, Abb. 5.1-6 die Verteilung der Untersuchungsflächen auf Klassen unterschiedlicher Auslesebaum-Dichte.

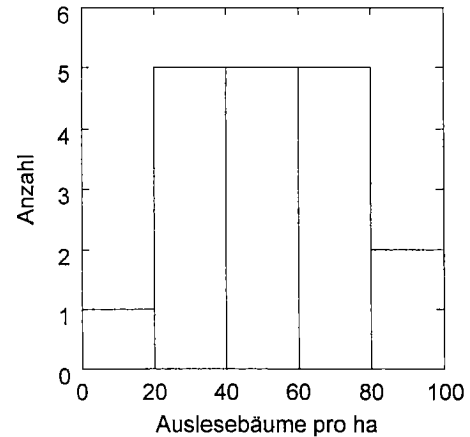
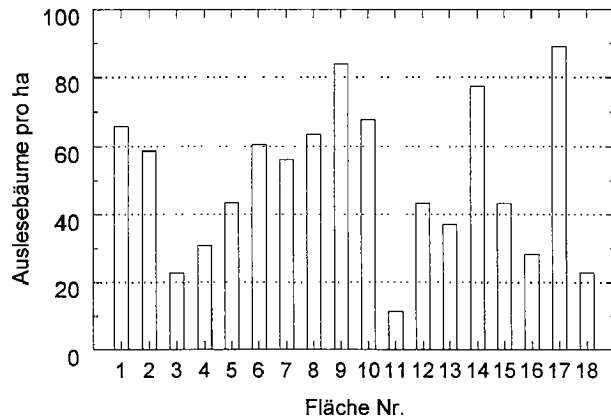


Abb. 5.1-5: Anzahl Auslesebäume pro ha und pro Untersuchungsfläche UFL.

Abb. 5.1-6: Anzahl UFL pro Klasse unterschiedl. Auslesebaum-Dichte.

Die Untersuchungsflächen weisen zwischen 10 und 90 Auslesebäumen pro ha auf. 15 von 18 Flächen weisen zwischen 20 und 80 Auslesebäume pro ha auf. Die Verteilung auf Klassen unterschiedlicher Dichten entspricht ungefähr einer Normalverteilung. Der Mittelwert der Auslesedichte beträgt 50 Stämme pro ha; der wahre Mittelwert der Grundgesamtheit liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% zwischen 39 und 61 Stämmen pro ha.

Die Dichte der Auslesebäume pro Baumart (vgl. Tab. A.5.1-8 im Anhang) als auch jene pro BHD-Stufe (vgl. Tab. A.5.1-9 im Anhang) ist nicht normalverteilt und wird deshalb graphisch in Form zweier box-plot-Darstellungen miteinander verglichen (Abb. 5.1-7 und Abb. 5.1-8).

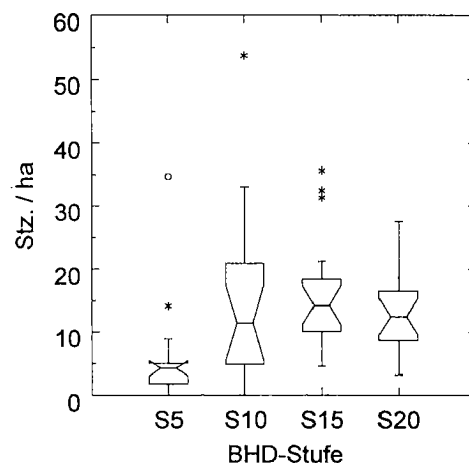
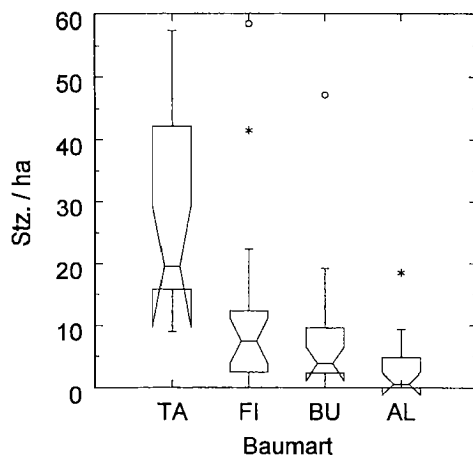


Abb. 5.1-7: Anzahl Auslesebäume pro ha, Vergleich der Baumarten.

Abb. 5.1-8: Anzahl Auslesebäume pro ha, Vergleich der BHD-Stufen.

Die Zahl der Auslesebäume beträgt bei Tanne rund 10 bis 50 Stämme pro ha und ist signifikant grösser als bei den andern Baumarten. Die Baumarten Fichte, Buche und übriges Laubholz weisen zwischen 0 und 20 Stämmen pro ha auf und unterscheiden sich untereinander nicht signifikant. Die Zahl der Auslesebäume ist in BHD-Stufe S05 mit 0 bis 10 Stück pro ha signifikant kleiner als in den andern BHD-Stufen. Sie beträgt in den Stufen S10, S15 und S20 mehrheitlich 5 bis 25 Stück pro ha.

Die mittlere Zahl der Ausleseebäume pro ha wird in den folgenden Abb. 5.1-9 und Abb. 5.1-10 pro Baumart und BHD-Stufe dargestellt, aufgrund der in Kap. 5.1.1 und 5.1.2 vorliegenden Ergebnisse nach Expositionen getrennt und ohne die FNR 14. Für die Auswertung wurden am Nordhang 354 Stämme auf 7.99 ha, am Südhang 126 Stämme auf 2.99 ha berücksichtigt.

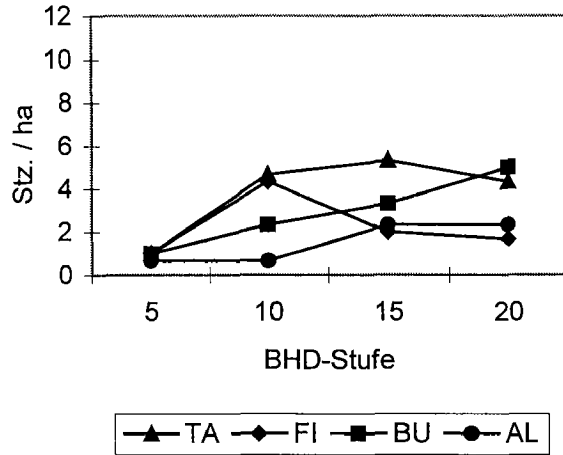
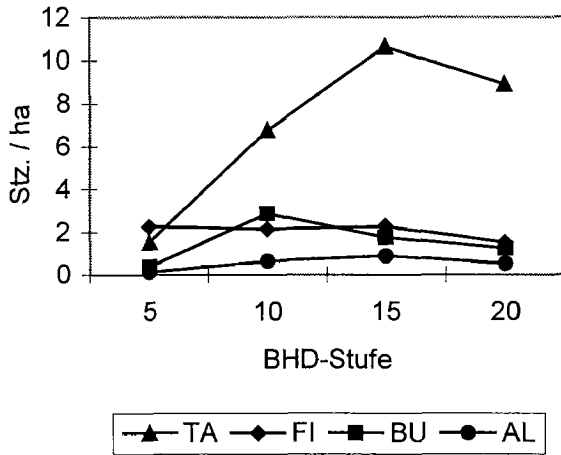


Abb. 5.1-9: Ausleseebäume am Nordhang
Verteilung auf BHD-Stufen pro Baumart.

Abb. 5.1-10: Ausleseebäume am Südhang,
Verteilung auf BHD-Stufen pro Baumart.

In Nordexposition dominiert ab BHD-Stufe 10 ganz klar die Tanne; die andern Baumarten weisen im Schnitt nicht mehr als 3 Ausleseebäume pro BHD-Stufe auf. In Südexposition ist die Situation viel ausgeglichener. In Stufe 20 dominieren Tanne und Buche gemeinsam.

Die Zahl der Ausleseebäume pro ha ist vermutlich nicht nur abhängig von der Baumart und der BHD-Stufe, sondern auch von der Nachwuchs-Stammzahl. Zur Prüfung dieser Hypothese wurde für alle Baumarten die Korrelation zwischen der Nachwuchs-Stammzahl und der Zahl der Ausleseebäume berechnet (Tab. 5.1-7).

Tab. 5.1-7: Korrelation zwischen Nachwuchsstammzahl und Anzahl Ausleseebäume (n = 18).

r = Spearmans Rangkorrelationskoeffizient rho;
p = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

| | Anzahl der Ausleseebäume | | | | | |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Tanne | Fichte | Buche | and. Lbb | Nadelb. | Laubb. |
| Nachwuchs-Stz. der Baumart | r = + 0.56 p = 0.017 | r = + 0.95 p = 0.0001 | r = + 0.82 p = 0.0001 | r = + 0.91 p = 0.0001 | r = + 0.53 p = 0.023 | r = + 0.86 p = 0.0001 |

Eine Korrelation zwischen der Nachwuchsstammzahl und der Zahl der Ausleseebäume kann bei allen Baumarten festgestellt werden. Besonders straff ist der Zusammenhang bei den selteneren Baumarten Fichte und übrige Laubbäume (vgl. Kap. 5.1.4).

5.1.4 Ausleseintensität

Unter Ausleseintensität wird der Anteil der Ausleseebäume an der Ausgangsstammzahl verstanden. Die Ausgangsstammzahl ist die Summe der Stammzahl der verbleibenden Nachwuchsstämme zuzüglich der Nachwuchsstammzahl im Aushieb. Die Ausleseintensität wurde für jede Fläche pro BHD-Stufe und pro Baumart berechnet. Um wenig aussagekräftige Einzelwerte zu vermeiden, wurde die minimale Ausgangsstammzahl für diese Auswertung auf vier Stämme festgelegt.

Die Ergebnisse sind in Tab. A.5.1-10 im Anhang zusammengestellt.

Die Bestimmung der Faktoren mit signifikantem Einfluss auf die Ausleseintensität erfolgte mit Hilfe des logistischen Modelles nach folgendem Vorgehen: man berechnet die Ausleseintensität AI pro Baumart und Durchmesserstufe und benützt sie direkt bzw. als binäre Variable als Zielvariable

der Modellberechnung. Weil die Ausgangsstammzahl der übrigen Laubbäume häufig kleiner als vier und die AI entsprechend nicht berechnet wurde, wurden für die nachfolgende Berechnung nur die Baumarten Tanne, Fichte und Buche berücksichtigt. Von den theoretisch möglichen 216 Datensätzen [12 verbundenen Stichprobewerten (je 3 Baumarten in 4 BHD-Stufen) aus 18 unabhängigen Stichprobeflächen] standen dafür 180 Sätze zur Verfügung.

Das Modell untersucht die Einflussfaktoren auf kleine Ausleseintensitäten (< 5%). Die Ergebnisse (vgl. Tab. A.5.1-11 und 5.1-12 im Anhang) sind in Tab. 5.1-8 zusammengefasst.

Tab. 5.1-8: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf die Ausleseintensität.

| | |
|--|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 180 Beobachtungen |
| Zielvariable | Ausleseintensität < 5 % |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, DSTU |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart ***, BHD-Stufe ***, Förstergruppe * |
| Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | positiv: Buche***, S05***, FGR3* negativ: Fichte***, S15***, S20***, FGR2* |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbb)

EXP = Exposition (Nord, Süd)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

DSTU = BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Die Parameter Baumart und BHD-Stufe weisen signifikante Unterschiede auf, die Förstergruppe nur einen schwach signifikanten. Die Interaktionseffekte konnten nicht berechnet werden.

Um diese statistischen Zusammenhänge optisch darzustellen, wurde die Ausleseintensität, nach Exposition getrennt, pro Baumart und BHD-Stufe berechnet und in Abb. 5.1-11 dargestellt.

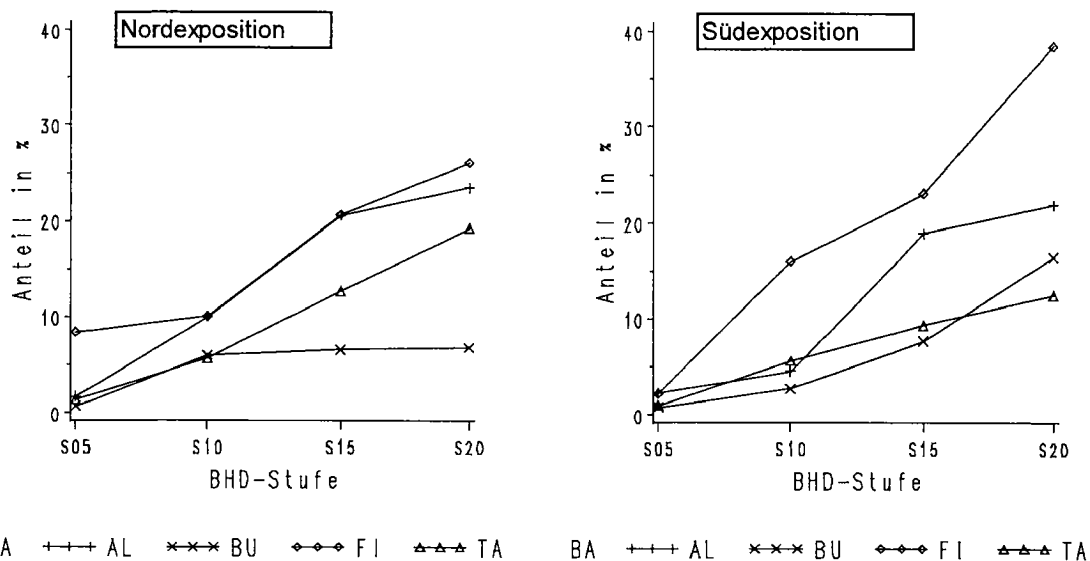


Abb. 5.1-11 a,b: Ausleseintensität pro Baumart, getrennt nach Exposition.

Legende: AL = andere Laubbäume BU = Buche FI = Fichte TA = Tanne

Der Anteil der Ausleseebäume an der Nachwuchs-Stammzahl nimmt mit zunehmendem BHD relativ stark zu. Er ist sowohl am Nordhang als auch am Südhang bei der Fichte und den übrigen Laubbäumen deutlich grösser als bei Tanne und Buche.

5.1.5 Förderungsintensität

Die 519 Ausleseebäume im untersuchten BHD-Bereich wurden durch die Entnahme von insgesamt 316 Bäumen gefördert, wovon allerdings nur 282 als direkte Konkurrenten angesprochen wurden. Im Mittel wurden rund 0,60 Nachbarbäumen bzw. 0,54 Konkurrenten pro Auslesebaum entfernt. Aufschlussreicher als der Mittelwert ist die Verteilung der Anzahl entfernter Konkurrenten: 278 (53,6%) Ausleseebäume wurden nicht speziell gefördert, 203 (39,1%) durch die Entfernung eines, 33 (6,4%) durch die Entfernung von zwei und nur gerade 5 (1%) durch die Entfernung von drei oder mehr Konkurrenten. Auch diese Zahlen sind wenig aussagekräftig, weil aufgrund des Anzeichnungsverhaltens Unterschiede zwischen den Försterguppen, Baumarten und BHD-Stufen vermutet werden können. Deshalb wurden die Faktoren mit vermutetem Einfluss auf die Förderungsintensität mit Hilfe des logistischen Modelles berechnet. Die Ergebnisse sind in den Tab. A.5.1-13 und A.5.1-14 im Anhang tabelliert und in Tab. 5.1-9 zusammengefasst.

Tab. 5.1-9: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf die Förderungsintensität.

| | |
|--------------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 519 Beobachtungen |
| Zielvariable | Anzahl entfernter Konkurrenten = 0 |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, DSTU |
| Signifikante Haupteffekte | FGR***, DSTU(*) |
| Signifikante Einflussvariablen | positiv: FGR1***, S20* negativ: FGR3***, FGR2*, S05*, Fichte* |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbb)

EXP = Exposition (Nord, Süd)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

DSTU = BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Die Förstergruppen weisen einen hochsignifikanten, die BHD-Stufen bloss einen schwach signifikanten Einfluss auf. FGR1 fördert die Ausleseebäume deutlich weniger häufig als FGR2 und FGR3. Des weiteren weisen die Fichten und die BHD-Stufe S05 weniger, die BHD-Stufe S20 mehr Ausleseebäume ohne entfernten Konkurrenten auf. Die Interaktionseffekte konnten nicht berücksichtigt werden, weil die einzelnen Kombinationen nicht alle vorkommen.

Aufgrund der Abb. 5.1-12 wird ersichtlich, dass der Anteil der geförderten Ausleseebäume mit zunehmendem BHD abnimmt und dass sich Förstergruppe 1 bezüglich Förderungsintensität deutlich von den zwei andern Gruppen unterscheidet. Während Förstergruppe 1 insgesamt nur einen Viertel der gewählten Ausleseebäume fördert, sind es bei bei Förstergruppe 2 (54%) und 3 (59%) mehr als die Hälfte. Hingegen bestehen keine deutlichen Unterschiede zwischen den Baumarten. Einige Werte gehen auf eine sehr kleine Anzahl von Ausleseebäumen zurück und sind darum eher zufällig. Eine wesentlich bessere Aussage ergibt sich, wenn die Förderungsintensität für die ähnlich eingreifenden Förstergruppen 2 und 3 berechnet wird (Tab. 5.1-10).

Tab. 5.1-10: Anteil der Ausleseebäume mit mindestens einem entfernten Konkurrenten, pro Baumart und BHD-Stufe, für die Förstergruppen 2 und 3.

| Baumart | S05 | S10 | S15 | S20 | Gesamt | n ALB |
|----------------------|--------|-----|-----|-----|--------|-------|
| Tanne | 60% | 47% | 55% | 56% | 53,5% | 187 |
| Fichte | 88% | 71% | 53% | 43% | 59,7% | 89 |
| Buche | (75%) | 44% | 64% | 47% | 50,9% | 55 |
| and. Laubbbäume | (100%) | 50% | 44% | 40% | 47,1% | 17 |
| alle Baumarten | 80% | 52% | 55% | 51% | 56,9% | 348 |
| Anzahl Ausleseebäume | 54 | 100 | 110 | 84 | 348 | |

Legende:

n ALB= Anzahl Ausleseebäume

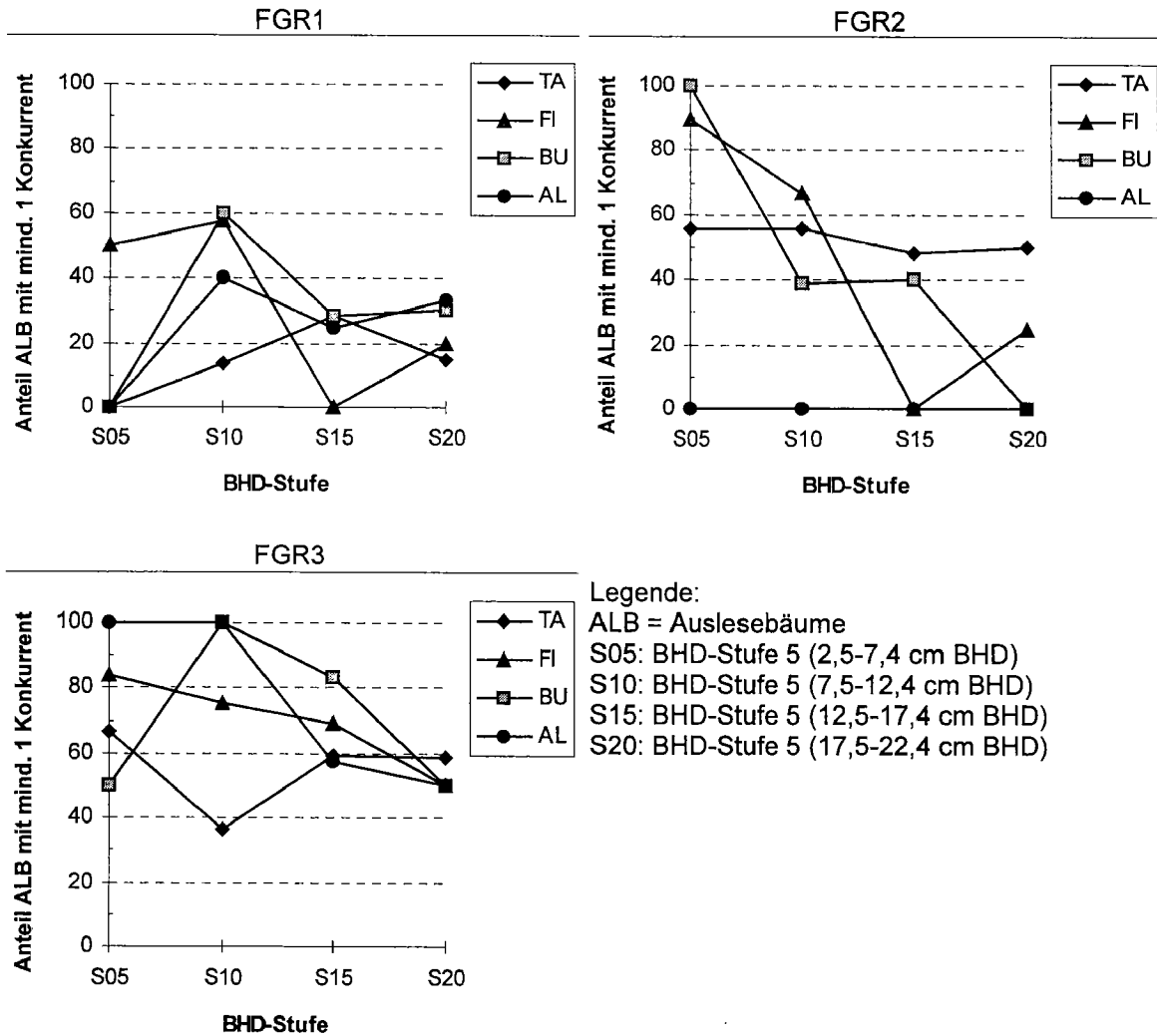


Abb. 5.1-12, a-c: Anteil der Ausleseebäume mit mindestens einem entfernten Konkurrenten.

Der Anteil der geförderten Ausleseebäume beträgt also rund 57%. Er differiert insgesamt nicht zwischen den Baumarten, hingegen zwischen den BHD-Stufen: Ausleseebäume der Stufe S05 werden deutlich häufiger gefördert als solche der Stufen S10, S15 oder S20. In den Stufen S05 und S10 wird zudem die Fichte deutlich häufiger gefördert als die übrigen Baumarten.

Die Ausleseebäume werden mehrheitlich durch den Aushieb eines einzigen Konkurrenten gefördert. Nur für rund 10% der Ausleseebäume wird mehr als ein Konkurrent entfernt (Tab. 5.1-11); in der BHD-Stufe S05 werden die Ausleseebäume nicht nur häufiger, sondern auch stärker gefördert als in den Stufen S10, S15 und S20.

Tab. 5.1-11: Anteil der Ausleseebäume pro Anzahl Konkurrenten und pro BHD-Stufe.

| Anzahl Konkurrenten | S05 | S10 | S15 | S20 | Gesamt | n ALB |
|-----------------------------|------|------|------|------|--------|-------|
| 0 | 20% | 48% | 45% | 49% | 43.1% | 150 |
| 1 | 61% | 38% | 46% | 46% | 46.3% | 161 |
| 2 | 15% | 12% | 7% | 5% | 9.2% | 32 |
| 3 | 4% | 2% | 0% | 0% | 1.2% | 4 |
| 4 | 0% | 0% | 1% | 0% | 0.3% | 1 |
| TOTAL | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | |
| Anzahl Ausleseebäume | 54 | 100 | 110 | 84 | 348 | |

Legende: n ALB= Anzahl Ausleseebäume

5.1.6 Räumliche Verteilung der Ausleseebäume

Die räumliche Verteilung der Ausleseebäume ist im Anhang graphisch dargestellt (Abb. A 5.2-1). Sie wurde mit Hilfe der Abstandswerte von je 20 systematisch verteilten Stichprobepunkten zum nächstgelegenen Auslesebaum und mit Hilfe des Durchmessers der zwei grössten Kreisflächen ohne Ausleseebäume analysiert. Für die Berechnung dieser Kennwerte wurden nur Ausleseebäume mit einem BHD < 17.5 cm berücksichtigt. Die Abstände zwischen den 20 Stichprobepunkten und dem nächstgelegenen Auslesebaum sind auf 7 Untersuchungsflächen normalverteilt (Tab. 5.1-12). Zwischen den Flächen bestehen zum Teil erhebliche Unterschiede: der Median der Auslesebaum-Abstände variiert zwischen 4.5 und 39.0 und der Durchmesser-Mittelwert der beiden grössten Kreisflächen ohne Ausleseebäume zwischen 25.0 m und 61.0 m. Die linksschief verteilten Abstände können durch eine logarithmische Transformation annähernd in eine Normalverteilung überführt werden. Dadurch werden alle Werte der NVP grösser als 0.90, und 15 Untersuchungsflächen weisen dann Normalverteilung auf.

Für die nachfolgenden Unterscheidungstest konnten deshalb Verfahren verwendet werden, welche Normalverteilung voraussetzen. Der F-Test ergibt signifikante Unterschiede zwischen den logarithmierten Abstands-Mittelwerten der 18 Flächen (FG = 17, F= 10.8, p= 0.0001). Der multiple Mittelwertvergleich nach Student-Newman-Keuls ergibt folgende 6 Gruppen (Tab. 5.1-13):

Tab. 5.1-12: Kennwerte der räumlichen Verteilung der Ausleseebäume.

| FNR | FLA (ha) | ALB (Stz./ha) | mittlere Distanz zwischen 20 Stichprobepunkten und dem nächstgelegenen Auslesebaum | | | | | | | Grösster Kreisflächen- Durchmesser ohne ALB | | |
|-----|-------------|------------------|---|------|------|------|------|------|------|--|------|------|
| | | | MW | STD | NVP | W | Q1 | MED | Q3 | GKD1 | GKD2 | GKD |
| 1 | 0.49 | 47.4 | 7.3 | 3.9 | 0.97 | 0.77 | 4.0 | 7.0 | 10.0 | 26.0 | 26.0 | 26.0 |
| 2 | 0.55 | 31.1 | 8.7 | 4.9 | 0.93 | 0.16 | 5.5 | 7.0 | 12.5 | 34.0 | 33.0 | 33.5 |
| 3 | 0.79 | 15.2 | 20.7 | 13.2 | 0.93 | 0.13 | 11.0 | 16.0 | 31.0 | 61.0 | 61.0 | 61.0 |
| 4 | 0.81 | 22.3 | 12.1 | 6.9 | 0.95 | 0.31 | 6.5 | 10.0 | 17.0 | 43.0 | 40.0 | 41.5 |
| 5 | 0.85 | 40.0 | 10.3 | 6.6 | 0.91 | 0.08 | 4.5 | 9.0 | 16.0 | 36.0 | 35.0 | 35.5 |
| 6 | 0.46 | 43.2 | 7.3 | 4.8 | 0.91 | 0.06 | 4.0 | 6.0 | 9.0 | 30.0 | 25.0 | 27.5 |
| 7 | 0.68 | 41.4 | 6.8 | 3.6 | 0.93 | 0.15 | 4.5 | 7.0 | 8.0 | 32.0 | 31.0 | 31.5 |
| 8 | 0.42 | 47.1 | 8.2 | 6.6 | 0.80 | 0.00 | 4.0 | 7.0 | 10.0 | 33.0 | 29.0 | 31.0 |
| 9 | 0.47 | 73.0 | 6.9 | 4.9 | 0.89 | 0.03 | 3.0 | 5.0 | 9.0 | 30.0 | 29.0 | 29.5 |
| 10 | 0.38 | 54.7 | 8.3 | 6.0 | 0.83 | 0.00 | 4.0 | 6.5 | 10.5 | 30.0 | 29.0 | 29.5 |
| 11 | 0.88 | 4.5 | 43.7 | 26.0 | 0.96 | 0.55 | 20.5 | 39.0 | 62.5 | 80.0 | 60.0 | 70.0 |
| 12 | 0.83 | 24.1 | 11.9 | 6.1 | 0.86 | 0.01 | 8.0 | 10.0 | 15.0 | 46.0 | 44.0 | 45.0 |
| 13 | 1.05 | 22.9 | 16.9 | 13.3 | 0.89 | 0.03 | 6.5 | 14.0 | 23.0 | 56.0 | 51.0 | 53.5 |
| 14 | 0.63 | 116.9 | 6.0 | 4.5 | 0.82 | 0.00 | 2.5 | 4.5 | 7.5 | 36.0 | 31.0 | 33.5 |
| 15 | 0.92 | 34.6 | 9.1 | 4.4 | 0.90 | 0.04 | 5.0 | 8.5 | 10.5 | 36.0 | 29.0 | 32.5 |
| 16 | 0.42 | 18.9 | 13.2 | 8.4 | 0.88 | 0.02 | 6.5 | 12.0 | 15.5 | 41.0 | 39.0 | 40.0 |
| 17 | 0.34 | 77.1 | 6.1 | 4.4 | 0.91 | 0.05 | 3.0 | 5.0 | 9.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 |
| 18 | 0.65 | 9.2 | 16.5 | 7.6 | 0.95 | 0.41 | 11.0 | 15.0 | 22.5 | 46.0 | 42.0 | 44.0 |

Legende:

FNR= Flächennummer

FLA= Flächengrösse (Aren)

ALB= Anzahl Ausleseebäume (Stz./ha)

W= W-Wert des Shapiro-Wilks-Tests (falls > 0.10: Daten normalverteilt).

GKD1, GKD2:= Grösster bzw. zweitgrösster Kreisflächen-Durchmesser ohne Auslesebaum

GKD= arithmetisches Mittel von GKD1 und GKD2

MW = Mittelwert

STD.= Standardabweichung

NVP = Normalverteilungsprüfung

Q1 = erstes Quartil

MED = Median

Q3 = drittes Quartil

Tab. 5.1-13: Multipler Mittelwertvergleich zwischen den Abstands-Mittelwerten (n = 20).

| FNR | log AMW | A | B | C | D | E | F |
|-----|---------|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 3.58 | X | | | | | |
| 3 | 2.87 | | X | | | | |
| 18 | 2.75 | | X | X | | | |
| 13 | 2.55 | | X | X | X | | |
| 16 | 2.49 | | X | X | X | X | |
| 12 | 2.46 | | X | X | X | X | |
| 4 | 2.43 | | X | X | X | X | |
| 5 | 2.23 | | | X | X | X | X |
| 15 | 2.22 | | | X | X | X | X |
| 2 | 2.13 | | | | X | X | X |
| 10 | 2.05 | | | | X | X | X |
| 8 | 1.99 | | | | X | X | X |
| 1 | 1.99 | | | | X | X | X |
| 6 | 1.95 | | | | X | X | X |
| 7 | 1.95 | | | | X | X | X |
| 9 | 1.88 | | | | | X | X |
| 14 | 1.77 | | | | | | X |
| 17 | 1.77 | | | | | | X |

Legende: log AMW= Logarithmus des Abstands-Mittelwertes.

Der logarithmierte Abstands-Mittelwert weist grossen Sprünge zwischen den Flächen NR 11 und 3, 4 und 5, 15 und 2, 9 und 14 auf. Die Untersuchungsflächen können deshalb zu fünf Gruppen zusammengefasst und wie folgt charakterisiert werden:

Tab. 5.1-14: Gruppen mit unterschiedlicher Verteilung der Ausleseebäume.

| Gruppe | Nr. | Fläche (Nr.) | Abstands-Median (m) | Anzahl Ausleseebäume (Stz./ha) | DM der max. Kreisfläche (m) |
|--------|-----|-----------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| A | 1 | 11 | > 30 | < 5 | > 65 |
| B | 2 | 3,4,12,13,16,18 | 10 - 30 | 5 - 30 | 40 - 65 |
| C \ B | 3 | 5, 15 | 5 - 10 | 30 - 45 | 30 - 40 |
| E \ C | 4 | 1,2,6,7,8,9,10 | 5 - 10 | 45 - 75 | 25 - 35 |
| F \ E | 5 | 14,17 | ≤ 5 | > 75 | 25 - 35 |

Die Gruppen unterscheiden sich sowohl im Abstands-Median als auch in der Zahl der Ausleseebäume und in der Klumpung. Flächen mit wenig Ausleseebäumen (< 30 Stk./ha) weisen grosse Abstands-Mediane und grosse maximale Kreisflächen (Durchmesser > 40 m, d.h. 12 Aren Fläche) ohne Ausleseebäume auf, Flächen mit viel Ausleseebäumen dagegen kleine Abstands-Mediane und kleine Flächen ohne Ausleseebäume (max. 36 m Durchmesser, d.h. weniger als 10 Aren Fläche).

Zwischen der Dichte der Ausleseebäume und dem Abstands-Median (n=18, r = -0.93, p = 0.0001) wie auch dem Durchmesser der zwei grössten Kreisflächen ohne Auslesebaum (n=18, r = -0.85, p = 0.0001) bestehen statistisch hochsignifikante, negative Korrelationen. Der Abstands-Median und der Kreisflächen-Durchmesser sind entsprechend hochsignifikant positiv (r = 0.86, p = 0.0001) miteinander korreliert.

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Dichte der Ausleseebäume und dem Abstands-Median wurde eine Regressionsgleichung berechnet. Die beste Anpassung der Punkteschar ergab sich mit einer Potenz-Regression. Das Ergebnis der Regression ist im Anhang (Abb. A.5.1-0) dargestellt. Bis zu einer Dichte von rund 30 Ausleseebäumen pro ha ist der Einfluss auf den Abstands-Median gering, mit weiter abnehmender Dichte dagegen nimmt der Abstands-Median sehr stark zu.

5.1.7 Abstand von einem Auslesebaum zum nächsten

Der Abstand der Ausleseebäume zueinander ist für die Beurteilung der Pflege bedeutend. Die Verteilung auf Klassen von 2 m entspricht annähernd einer Normalverteilung (Abb. 5.1-13). Die statistischen Kennwerte des Abstandes von jedem Auslesebaum zum nächsten (Tab. 5.1-15) zeigen, dass Fichten einen signifikant kleineren Abstand zum nächsten Auslesebaum aufweisen. Dies könnte auf den grösseren Fichtenanteil in den BHD-Stufen S05 und S10 zurückzuführen sein.

Tab. 5.1-15: Verteilung der minimalen Abstände zwischen Ausleseebäumen (n=393).

| Baumart | n | MW | STD | STDErr | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|---------|-----|------|------|--------|-----|-----|-----|-----|------|
| Tanne | 271 | 7,70 | 4,03 | 0,35 | 3,4 | 5,3 | 6,9 | 8,8 | 14,7 |
| Fichte | 122 | 6,22 | 3,81 | 0,20 | 2,3 | 3,6 | 5,0 | 8,0 | 11,8 |

Legende:

n= Anzahl Bäume MW = Mittelwert STD.= Standardabweichung STDErr.= Standardfehler
 P05= 5%-Perzentil Q1= erstes Quartil MED= Median Q3= drittes Quartil P95=95%-Perzentil

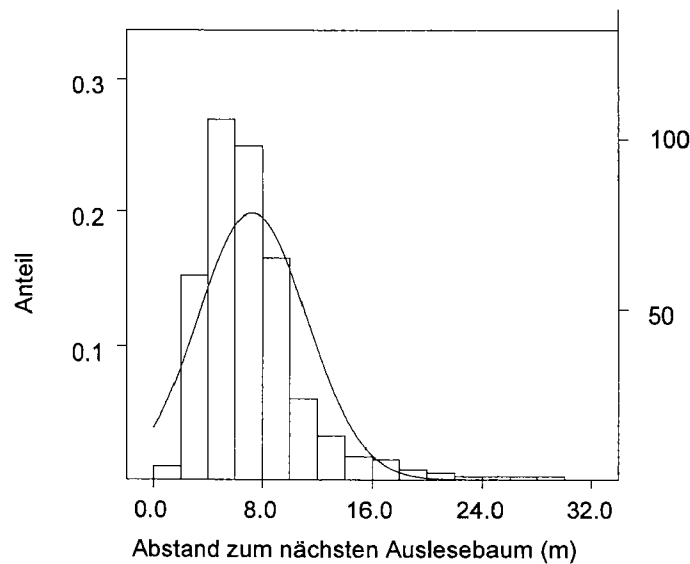


Abb. 5.1-13 Abstand von den Ausleseebäumen zum jeweils nächsten Auslesebaum.

Tatsächlich sind die Abstände zum nächsten Auslesebaum bei Bäumen der BHD-Stufe 5 kleiner als bei den übrigen (Abb. 5.1-14). Tannen und Fichten unterscheiden sich hier nicht signifikant.

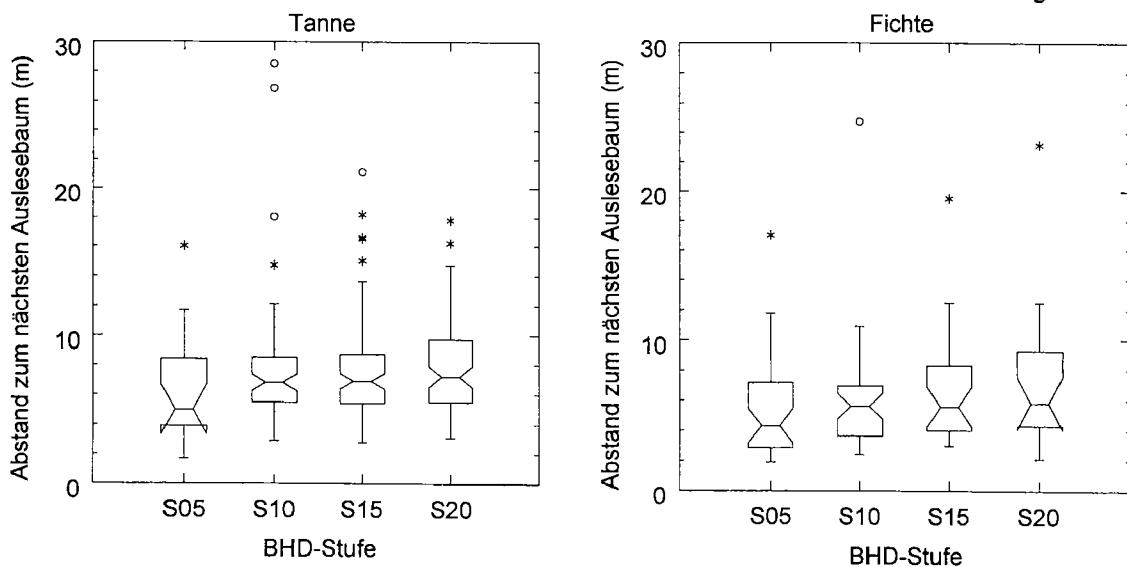


Abb. 5.1-14: Abstand der Tannen- bzw. Fichtenausleseebäume zum nächsten Auslesebaum

5.2 Aushieb

5.2.1 Verteilung der Aushiebe auf BHD-Stufen und Baumarten

Wegen der ungleichen Flächengrößen der Untersuchungsflächen sind die Aushiebe nicht als Gesamtes, sondern pro Fläche getrennt und in Stammzahl / ha ausgewertet worden. Abb. 5.2-1 zeigt die Durchmesserverteilung der Aushiebe auf 2.5 cm BHD-Stufen, Abb. 5.2-2 gibt die Durchmesserverteilung des Eingriffs für jede Untersuchungsfläche getrennt an.

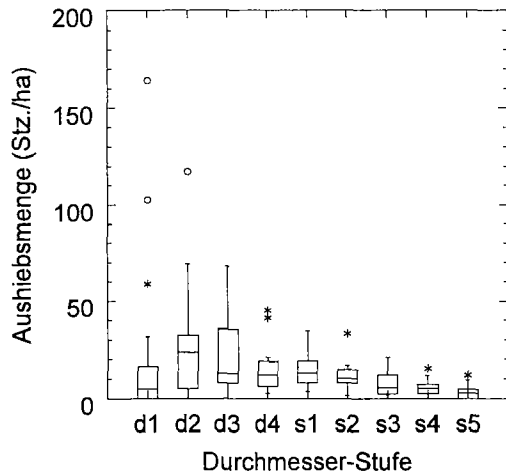


Abb. 5.2-1:
Verteilung der Aushiebe auf BHD-Stufen.

Legende:

- d1= 0.1- 2.4 cm BHD
- d2= 2.5- 4.9 cm BHD
- d3= 5.0- 7.4 cm BHD
- d4= 7.5- 9.9 cm BHD
- s1= 10.0-12.4 cm BHD
- s2= 12.5-14.9 cm BHD
- s3= 15.0-17.4 cm BHD
- s4= 17.5-19.9 cm BHD
- s5= 20.0-22.4 cm BHD

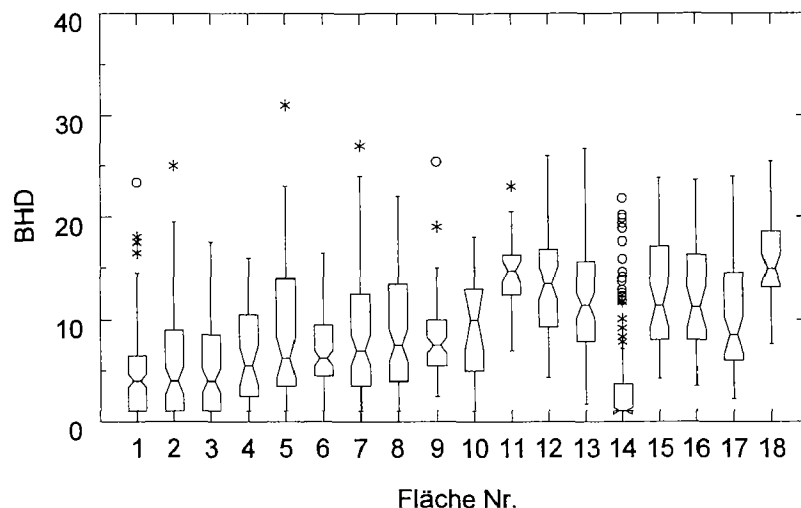


Abb. 5.2-2: Durchmesserverteilung der Aushiebe pro Untersuchungsfläche.

Zwischen den BHD-Stufen gibt es signifikante Unterschiede in der Anzahl Aushiebe pro ha ($\chi^2=74.6$, $FG=17$, $p=0.0001$). Zwischen den Untersuchungsflächen bestehen ebenfalls signifikante Unterschiede in der Durchmesserverteilung der Aushiebe ($\chi^2=474.4$, $FG=17$, $p=0.0001$). Die Aushiebs-Durchmesser liegen im Bereich von 0.5 bis 31.0 cm BHD.

Aus der Tabelle A.5.1-1 im Anhang kann zusätzlich folgendes herausgelesen werden:

- Alle Flächen liegen mit ihren 5%- bzw. 95%-Perzentilen zwischen 1.0 und 22.8 cm BHD.
- Auf drei Viertel der Flächen weisen 75% der Aushiebe einen BHD von mehr als 2.5 cm auf.
- Auf drei Viertel der Flächen weisen 75% der Aushiebe einen BHD von weniger als 16.3 cm auf.

Die Nachwuchspflege erfolgt also überwiegend im Bereich 1 bis 23 cm BHD, mit einem Schwerpunkt zwischen 2.5 und 16.3 cm BHD. Für die weiteren Untersuchungen BHD-abhängiger Zielgrößen wurde der untersuchte Durchmesserbereich auf 2.5 bis 22.4 cm festgelegt, unter Verwendung von vier 5cm-Stufen. Der Bereich unterhalb 2.5 cm BHD wurde ausgeklammert, weil dort nur auf 4 Flächen bedeutend eingegriffen wurde, auf 6 Flächen dagegen gar nicht. Im gesamten Aushieb ab 2.5 cm BHD sind die Buchen und Tannen mit einem Anteil von je über 40% am häufigsten vertreten. Daneben sind die folgenden Baumarten vertreten (Tab. 5.2-1) :

Tab. 5.2-1: Vertretung der Baumarten im gesamten Aushieb mit BHD > 2.4 cm (n = 1130).

| Baumart | Anzahl | Anteil (%) | Baumart | Anzahl | Anteil (%) |
|-----------|--------|------------|------------|--------|------------|
| Buche | 507 | 44.9% | Esche | 12 | 1.1% |
| Tanne | 464 | 41.1% | Spitzahorn | 2 | 0.2% |
| Fichte | 91 | 8.1% | Vogelbeere | 2 | 0.2% |
| Bergahorn | 31 | 2.7% | (Hasel) | 2 | 0.2% |
| Bergulme | 19 | 1.7% | Total | 1130 | 100.0% |

Im Bereich unter 2.5 cm BHD wurden zusätzlich 189 Laubbäume und 61 Nadelbäume entfernt. Für die weiteren Auswertungen wurden die übrigen Laubbäume (B'Ah, B'Ul, Es, S'Ah, Vob, Hasel) zusammengefasst und als anderes Laubholz (and. Lbb) bezeichnet. Die Anteile der Baumarten unterscheiden sich zwischen den vier Durchmesserstufen im untersuchten BHD-Bereich (Tab. 5.2-2): Tannen sind in den stärkeren BHD-Stufen häufiger, Buchen seltener vertreten als in den schwächeren. Die Anteile von Fichte und übrigen Laubbäumen sind konstant.

Tab. 5.2-2: Verteilung der Aushiebe auf Baumarten und BHD-Stufen (n = 1111).

| BHD-Stufe | S05 | | S10 | | S15 | | S20 | | Total | |
|-------------|-----------|------|------------|------|-------------|------|-------------|------|------------|--------|
| BHD-Bereich | 2.5 - 7.4 | | 7.5 - 12.4 | | 12.5 - 17.4 | | 17.5 - 22.4 | | 2.5 - 22.4 | |
| Tanne | 161 | 33% | 125 | 39% | 111 | 53% | 57 | 56% | 454 | 40.9% |
| Fichte | 42 | 9% | 28 | 9% | 15 | 7% | 6 | 6% | 91 | 8.2% |
| Buche | 253 | 53% | 147 | 46% | 71 | 34% | 30 | 30% | 501 | 45.1% |
| and. Lbb | 26 | 5% | 18 | 6% | 13 | 6% | 8 | 8% | 65 | 5.9% |
| Total | 482 | 100% | 318 | 100% | 210 | 100% | 101 | 100% | 1111 | 100.0% |

Von den 1111 Stämmen des Aushiebes entstammten rund zwei Drittel aus den 14 Flächen am Nordhang und ein Drittel aus den 4 Flächen am Südhang (Tab. 5.2-3). Die Verteilung auf die BHD-Stufen zeigt, dass in den Stufen S05 und S10 insgesamt viel stärker eingegriffen wird als in den Stufen S15 und S20. Allerdings bestehen grosse Unterschiede zwischen den drei definierten Förstergruppen FGR (Kap. 3.3). FGR 1 zeichnet vorwiegend im unteren Durchmesserbereich an, FGR 2 in allen Stufen und FGR 3 vorwiegend im mittleren und oberen Bereich (Tab. 5.2-4). Dieser Feststellung musste bei den folgenden Auswertungen Rechnung getragen werden.

Tab. 5.2-3: Verteilung der Aushiebe auf Exposition und BHD-Stufe (n = 1111).

| BHD-Stufe | S05 | S10 | S15 | S20 | Total |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| Nord | 292 (40%) | 220 (30%) | 150 (20%) | 74 (10%) | 736 (100%) |
| Süd | 190 (51%) | 98 (26%) | 60 (16%) | 27 (7%) | 375 (100%) |
| Total | 482 (43%) | 318 (29%) | 210 (19%) | 101 (9%) | 1111 (100%) |

Tab. 5.2-4: Verteilung der Aushiebe auf Förstergruppen und BHD-Stufen.

| BHD-Stufe | S05 | | S10 | | S15 | | S20 | | Total | |
|-----------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-------|------|
| Förstergruppe 1 | 272 | 56% | 127 | 40% | 49 | 23% | 14 | 14% | 462 | 42% |
| Förstergruppe 2 | 138 | 29% | 78 | 25% | 47 | 22% | 24 | 24% | 287 | 26% |
| Förstergruppe 3 | 72 | 15% | 113 | 35% | 114 | 55% | 63 | 62% | 362 | 32% |
| Total | 482 | 100% | 318 | 100% | 210 | 100% | 101 | 100% | 1111 | 100% |

Für eine detaillierte statistische Auswertung der Daten lagen bei fast allen vermuteten Einflussfaktoren genügend Beobachtungen vor.

5.2.2 Bezeichnung der Aushiebe

In einem ersten Schritt wurde untersucht, welche Einflussfaktoren die Wahl eines Aushiebes begünstigen und welche nicht. Dazu wurden im logistischen Modell alle Aushiebe allen Stämmen nach dem Eingriff gegenübergestellt und als Zielvariable verwendet. Als Einflussfaktoren wurden die Parameter Baumart, Exposition, Förstergruppe, BHD-Stufe und ihre Interaktionen berücksichtigt. Da der BHD-Bereich unter 7.5 cm BHD mittels Stichproben erfasst wurde, wurden in diesem Modell nur die Aushiebe aus den BHD-Stufen S10, S15 und S20 verwendet. Das Ergebnis dieser Berechnung (Tab. A.5.2-2 und Tab. 5.2-3 im Anhang) ist in Tab. 5.2-5 zusammengefasst.

Tab. 5.2-5: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Wahl von Aushieben.

| | |
|--|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 7.5 bis 22.4 cm BHD, 4512 Beobachtungen |
| Zielvariable | Wahl als Aushieb |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, DSTU, BAxEXP, BAxFGR, BAxDSTU, EXPxDSTU, FGRxDSTU |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart BA ^{***} , Förstergruppe FGR * |
| Signifikante Interaktionseffekte | BAxFGR (*), BAxDSTU *, EXPxDSTU (*), FGRxDSTU ^{***} |
| Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | positiv: AL ^{**} , BU [*] , FGR2 [*] negativ: FI ^{**} , TA [*] , FGR1 ^{**} , |

Legende:

BA= Baumart (**B**uche, **T**anne, **F**ichte, and **L**bb)

EXP = Exposition (**N**ord, **S**üd)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

DSTU = BHD-Stufe (S5, S10, S15)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Bei den Haupteffekten weist die Baumart einen hochsignifikanten, die Förstergruppe einen schwach signifikanten Einfluss auf. Von den Interaktionseffekten ist insbesondere derjenige zwischen Förstergruppe und BHD-Stufe von Bedeutung. Die Exposition ist sowohl für sich allein als auch in Interaktion mit andern Faktoren nahezu bedeutungslos. Aus der Tab. A.5.2-3 im Anhang ist ersichtlich, dass das logistische Modell insgesamt nicht sehr geeignet ist ($p > \chi^2 = 0.0009$). Auf eine eingehendere Interpretation wird deshalb verzichtet.

Um den gesamten Untersuchungsbereich von 2.5 bis 22.4 cm BHD analysieren und um den Zusammenhang zwischen dem BHD-Bereich des Aushiebes und den vermuteten Einflussfaktoren studieren zu können, wurde ein weiteres logistisches Modell mit der Zielgröße Durchmesserbereich des Aushiebes und den Parametern Baumart, Exposition und Förstergruppe berechnet. Dabei wurde untersucht, welchen Einfluss die Parameter und ihre Interaktionseffekte auf die Wahl eines Aushiebes im Bereich BHD < 7.5 cm haben. Die Resultate (Tab. A.5.2-4 und Tab. A.5.2-5 im Anhang) sind in Tab. 5.2-6 zusammengefasst.

Tab. 5.2-6: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf den BHD-Bereich der Aushiebe.

| | |
|--|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 1111 Beobachtungen |
| Zielvariable | Wahl eines Aushiebes mit BHD < 7.5 cm |
| geprüfte Effekte | BA, EXP, FGR, BAxEXP, BAxFGR |
| Signifikante Haupteffekte | Förstergruppe FGR ^{***} , Baumart BA ^{***} |
| Signifikante Interaktionseffekte | BAxFGR ^{**} |
| Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | positiv: Buche ^{***} , FGR1 ^{***} negativ: Tanne [*] , FGR3 ^{***} |

Legende:

BA= Baumart (**B**uche, **T**anne, **F**ichte, and **L**bb)

EXP = Exposition (**N**ord, **S**üd)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

DSTU = BHD-Stufe (S5, S10, S15)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

5.2.3 Aushiebsmenge

Insgesamt wurden auf den 18 Untersuchungsflächen 1380 Pflanzen entfernt. Dies ergibt einen durchschnittlichen Aushieb von 125 Stämmen pro ha. Zwischen den einzelnen Flächen bestehen erhebliche Unterschiede (Abb. 5.2-4). Wegen der besseren Vergleichbarkeit sind die Aushiebe in Stz./ha dargestellt. Mit einer Ausnahme liegen die Werte zwischen 40 und 240 Stämmen pro ha. Die Verteilung auf Klassen unterschiedlicher Aushiebsmengen ist in Abb. 5.2-5 dargestellt.

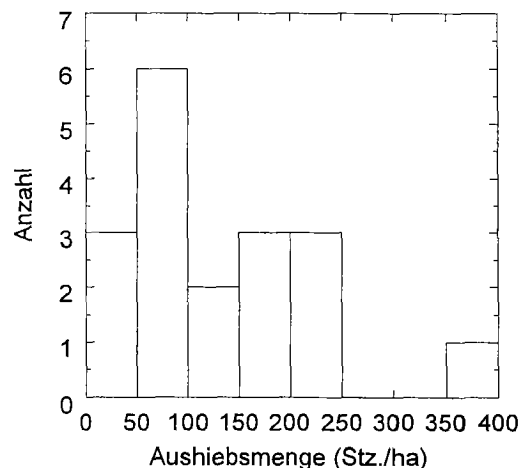
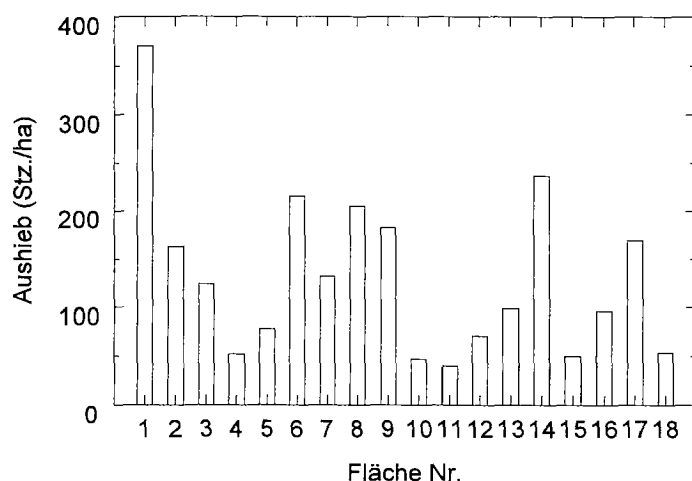


Abb. 5.2-4: Aushiebsmenge pro Untersuchungsfläche

Abb. 5.2-5: Verteilung der Flächen auf Klassen untersch. Aushiebsmenge

Die Anzahl Aushiebe pro Fläche ist nicht normalverteilt. In Tab. 5.2-7 sind deshalb der Median und die Quartile zur Charakterisierung des Aushiebes insgesamt und pro Baumart angegeben.

Tab. 5.2-7: Statistische Kennwerte der Aushiebe pro ha und pro Baumart (n = 18).

| Baumart | MW | STD | NVP | P < W | Q1 | Median | Q3 |
|-----------|-------|------|------|-------|------|--------|-------|
| Tanne | 44.1 | 29.6 | 0.84 | 0.005 | 28.3 | 32.1 | 54.4 |
| Fichte | 8.7 | 9.8 | 0.84 | 0.005 | 1.2 | 4.7 | 14.3 |
| Buche | 50.1 | 45.7 | 0.84 | 0.006 | 18.1 | 32.1 | 73.3 |
| and. Lbb | 6.3 | 10.4 | 0.64 | 0.000 | 0.0 | 0.6 | 7.7 |
| Nadelholz | 58.5 | 34.3 | 0.92 | 0.128 | 33.6 | 50.4 | 82.5 |
| Laubholz | 74.0 | 69.3 | 0.80 | 0.001 | 30.6 | 45.6 | 86.0 |
| Total | 132.5 | 87.3 | 0.89 | 0.032 | 53.5 | 111.4 | 182.5 |

Legende:

MW = Mittelwert

STD = Standardabweichung

NVP = Normalverteilungsprüfung : W-Wert des Shapiro-Wilks-Tests

Q1 = 1. Quartil (25%-Wert)

Q3 = 3. Quartil (75%-Wert)

Als wichtigste Einflussfaktoren auf die Aushiebsmenge wurden hypothetisch die waldbauliche Konzeption (Förster), die Nachwuchsdichte und der Laubholzanteil im Nachwuchs vermutet. Tatsächlich besteht eine sehr enge Korrelation zwischen der Stammzahl im Aushieb und der Nachwuchs-Stammzahl im Bereich 0,1 bis 22,4 cm BHD vor der Pflege (Tab. 5.2-8).

Tab. 5.2-8: Korrelationen zwischen Ausgangs- und Aushiebsstammzahl, pro Baumart.

r = Spearmans Rangkorrelationskoeffizient rho; Beobachtungsumfang n = 18;

p = Überschreitungswahrscheinlichkeit

| | Aushiebsstammzahl | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Tanne | Fichte | Buche | and. Lbb | Ndh | Lbb |
| Anfangsstz. der Baumart | r = + 0.54 p = 0.017 | r = + 0.85 p = 0.0001 | r = + 0.92 p = 0.0001 | r = + 0.92 p = 0.0001 | r = + 0.62 p = 0.023 | r = + 0.90 p = 0.0001 |

Der Einfluss der übrigen Faktoren auf die gesamte Aushiebsmenge ist wegen der zu kleinen Zahl von Untersuchungsflächen statistisch nicht überprüfbar. Aufgrund von Tab. 5.2-7 und von Abb. 5.2-3 kann jedoch vermutet werden, dass es Unterschiede zwischen den Baumarten und den BHD-Stufen gibt. In Abb. 5.2-6 ist deshalb die mittlere Anzahl der Aushiebe pro ha, pro Baumart und BHD-Stufe, nach Expositionen getrennt, dargestellt.

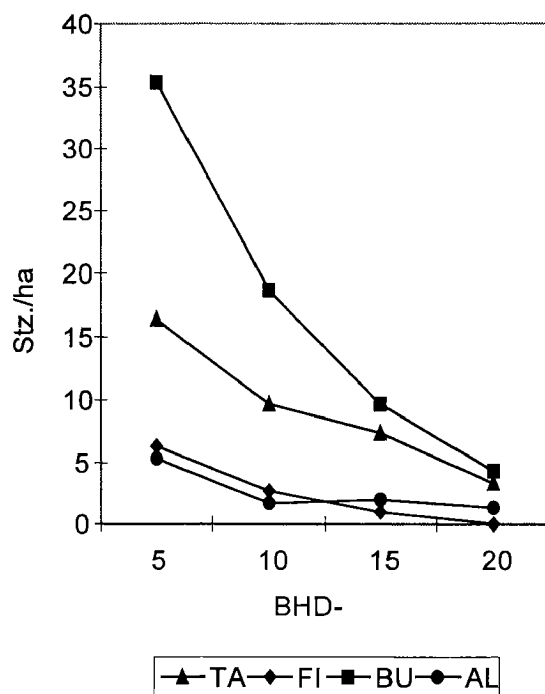
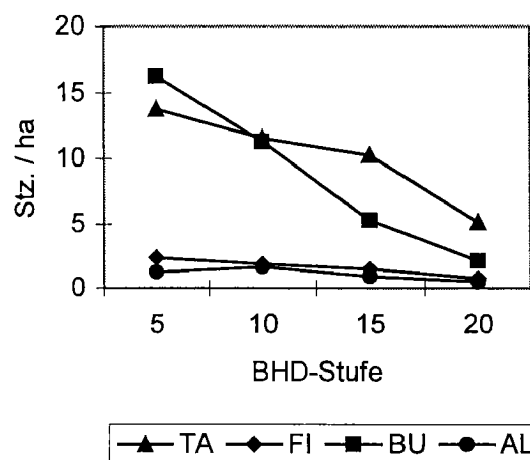


Abb. 5.2-6: Verteilung der Aushiebe (Stz./ha) auf BHD-Stufen und Baumarten

TA = Tanne BU = Buche
FI = Fichte AL = and. Lbb

⇐ Südhang
Nordhang ↓



Obwohl der Einfluss der Exposition auf die Wahl von Aushieben nicht nachgewiesen werden konnte (Kap. 5.2.3), gibt es bezüglich Aushiebsmenge Unterschiede zwischen den Expositionen: Am Südhang werden deutlich mehr Buchen entfernt als am Nordhang. Der Aushieb der Tanne ist in beiden Expositionen vergleichbar und weist am Nordhang in den Stufen S15 und S20 den grössten Anteil der Aushiebe auf. Die Fichte und die übrigen Laubbäume sind im Aushieb mit durchschnittlich weniger als 6 Stämmen pro ha und BHD-Stufe nur schwach vertreten.

5.2.4 Aushiebsgründe

In der Tab. 5.2-9 sind die genannten Aushiebsgründe und ihre absolute und relative Häufigkeit, nach Durchmesser-Stufen getrennt, angegeben.

Tab. 5.2-9: Verteilung der Aushiebe auf Aushiebsgründe und BHD-Stufen im gesamten BHD-Bereich der Aushiebe (1 bis 32 cm BHD; n = 1380).

| AHGRU | S00 | S05 | S10 | S15 | S20 | S25/S30 | Summe |
|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| KONK | 26 (10%) | 60 (13%) | 67 (21%) | 90 (43%) | 67 (66%) | 11 (58%) | 321 (23%) |
| NWF | 37 (15%) | 52 (11%) | 34 (11%) | 32 (15%) | 11 (11%) | 3 (16%) | 169 (12%) |
| LDR | 43 (17%) | 32 (7%) | 65 (20%) | 33 (16%) | 9 (9%) | 0 (0%) | 182 (13%) |
| MRE | 70 (28%) | 9 (2%) | 3 (1%) | 1 (1%) | 0 (0%) | 0 (0%) | 83 (6%) |
| NEG | 74 (30%) | 300 (62%) | 118 (37%) | 40 (19%) | 11 (11%) | 3 (16%) | 546 (40%) |
| TOT | 0 (0%) | 29 (6%) | 31 (10%) | 14 (7%) | 3 (3%) | 2 (11%) | 79 (6%) |
| Total | 250(100%) | 482(100%) | 318(100%) | 210(100%) | 101(100%) | 19(100%) | 1380(100%) |

Legende: KONK = Konkurrenten von Ausleseebäumen
LDR = Licht- und Dichteregulierung
NEG = negative Auslese

NWF = Nachwuchsförderung
MRE = Mischungsregulierung
TOT = Entfernung toter Bäume

Die Entfernung von Konkurrenten und negative Entnahmen stellen die zwei wichtigsten Aushiebsgründe dar und machen, zusammen mit der ebenfalls als negativ zu bezeichnenden Entnahme toter Bäume, mehr als zwei Drittel des Aushiebes aus. Das restliche Drittel sind Entnahmen zur Nachwuchsförderung und zur Dichteregulierung innerhalb von Nachwuchsgruppen. Die Mischungsregulierung beschränkt sich auf die BHD-Stufen S00 und S05.

Zwischen den Durchmesserstufen bestehen erhebliche Unterschiede.

Um den Zusammenhang zwischen den Aushiebsgründen und den vermuteten Einflussfaktoren in einem umfassenden Modell studieren zu können, wurde das logistische Modell mit der Zielgrösse negative Entnahme von Bäumen (Aushiebsgrund = "negativ" oder "tot") und den Parametern Baumart, BHD-Stufe und Förstergruppe berechnet. Die Exposition wurde nicht berücksichtigt, da sie bisher bei keiner Auswertung einen Einfluss gezeigt hatte. Zudem ist der Faktor Exposition sehr stark von Förstergruppe 1 geprägt, weil drei der vier Flächen am Südhang von dieser Gruppe behandelt wurden, dagegen keine von Förstergruppe 2. Dies verunmöglicht eine Berechnung des Interaktionseffektes zwischen Exposition und Förstergruppen. Die Resultate der statistischen Auswertung sind im Anhang in den Tab. A.5.2-8/9 für den Aushiebsgrund "negativ" und in den Tab. A.5.2-10/11 für den Aushiebsgrund "Konkurrent" zusammengestellt und in Tab. 5.2-10 zusammengefasst.

Tab. 5.2-10: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf den Aushiebsgrund.

| | |
|--|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 1111 Beobachtungen |
| Zielvariable | Aushiebsgrund = negative Auslese |
| geprüfte Effekte | BA, FGR, DSTU, BAxFGR, BAxDSTU, FGRxDSTU |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe DSTU***, Baumart BA***, Förstergruppe FGR**, FGRxDSTU ** |
| Signifikante Interaktionseffekte | |
| Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | positiv: FGR1***, and.Lbb* negativ: Buche***, FGR3**- |
| Zielvariable | Aushiebsgrund = Konkurrent (positive Auslese) |
| geprüfte Effekte | BA, FGR, DSTU, BAxFGR, BAxDSTU, FGRxDSTU |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe DSTU ***, Förstergruppe FGR ***, Baumart BA (*) |
| Signifikante Interaktionseffekte | BAxFGR ** |
| Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | positiv: FGR3**, Fichte* negativ: FGR1***, Tanne(*) |

Legende:

DSTU = BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, d.h. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Alle Faktoren haben einen hochsignifikanten Einfluss auf die Zielgrösse. Bei der Buche wird deutlich schwächer, bei den andern Laubbäumen schwach signifikant stärker negativ eingegriffen. In der untersten BHD-Stufe sind die negativen Entnahmen hochsignifikant stärker, in der Stufe 20 signifikant schwächer vertreten als in den andern Stufen. Förstergruppe 1 greift deutlich stärker negativ ein als Förstergruppe 2 und 3. Die Berechnung des komplementären Modells, d.h. des Einflusses von Faktoren auf den Aushieb von Konkurrenten, ergibt ein ähnliches Ergebnis, nämlich einen signifikanten bis hochsignifikanten Einfluss der Baumart, der BHD-Stufe und der Förstergruppe. Um diesen Sachverhalt graphisch darzustellen, wurde der Anteil der zwei Aushiebsgründe "Konkurrent" und "negativ" pro 2.5cm-Stufe und Förstergruppe für die Baumarten Tanne und Buche dargestellt (Abb. 5.2-7).

Der Anteil der Konkurrenten nimmt ab BHD-Stufe s1 markant zu; umgekehrt nimmt der Anteil der negativ entfernten Bäume ab Stufe d4 stark ab. Unterhalb von 10 cm BHD wird also überwiegend negativ eingegriffen, darüber vorwiegend positiv. Die Bäume mit anderen Aushiebsgründen (Mischungs- oder Dichteregulierung, Nachwuchsförderung) sind dagegen im untersuchten Durchmesserbereich viel regelmässiger auf die BHD-Stufen verteilt (vgl. Tab. 5.2-9).

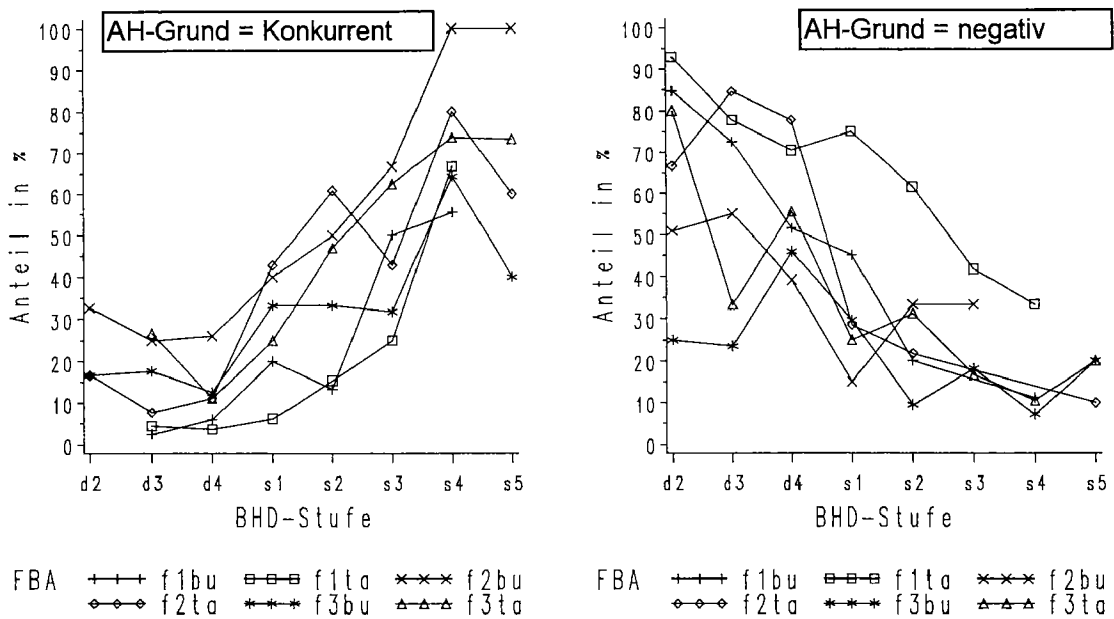


Abb. 5.2-7 a/b: Anteil der Aushiebsgründe für Tanne und Buche, nach Förstergruppen.

Legende:

f1bu = FGR 1, Buche f1ta = FGR 1, Tanne
 f2bu = FGR 2, Buche f2ta = FGR 2, Tanne
 f3bu = FGR 3, Buche f3ta = FGR 3, Tanne

BHD-Stufen (cm BHD):

d2 = 2.5 - 4.9 cm s2 = 12.5 - 14.9 cm BHD
 d3 = 5.0 - 7.4 cm s3 = 15.0 - 17.4 cm BHD
 d4 = 7.5 - 10.0 cm s4 = 17.5 - 19.9 cm BHD
 s1 = 10.0 - 12.4 cm s5 = 20.0 - 22.4 cm BHD

Der Anteil der beiden wichtigsten Aushiebsgründe "Konkurrent" und "negativ" pro BHD-Stufe und Förstergruppe wurde für die Baumarten Tanne und Buche getrennt berechnet (Abb. 5.2-8).

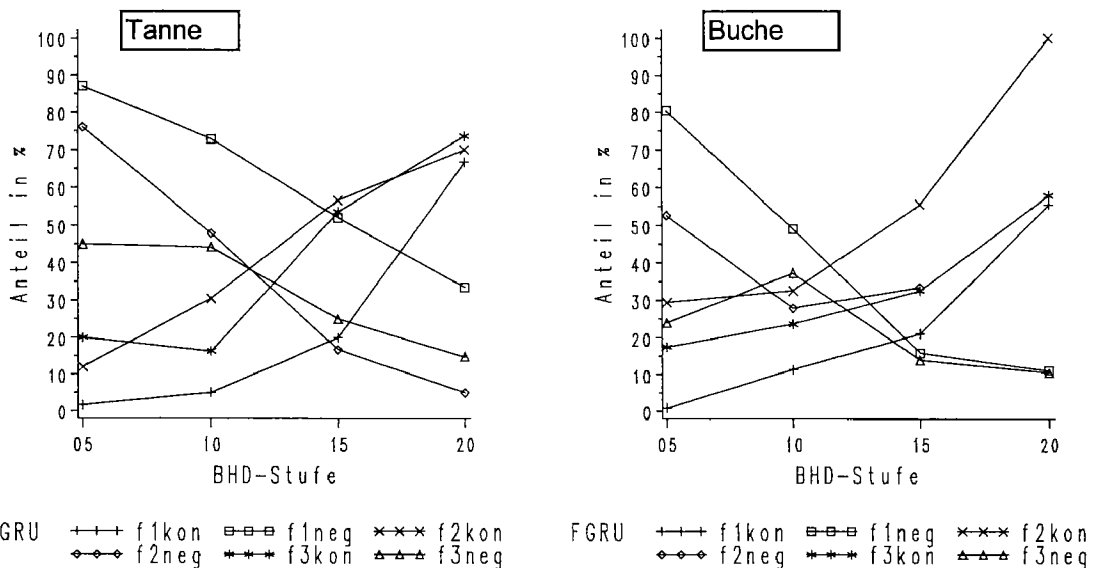


Abb. 5.2-8 a/b: Anteil der Aushiebsgründe "Konkurrent" und "negativ".

f1kon= FGR1, Anteil der Konkurrenten f2kon= FGR2, Konk. f3kon= FGR3, Konk.
 f1neg= FGR1, Anteil der negativen Auslese f2neg= FGR2, negativ f3neg= FGR3, negativ

Zwischen den Förstergruppen bestehen deutliche Unterschiede (Abb. 5.2-8). Förstergruppe 1 greift bei Tanne bis BHD-Stufe 15 (12,5-17,4 cm) vorwiegend negativ ein. Die Förstergruppen 2 und 3 dagegen greifen in BHD-Stufe 15 überwiegend positiv ein. Zwischen den Baumarten bestehen ebenfalls Unterschiede, welche aber aufgrund der Informationsfülle zu wenig klar herauskommen. Deshalb wurden die Anteile der Kategorien "Konkurrent", "negative Auslese" und "andere Gründe" gemeinsam für die Förstergruppen 2 und 3 berechnet und in Abb. 5.2-9 dargestellt.

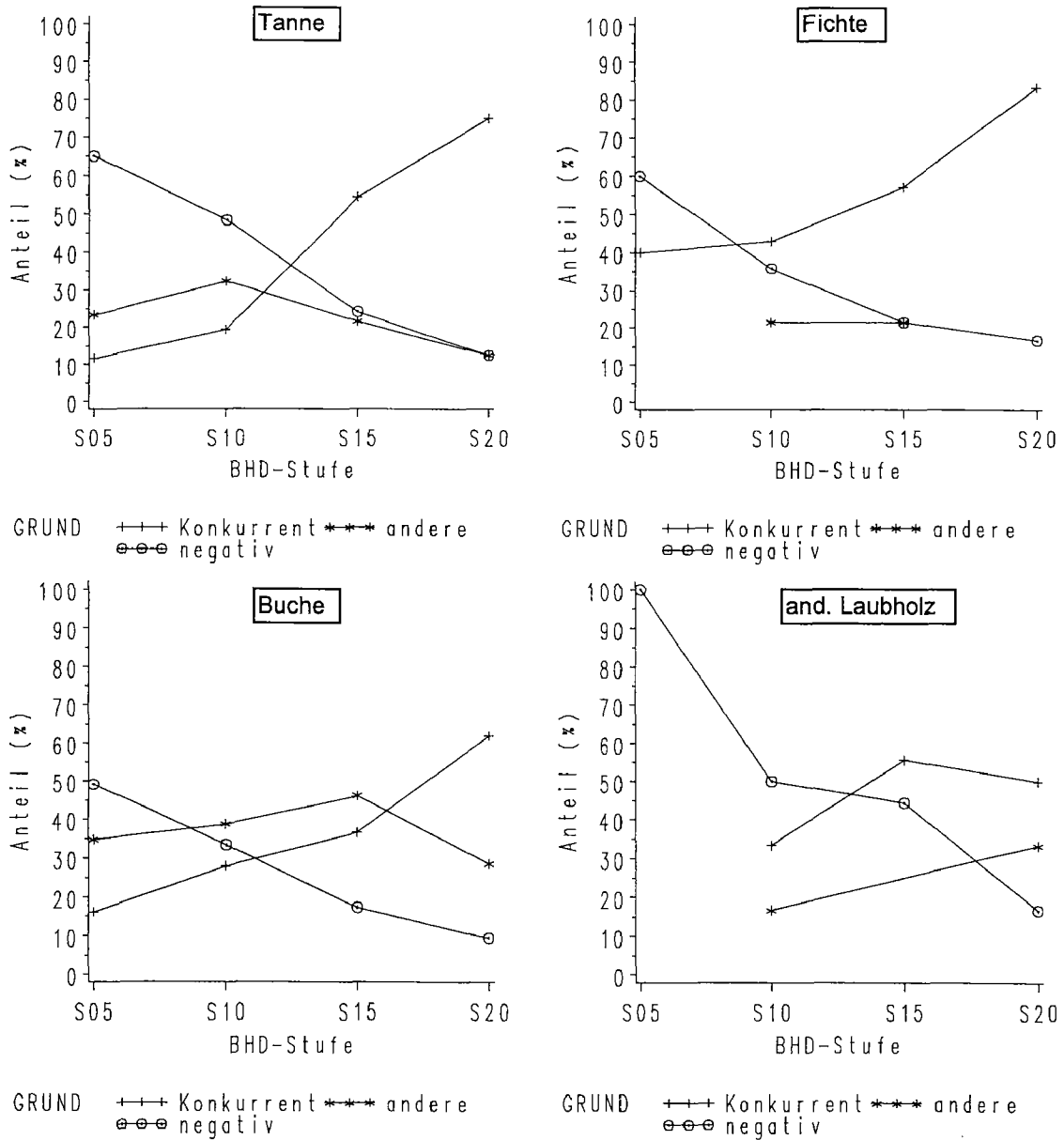


Abb. 5.2-9: Anteil der Aushiebsgründe pro BHD-Stufe, nach Baumarten getrennt.

Auch ohne Berücksichtigung der FGR1 beträgt der Anteil der negativen Auslese in Stufe S05 (2,5-7,4 cm BHD) rund 50% und in Stufe S10 (7,5-12,4 cm BHD) mehr als einen Drittel (Tab. 5.2-11). Er nimmt bis zur Stufe S20 (17,5-22,4 cm BHD) bei allen Baumarten auf weniger als 20% ab. Umgekehrt nimmt der Anteil der Konkurrenten am Aushieb bei Tanne und Buche von weniger als 20% in Stufe S05 auf über 60% in Stufe S20 zu. Bei Fichte beträgt er in Stufe S05 bereits 40% und steigt auf mehr als 80% an. Fichten werden also v.a. dann entfernt, wenn sie eine besser geeignete Stange konkurrenzieren. Andere Aushiebsgründe weisen bei den Nadelbäumen in allen BHD-Stufen einen Anteil zwischen 15 und 30% auf, bei Buche dagegen zwischen 30 und 45%.

Tab. 5.2-11: Anteil der Aushiebsgründe pro BHD-Stufe

| Aushiebsgrund | Anzahl | S05 | S10 | S15 | S20 | Total |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Entfernung von Konkurrenten | 244 | 25.2 | 27.2 | 49.1 | 69.0 | 37.6 |
| negative Auslese | 222 | 49.0 | 38.7 | 21.7 | 11.5 | 34.2 |
| andere Aushiebsgründe | 183 | 25.7 | 34.0 | 29.2 | 19.5 | 28.2 |
| Total | 649 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

Aufgrund des äusserlich festgestellten wichtigsten Schadens kann auf die Gründe für die negative Auslese geschlossen werden. Von den 469 entfernten Bäumen mit Aushiebsgrund "negativ" waren 48% krumm, 23% wiesen eine schlechte Vitalität, 13% einen Rindenschaden und 9% einen Wipfelbruch auf (Tab. 5.2-12). Zwiesel (4%) und Krebschäden (2%) waren relativ selten. Zwischen den Baumarten, insbesondere zwischen den Laub- und Nadelbäumen, bestehen dabei erhebliche Unterschiede: die negative Auslese von Tannen und Fichten ist in erster Linie auf schlechte Vitalität (47% bzw. 39%) oder auf Rindenschäden (16% bzw. 50%) zurückzuführen; bei der Buche (82%) und beim übrigen Laubholz (59%) überwiegt die Schadenkategorie "krumm" deutlich, wogegen alle andern Schäden nur unbedeutende Anteile aufweisen.

Tab. 5.2-12: Anzahl der festgestellten Schäden an den negativ entfernten Aushieben.

| Schadenkategorie | Tanne | Fichte | Buche | and.Lbb | Total | Anteil % |
|-------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|--------------|
| Wipfelbruch | 23 | 1 | 14 | 3 | 41 | 8.7 |
| Zwiesel | 6 | 0 | 11 | 2 | 19 | 4.1 |
| Rindenschaden | 29 | 19 | 9 | 5 | 62 | 13.2 |
| Stammkrebs | 11 | 0 | 0 | 0 | 11 | 2.4 |
| krummwüchsig | 23 | 2 | 180 | 20 | 225 | 48.0 |
| unvital | 84 | 15 | 5 | 2 | 106 | 22.6 |
| grobastig (Protz) | 1 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0.6 |
| anderes | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0.4 |
| Total | 177 | 38 | 220 | 34 | 469 | 100.0 |

5.2.5 Eingriffsstärke

Die Eingriffsstärke pro BHD-Stufe und Baumart wurde für jede Untersuchungsfläche berechnet durch Division der Aushiebsstammzahl mit der Anfangsstammzahl (Stammzahl vor dem Eingriff). Die Anfangsstammzahl errechnet sich aus der Stammzahl bei der Kluppierung plus der Aushiebsstammzahl. Die Eingriffsstärken pro Fläche, Baumart und BHD-Stufe sind in der Tab. A.5.2-12 im Anhang zusammengestellt. Zuerst wird die Eingriffsstärke im Untersuchungsbereich pro 2.5 cm-Stufe und nach Baumartengruppen getrennt wiedergegeben (Abb. 5.2-10, a/b).

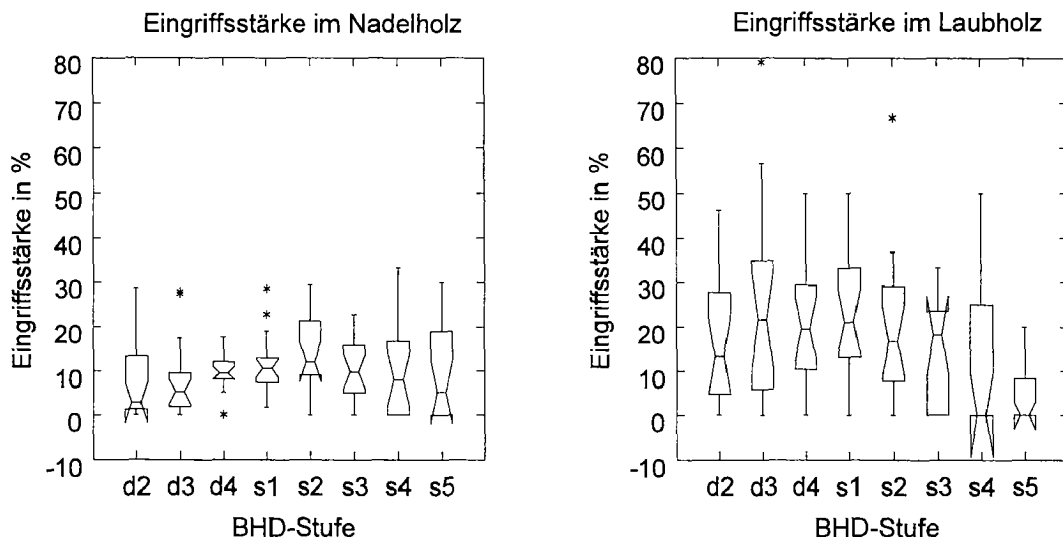


Abb. 5.2-10, a/b: Median der Eingriffsstärke im Nadelholz und im Laubholz (n =18)

Der Median der Eingriffsstärke liegt im Nadelholz zwischen 3 und 12 %. Die Stufen d4 bis s3 unterscheiden sich deutlich von den Stufen d2 und d3 und nur schwach von den Stufen s4 und s5. Im Laubholz liegt der Median der Eingriffsstärke bis zur Stufe s3 zwischen 12 und 22 %. Die Stufen d3 bis s3 unterscheiden sich signifikant von den Stufen s4 und s5, nicht aber von Stufe d2.

Die Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Eingriffsstärke erfolgte mit Hilfe des logistischen Modelles. Dabei wurde die Eingriffsstärke ES pro Baumart und Durchmesserstufe berechnet und als Zielvariable der Modellberechnung benützt. Das erste Modell prüft den Einfluss von Faktoren auf Eingriffsstärken kleiner als 5 %, das zweite auf solche grösser als 15%. Die Resultate der statistischen Auswertung sind im Anhang (Tab. A.5.2-13/14 und Tab. A.5.2-15/16) zusammengestellt. Die Baumart weist einen signifikanten, die Exposition und die BHD-Stufe einen schwach signifikanten Einfluss auf kleine Eingriffsstärken auf (Tab. 5.2-13). Die Förstergruppe hat als Haupteffekt keinen signifikanten Einfluss, in Interaktion mit der BHD-Stufe jedoch einen hochsignifikanten. Im Vergleich zum ersten Modell haben im zweiten Modell die Exposition und die BHD-Stufe als Haupteffekt keinen Einfluss auf Eingriffsstärken grösser als 15 %, die Baumart und der Interaktionseffekt zwischen Förstergruppen und BHD-Stufen dagegen noch immer. Bedeutend für das Verständnis der Eingriffsstärken sind also die Haupteffekte Baumart, Exposition und BHD-Stufe und der Interaktionseffekt zwischen Förstergruppe und BHD-Stufe.

Tab. 5.2-13: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Eingriffsstärke.

| | |
|--|---|
| Art des Modells BHD-Bereich, Anzahl | logistische Regression 2.5 bis 22.4 cm BHD, 207 Beobachtungen |
| Zielvariable geprüfte Effekte Signifikante Haupteffekte Signifikante Interaktionseffekte Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | Eingriffsstärke < 5 % BA, EXP, FGR, DSTU, BAxEXP, FGRxDSTU Baumart **, Exposition *, BHD-Stufe * FGRxDSTU *** positiv: Fichte***, S20**, FGR1(*) negativ: Buche*, S10* |
| Zielvariable geprüfte Effekte Signifikante Haupteffekte Signifikante Interaktionseffekte Signifikante Einflussvariablen bei den Haupteffekten | Eingriffsstärke > 14.9 % BA, EXP, FGR, DSTU, BAxEXP, FGRxDSTU Baumart BA *** FGRxDSTU ** positiv: Buche***, negativ: Tanne**-, Fichte*, S20(*) |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbb)

DSTU = BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

FGR = Förstergruppe (FGR 1,2,3)

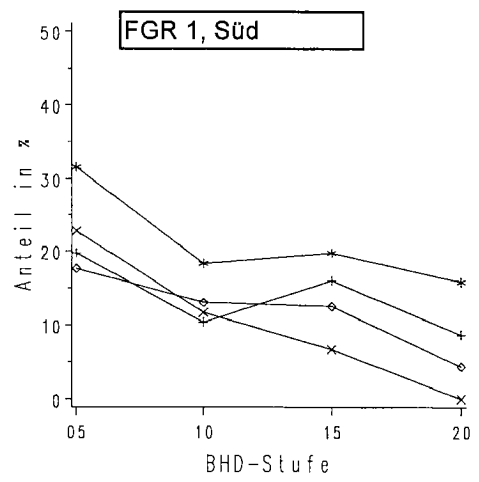
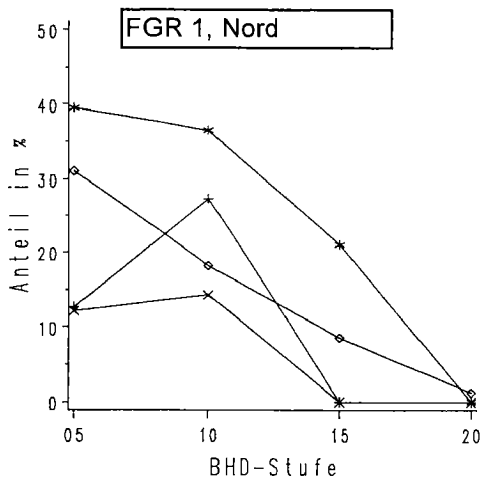
EXP = Exposition (Nord, Süd)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

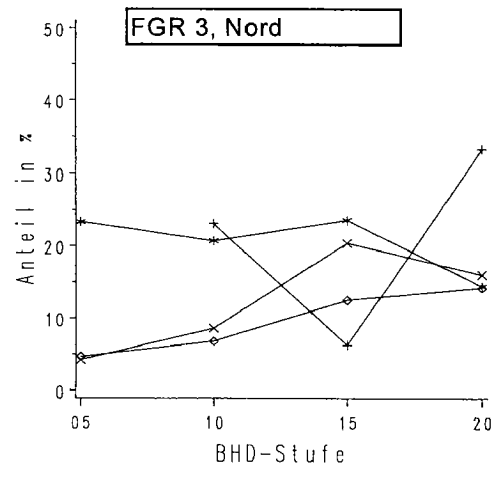
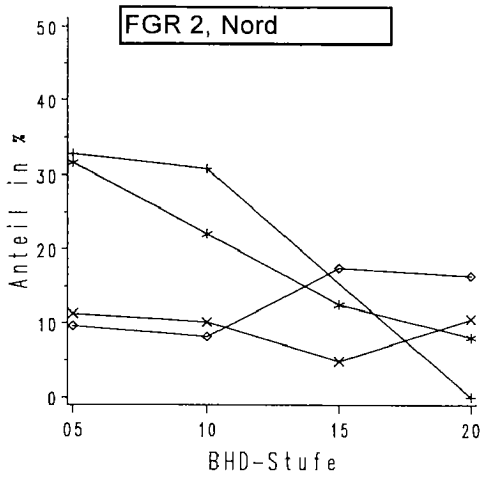
Um diese statistischen Zusammenhänge darzustellen, wurde die Eingriffsstärke pro Baumart, BHD-Stufe, Förstergruppe und Exposition berechnet (Abb. 5.2-11 bis Abb. 5.2-13). Der Vergleich der Eingriffsstärke pro Exposition ist nur für die Förstergruppe 1 sinnvoll, da nur diese Gruppe auf mehr als einer Untersuchungsfläche pro Exposition eingegriffen hat. Förstergruppe 1 greift im Laubholz in den zwei unteren BHD-Stufen bedeutend stärker am Nord- als am Südhang ein (Abb. 5.2-11a,b). In den BHD-Stufen 15 und 20 ist die Eingriffsstärke am Nordhang kleiner. Die Förstergruppen 2 und 3 (Abb. 5.2-12a,b) greifen in den BHD-Stufen 05 und 10 bedeutend stärker im Laubholz als im Nadelholz ein. Ab BHD-Stufe 15 sind keine Unterschiede zwischen den Baumartengruppen zu erkennen. Förstergruppe 3 greift tendenziell im oberen Bereich stärker ein als im unteren, die Förstergruppen 1 und 2 deutlich schwächer.

Die Unterschiede zwischen den Förstergruppen FGR sind insbesondere in den zwei unteren BHD-Stufen erheblich. FGR 1 greift am Nordhang sowohl bei Tanne als auch bei Buche erheblich stärker ein als FGR 2 und 3. Diese unterscheiden sich bezüglich Eingriffsverhalten kaum. Die Berechnung der mittleren Eingriffsstärke pro Baumart erfolgte deshalb nur für die von den FGR 2 und 3 gepflegten Flächen in Nordexposition. Sie zeigt, dass sich die Eingriffsstärken bei Tanne und Fichte in Nordexposition kaum unterscheiden und dass im Laubholz bis zur Stufe 15 generell stärker eingegriffen wird (Abb. 5.2-13). In Südexposition weichen die Eingriffsstärken bei Fichte, Tanne und and. Lbb bis BHD-Stufe S15 kaum voneinander ab, jene bei Buche ist deutlich grösser.



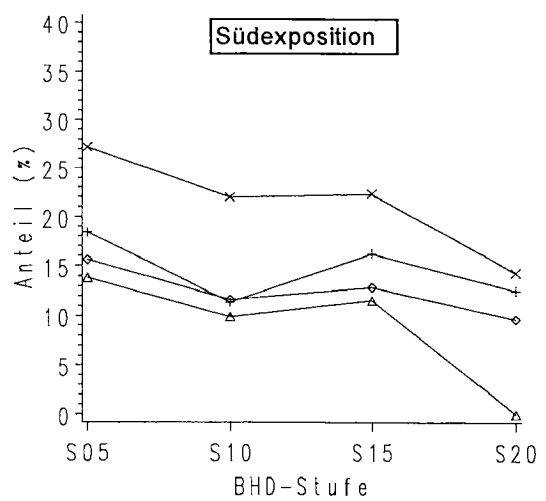
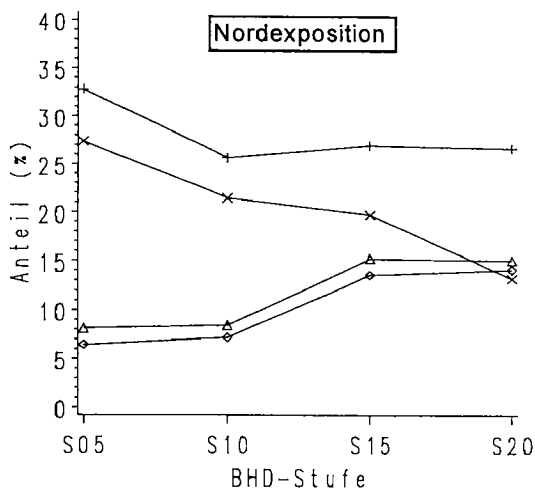
BA +--+ AL +--+ Bu *-*-* Fi ◊-◊- Ta BA +--+ AL *-*-* Bu *-*-* Fi ◊-◊- Ta

Abb. 5.2-11 a,b: Eingriffsstärke pro Baumart, getrennt nach Exposition, für FGR 1.



BA +--+ AL *-*-* Bu *-*-* Fi ◊-◊- Ta BA +--+ AL *-*-* Bu *-*-* Fi ◊-◊- Ta

Abb. 5.2-12 a,b: Eingriffsstärke pro Baumart, getrennt nach FGR, für Nordexposition.



BA +--+ And.Lbh *-*-* Buche ◊-◊- Tanne
 ▲-▲- Fichte

Abb. 5.2-13: Eingriffsstärke pro Baumart in Nord- (FGR 2 / 3) und Südexposition.

5.3 Vergleich der Nachwuchspflege mehrerer Forstleute

5.3.1 Auswahl der Ausleseebäume

Die Testpersonen werden zuerst bezüglich ihres Verhaltens bei der Auswahl von Ausleseebäumen miteinander verglichen. Die Verteilung der Ausleseebäume auf Baumarten und BHD-Stufen im untersuchten BHD-Bereich (2.5 bis 22.4 cm BHD) und die Zahl der Aushiebe pro Auslesebaum ist für jede Testperson in Tab. 5.3-1 zusammengestellt. Die Ausleseebäume zwischen 22.5 und 32.4 cm BHD wurden hier nicht angegeben, sind bei der graphischen Darstellung der BHD-Verteilung (Abb. 5.3-1) aber mitberücksichtigt.

Tab. 5.3-1: Anzahl Ausleseebäume pro Baumart und Durchmesserstufe und Anzahl Aushiebe pro Auslesebaum, im untersuchten BHD-Bereich (2.5-22.4 cm BHD).

| TPZ | Baumartenverteilung | | | Total | Durchmesserstufe | | | | Aushiebe / Auslese | | |
|---------------|---------------------|--------|-------|--------|------------------|-------|-------|-------|--------------------|-------|-------|
| | Tanne | Fichte | Buche | | S05 | S10 | S15 | S20 | kein | ein | zwei |
| A | 17 | 13 | 1 | 31 | 3 | 12 | 14 | 2 | 14 | 13 | 4 |
| B | 21 | 14 | 0 | 35 | 5 | 12 | 11 | 7 | 9 | 22 | 4 |
| C | 13 | 10 | 2 | 25 | 3 | 8 | 9 | 5 | 6 | 17 | 2 |
| D | 21 | 15 | 0 | 36 | 3 | 17 | 12 | 4 | 8 | 24 | 4 |
| E | 17 | 18 | 1 | 36 | 7 | 16 | 9 | 4 | 2 | 25 | 9 |
| F | 19 | 14 | 4 | 37 | 4 | 14 | 12 | 7 | 10 | 24 | 3 |
| G | 15 | 13 | 1 | 29 | 1 | 12 | 12 | 4 | 10 | 16 | 3 |
| H | 22 | 12 | 0 | 34 | 4 | 13 | 14 | 3 | 11 | 19 | 4 |
| I | 19 | 16 | 0 | 35 | 4 | 16 | 12 | 3 | 14 | 17 | 4 |
| J | 14 | 17 | 0 | 31 | 4 | 13 | 9 | 5 | 13 | 13 | 5 |
| K | 15 | 12 | 2 | 29 | 4 | 13 | 11 | 1 | 11 | 11 | 7 |
| L | 13 | 12 | 1 | 26 | 5 | 11 | 7 | 3 | 5 | 16 | 5 |
| Total | 206 | 166 | 12 | 384 | 47 | 157 | 132 | 48 | 113 | 217 | 54 |
| Anteil | 53.6% | 43.2% | 3.1% | 100.0% | 12.2% | 40.9% | 34.4% | 12.5% | 29.4% | 56.5% | 14.1% |

Legende:

S05= Stufe 5 (2.5 - 7.4 cm BHD)

S15= Stufe 15 (12.5-17.4 cm BHD)

TPZ = Testpersonenzeichen

S10= Stufe 10 (7.5 - 12.4 cm BHD)

S20= Stufe 20 (17.5 - 22.4 cm BHD).

Die Zahl der Ausleseebäume liegt zwischen 25 und 37, der Mittelwert beträgt 32 Stämme, d.h. 95 Stämme pro ha. Tanne und Fichte weisen zusammen 97 % der Ausleseebäume auf, die Buche ist nur schwach beigemischt. Fast ein Drittel der Ausleseebäume wurde nicht gefördert, über die Hälfte durch Entnahme des schärfsten Konkurrenten und nur 14 % durch Entnahme von mehr als einem Konkurrenten. 75 % der Ausleseebäume stammen aus dem Durchmesser-Bereich 7.5 bis 17.5 cm BHD.

Die Verteilung der Ausleseebäume auf den BHD-Bereich ist in Abb. 5.3-1 graphisch dargestellt. Der Durchmesser der Ausleseebäume betrug mindestens 4 cm BHD. Die obere Begrenzung ergibt sich aus dem Arbeitsbereich der Nachwuchspflege: mit wenigen Ausnahmen liegt er bei 27.5 cm BHD. Der Median der Ausleseebäume liegt zwischen 12 und 16 cm BHD. Die Testpersonen unterscheiden sich allesamt nicht signifikant bezüglich BHD-Verteilung der Ausleseebäume.

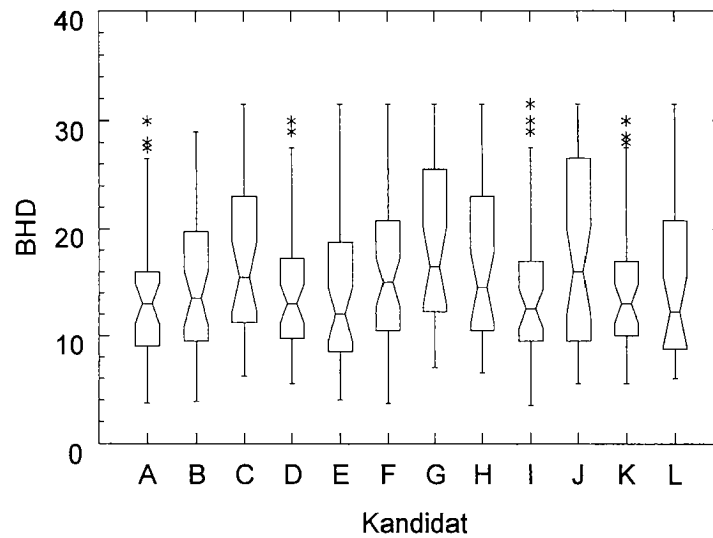


Abb. 5.3-1: Durchmesserverteilung der Ausleseebäume, Vergleich der Testpersonen.

Die Verteilung der Ausleseebäume auf Baumarten weist kaum Unterschiede zwischen den Testpersonen auf (Abb. 5.3-2). Hingegen ist in der Förderungsintensität (ausgedrückt durch die Anzahl entfernter Konkurrenten pro Auslesebaum) ein Unterschied feststellbar (Abb. 5.3-3): Testperson E fördert praktisch jeden Auslesebaum, die Testpersonen A, I, J, K dagegen weniger als zwei Drittel der Ausleseebäume.

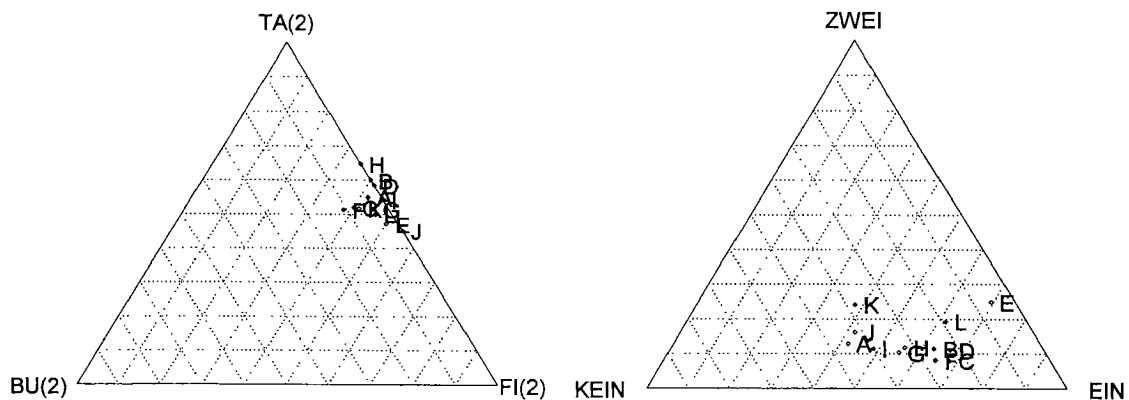


Abb. 5.3-2: Baumartenanteil bei den Ausleseebäumen pro Testperson.

Legende:
 TA(2) = Anteil Tanne
 FI (2) = Anteil Fichte
 BU(2) = Anteil Buche

Abb. 5.3-3: Förderungsintensität pro Testperson.

Legende:
 ZWEI = Entfernung von zwei Konkurrenten
 EIN = Entfernung eines Konkurrenten
 KEIN = Entfernung keines Konkurrenten

5.3.2 Bezeichnung der Aushiebe

Die Verteilung der Aushiebe auf Durchmesserstufen und Aushiebsgründe zeigt, dass unterhalb von 2.5 cm BHD praktisch nicht eingegriffen wurde (Tab. 5.3-2). Rund zwei Drittel der Aushiebe entfielen auf die Stufen S05 und S10, nicht ganz 30 % auf die Stufen S15 und S20. Oberhalb von 22.4 cm BHD wurde auf der Vergleichsfläche nur sehr zurückhaltend angezeichnet (Anteil 5 %). Auf der Vergleichsfläche ist die Entfernung von Konkurrenten der wichtigste Aushiebsgrund.

Tab. 5.3-2: Anzahl Aushiebe pro Durchmesserstufe und pro Aushiebsgrund.

| TPZ | S00 | S05 | S10 | S15 | S20 | > S20 | SUM | KON | NWF | LDR | MIR | NEG |
|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| A | 0 | 6 | 14 | 6 | 3 | 3 | 32 | 26 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| B | 0 | 18 | 19 | 13 | 7 | 2 | 59 | 30 | 13 | 8 | 1 | 7 |
| C | 0 | 32 | 23 | 15 | 8 | 2 | 80 | 29 | 18 | 20 | 7 | 6 |
| D | 0 | 16 | 21 | 9 | 3 | 1 | 50 | 40 | 5 | 1 | 0 | 4 |
| E | 0 | 30 | 16 | 13 | 8 | 4 | 71 | 51 | 5 | 13 | 1 | 1 |
| F | 0 | 8 | 23 | 9 | 5 | 5 | 50 | 32 | 3 | 3 | 0 | 12 |
| G | 0 | 9 | 13 | 11 | 6 | 7 | 46 | 26 | 6 | 7 | 2 | 5 |
| H | 0 | 18 | 13 | 10 | 6 | 3 | 50 | 28 | 13 | 7 | 0 | 2 |
| I | 1 | 23 | 13 | 11 | 6 | 3 | 57 | 27 | 8 | 10 | 0 | 12 |
| J | 1 | 55 | 23 | 11 | 4 | 0 | 94 | 28 | 11 | 24 | 0 | 31 |
| K | 0 | 18 | 13 | 11 | 5 | 2 | 49 | 30 | 5 | 11 | 1 | 2 |
| L | 0 | 11 | 7 | 7 | 4 | 3 | 32 | 26 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Total | 2 | 244 | 198 | 126 | 65 | 35 | 670 | 373 | 94 | 108 | 13 | 82 |
| Anteil | 0.3% | 36.4% | 29.6% | 18.8% | 9.7% | 5.2% | 100% | 55.7% | 14.0% | 16.1% | 1.9% | 12.2% |

Legende:

TPZ = Testpersonenzeichen

S00= Stufe 00 (0.1 - 2.4 cm BHD)

S15= Stufe 15 (12.5-17.4 cm BHD)

S05= Stufe 05 (2.5 - 7.4 cm BHD)

S20= Stufe 20 (17.5 - 22.4 cm BHD)

S10= Stufe 10 (7.5 - 12.4 cm BHD)

>S20= 22.5 bis 32.4 cm BHD

SUM= Summe

KON = Konkurrent

NWF = Nachwuchsförderung

LDR = Licht-/ Dichteregulung

MIR = Mischungsregelung

NEG = negative Auslese

Die Durchmesserverteilung der Aushiebe ist in Abb. 5.3-4 graphisch dargestellt.

Der Durchmesser der Aushiebe beträgt mindestens 2 cm BHD. Die meisten Testpersonen greifen vereinzelt auch oberhalb von 22.5 cm BHD ein, bis zu einem maximalen Durchmesser von 32.5 cm BHD. Das untere Quartil beträgt fast bei allen Testpersonen mehr als 6 cm BHD, der Median liegt (mit je einer Ausnahme für die untere und obere Grenze) zwischen 8 und 12 cm BHD. Eine Testperson (J) unterscheidet sich bezüglich BHD-Verteilung des Aushiebes signifikant von den andern.

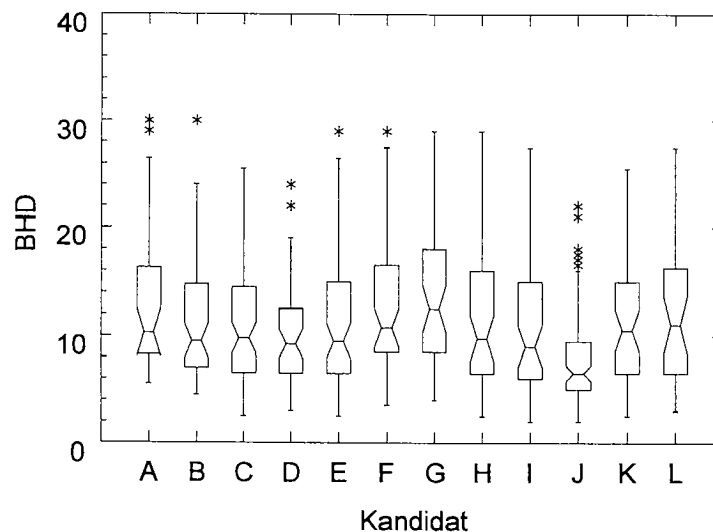


Abb. 5.3-4: Durchmesserverteilung des Aushiebes, Vergleich der Testpersonen.

Die Aushiebsgründe weisen in den vier untersuchten Durchmesserstufen folgende Anteile auf:

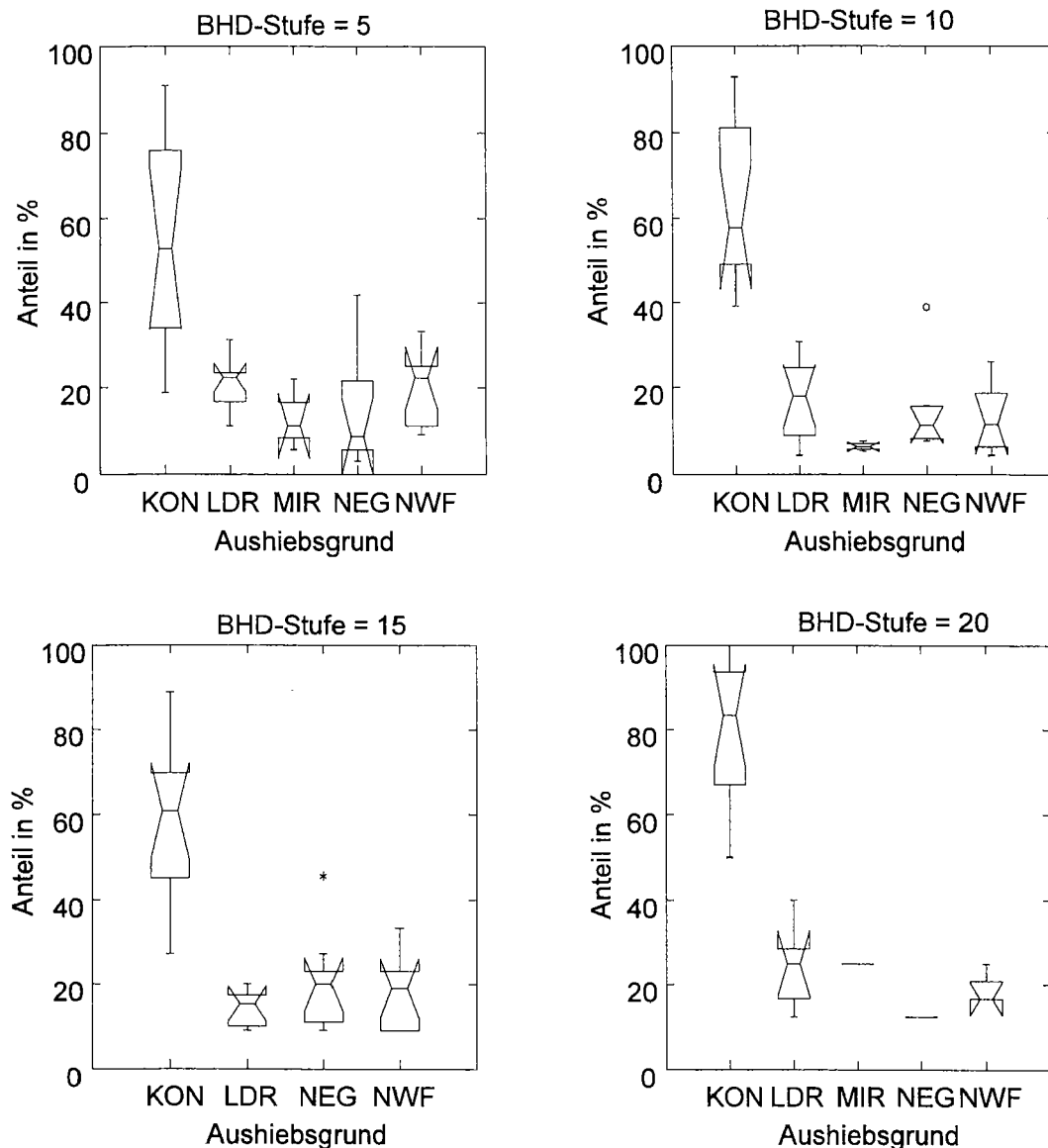


Abb. 5.3-5: Verteilung der Aushiebsgründe in den BHD-Stufen S05, S10, S15 und S20.

Der Aushieb von Konkurrenten ist in allen BHD-Stufen der wichtigste Aushiebsgrund. Sein Anteil (Median) nimmt von der Stufe S05 bis zur Stufe S20 von ca. 55 auf über 80 % zu. Die andern Aushiebsgründe weisen höchstens bei einzelnen Testpersonen einen Anteil von über 30 % auf. Negative Entnahmen nehmen bei einzelnen Testpersonen v.a. in der Stufe S05 einen bedeutenden Anteil ein, in der Stufe S20 sind sie praktisch bedeutungslos. Die Aushiebsgründe pro BHD-Stufe unterscheiden sich relativ stark von jenen auf den Untersuchungsflächen (vgl. Kap. 5.2.4, insb. Tab. 5.2.10 und Abb. 5.2-10). Wir führen dies v.a. darauf zurück, dass die Vergleichsfläche wesentlich mehr Nadelholzstangen aufweist als die Untersuchungsflächen. Sowohl bei der BHD-Zusammensetzung (Abb. 5.3-6) als auch bei den Aushiebsgründen (Abb. 5.3-7) gibt es Unterschiede zwischen den Testpersonen.

In der Durchmesserverteilung weicht Testperson J gegen unten, Testperson G gegen oben von den übrigen Testpersonen ab. Bei den Aushiebsgründen weisen die Testpersonen F und J bedeutend höhere Anteile an negativen Entnahmen auf als ihre Kollegen. Testperson C macht häufiger andere Aushiebsgründe geltend als die Entfernung von Konkurrenten oder negative Auslese.

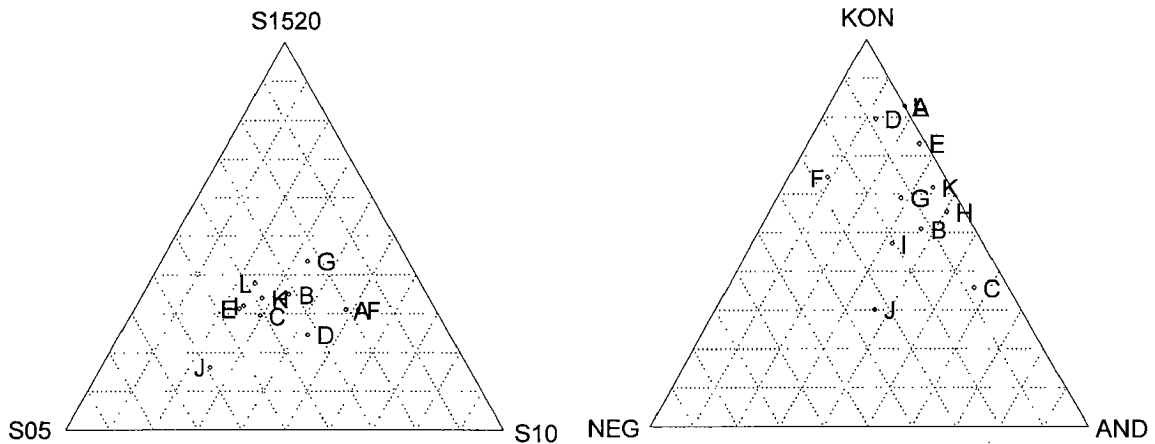


Abb. 5.3-6: Anteil der Stufen S05, S10 und S15/20 am Aushieb, pro Testperson.

Legende:

S05= Stufe 05 (2.5 - 7.4 cm BHD)

S10= Stufe 10 (7.5 - 12.4 cm BHD)

S1520= Stufen 15/20 (12.5 - 22.4 cm BHD)

Abb. 5.3-7: Anteil der drei Aushiebsklassen Konkurrent, negative Auslese und Andere

Legende:

KON = Konkurrent

NEG = Negativ

AND = Andere (NWF, LDR, MIR)

5.3.3 Gruppierung der Testpersonen und Charakterisierung ihrer Nachwuchspflege

5.3.3.1 Einleitung

Für die Gruppierung der Testpersonen wurden 2 Fragen untersucht:

- Zwischen welchen Testpersonen bestehen in der Wahl der Ausleseebäume und der Aushiebe die grössten Gemeinsamkeiten auf Stufe Einzelbaum?
- Wie können die Testpersonen mittels der für die Nachwuchspflege relevanten Kenngrössen auf Stufe Untersuchungsfläche (Anzahl und Verteilung von Auslese und Aushieb, Stärke der Freistellung, Aushiebsgründe) gruppiert werden? Wie lässt sich das Anzeichnungsverhalten dieser Gruppen charakterisieren?

Zur Beantwortung der ersten Frage wurde die Wahl von Ausleseebäumen und Aushieben von jeder Testperson für jeden Einzelbaum codiert (Dummy-Kodierung). Anschliessend wurden damit zwei Ähnlichkeitsmass für binäre Merkmale, nämlich der Jaccard-Koeffizient und der M-Koeffizient (simple matching coefficient) berechnet. Der Jaccard-Koeffizient berücksichtigt nur jene Bäume, die von mindestens einem der zwei zu vergleichenden Testpersonen ausgewählt wurde, der M-Koeffizient dagegen berücksichtigt alle Bäume, d.h. auch indifferente Bäume des Füllbestandes. Die zweite Frage wurde mit einer Cluster-Analyse zu beantworten versucht.

5.3.3.2 Übereinstimmung bei der Wahl der Ausleseebäume

Die Übereinstimmung bei der Wahl der Ausleseebäume beträgt beim M-Koeffizienten zwischen 0.86 und 0.93. Übereinstimmungen von 90 und mehr Prozent können als hoch angesehen werden. Beim Jaccard-Koeffizienten liegen die Werte zwischen 0.16 und 0.50, differenzieren also wesentlich stärker. Übereinstimmungen von 40% und mehr sind hier bereits bemerkenswert.

Tab. 5.3-3: Ähnlichkeitsmasse bei der Wahl der Ausleseebäume zwischen Testpersonen.
links unten: Jaccard-Koeffizient rechts oben: M-Koeffizient

| TPZ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|-------------|
| A | 1 | 0.91 | 0.92 | 0.87 | 0.88 | 0.89 | 0.91 | 0.93 | 0.89 | 0.86 | 0.89 | 0.86 |
| B | 0.40 | 1 | 0.90 | 0.86 | 0.87 | 0.87 | 0.92 | 0.92 | 0.89 | 0.89 | 0.86 | 0.89 |
| C | 0.42 | 0.36 | 1 | 0.87 | 0.90 | 0.89 | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.86 | 0.91 | 0.89 |
| D | 0.29 | 0.27 | 0.30 | 1 | 0.86 | 0.85 | 0.85 | 0.86 | 0.88 | 0.82 | 0.90 | 0.83 |
| E | 0.32 | 0.30 | 0.38 | 0.29 | 1 | 0.88 | 0.87 | 0.89 | 0.86 | 0.86 | 0.87 | 0.87 |
| F | 0.38 | 0.33 | 0.37 | 0.30 | 0.40 | 1 | 0.88 | 0.88 | 0.85 | 0.85 | 0.86 | 0.84 |
| G | 0.40 | 0.45 | 0.44 | 0.22 | 0.29 | 0.35 | 1 | 0.92 | 0.88 | 0.90 | 0.88 | 0.90 |
| H | 0.51 | 0.50 | 0.47 | 0.26 | 0.38 | 0.37 | 0.44 | 1 | 0.89 | 0.87 | 0.88 | 0.89 |
| I | 0.35 | 0.39 | 0.41 | 0.38 | 0.30 | 0.29 | 0.34 | 0.38 | 1 | 0.86 | 0.89 | 0.88 |
| J | 0.27 | 0.38 | 0.25 | 0.21 | 0.31 | 0.30 | 0.40 | 0.32 | 0.29 | 1 | 0.86 | 0.89 |
| K | 0.32 | 0.23 | 0.39 | 0.43 | 0.30 | 0.29 | 0.31 | 0.31 | 0.37 | 0.27 | 1 | 0.88 |
| L | 0.19 | 0.33 | 0.27 | 0.16 | 0.26 | 0.22 | 0.35 | 0.29 | 0.31 | 0.35 | 0.28 | 1 |

Legende: TPZ= Testpersonenzeichen

Gegenseitig relativ eng verbunden sind beim Jaccard-Koeffizienten die Testpersonen A, B, C, G und H. Weitere Bindungen bestehen zwischen D und K, E und F und G und J.

5.3.3.3 Übereinstimmung bei der Wahl der Aushiebe

Die Übereinstimmung bei der Wahl der Aushiebe beträgt beim M-Koeffizienten zwischen 0.79 und 0.88. Übereinstimmungen von 86 und mehr Prozent können als hoch angesehen werden. Beim Jaccard-Koeffizienten liegen die Werte zwischen 0.15 und 0.46. Übereinstimmungen von 37 und mehr % sind hier bereits bemerkenswert.

Tab. 5.3-4: Ähnlichkeitsmasse bei der Wahl der Aushiebe zwischen den Testpersonen.
links unten: Jaccard-Koeffizient rechts oben: M-Koeffizient

| TPZ | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| A | 1 | 0.84 | 0.79 | 0.84 | 0.83 | 0.85 | 0.84 | 0.86 | 0.87 | 0.81 | 0.86 | 0.87 |
| B | 0.25 | 1 | 0.86 | 0.85 | 0.82 | 0.83 | 0.86 | 0.84 | 0.86 | 0.84 | 0.85 | 0.83 |
| C | 0.20 | 0.46 | 1 | 0.82 | 0.85 | 0.83 | 0.84 | 0.83 | 0.84 | 0.82 | 0.86 | 0.79 |
| D | 0.18 | 0.34 | 0.31 | 1 | 0.84 | 0.84 | 0.85 | 0.84 | 0.85 | 0.83 | 0.88 | 0.84 |
| E | 0.24 | 0.31 | 0.45 | 0.33 | 1 | 0.80 | 0.84 | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.87 | 0.82 |
| F | 0.26 | 0.32 | 0.37 | 0.28 | 0.26 | 1 | 0.82 | 0.80 | 0.84 | 0.78 | 0.83 | 0.81 |
| G | 0.22 | 0.38 | 0.36 | 0.30 | 0.33 | 0.25 | 1 | 0.85 | 0.86 | 0.80 | 0.87 | 0.85 |
| H | 0.26 | 0.31 | 0.33 | 0.24 | 0.28 | 0.18 | 0.28 | 1 | 0.86 | 0.83 | 0.84 | 0.88 |
| I | 0.29 | 0.37 | 0.37 | 0.29 | 0.32 | 0.31 | 0.33 | 0.33 | 1 | 0.86 | 0.87 | 0.87 |
| J | 0.19 | 0.37 | 0.35 | 0.28 | 0.39 | 0.22 | 0.23 | 0.28 | 0.38 | 1 | 0.86 | 0.80 |
| K | 0.27 | 0.35 | 0.44 | 0.39 | 0.43 | 0.29 | 0.37 | 0.27 | 0.36 | 0.39 | 1 | 0.87 |
| L | 0.22 | 0.21 | 0.18 | 0.17 | 0.20 | 0.14 | 0.23 | 0.30 | 0.29 | 0.15 | 0.28 | 1 |

Legende: TPZ= Testpersonenzeichen

Es bestehen gute Übereinstimmungen zwischen zahlreichen Testpersonen. Nur schwach verbunden mit den andern Testpersonen sind beim Jaccard-Koeffizienten die Testpersonen A, H und L.

5.3.3.4 Gruppierung der Testpersonen

Die Gruppierung der Testpersonen erfolgte mit Hilfe einer Clusteranalyse. Dabei wurden folgende relevante Kenngrößen der Nachwuchspflege berücksichtigt:

a) bei der Auslese:

- Anzahl Ausleseebäume
- Anteil der Ausleseebäume mit keinem, einem und zwei entfernten Konkurrenten
- Anteil der Ausleseebäume in den Durchmesserstufen S05, S10, S15 und S20.

b) beim Aushieb:

- Anzahl Aushiebe
- Anteil der Aushiebe in den Durchmesserstufen S05, S10, S15 und S20 und S25
- Anteil der Aushiebsgründe Konkurrent, Nachwuchsförderung, Licht- und Dichteregulung, Mischungsregelung und negativ entfernte Bäume.

Die Clusteranalysen wurden nach dem Ward-Verfahren durchgeführt; die Baumdiagramme für die Auslese und für den Aushieb sind im Anhang zu finden.

Bei der Auslese können drei Gruppen ausgemacht werden, welche in ihrem Anzeichnungsverhalten wie folgt charakterisiert werden können (Tab. 5.3-5):

Tab. 5.3-5: Gruppierung der Testpersonen mit unterschiedlichem Verhalten bei Auswahl und Förderung der Ausleseebäume.

| Gruppe | Testperson | BHD-Verteilung der ALB | Eingriffsstärke |
|--------|---------------------|------------------------|-----------------|
| 1 | A, D, G, H, I, J, K | - | K > 30 % |
| 2 | B, C, F | Anteil S20 > 15 % | K < 30 % |
| 3 | E, L | Anteil S05 > 15 % | K < 20 % |

Legende: ALB = Ausleseebäume S05, S20: BHD-Stufen 5, 20
K= keine Entfernung von Konkurrenten

Beim Aushieb können ebenfalls drei Gruppen und eine Einzelbeobachtung ausgemacht werden. Sie können wie folgt charakterisiert werden (Tab. 5.3-6):

Tab. 5.3-6: Gruppierung der Testpersonen mit unterschiedlichem Verhalten bei der Wahl der Aushiebe.

| Gruppe | Testperson | BHD-Verteilung der Aushiebe | Aushiebsgrund | Anzahl Aushiebe |
|--------|------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1 | A, D, F | S10 > 40 % | KON > 60%, AND < 20% | < 50 |
| 2 | G, L | S20 > 15 % | KON > 60%, AND < 20% | < 50 |
| 3 | B, C, E, H, I, K | S05 > 15 % | KON 30 bis 70%, AND < 20% | 50 bis 80 |
| 4 | J | S05 > 50 % | KON < 35%, NEG > 30% | > 90 |

Legende: S05, S10, S20: BHD-Stufen 5, 10, 20
KON= Konkurrenten von Ausleseebäumen
NEG = negative Auslese (Entfernung Schlechtgeformter)
AND = andere Aushiebsgründe (Nachwuchsförderung, Dichteregulung, Mischungsregelung).

Um das Anzeichnungsverhalten insgesamt zu beurteilen, wurde eine Cluster-Analyse mit den wichtigsten Kenngrößen der Auslese und des Aushiebes durchgeführt. Da hier weniger die richtige Gruppierung der Testpersonen mit mittlerem Anzeichnungsverhalten interessierte als vielmehr das Erkennen der Sonderfälle, wurde das Single-Linkage-Verfahren angewendet. Das daraus resultierende Baumdiagramm ist als Abb. 5.3-8 dargestellt.

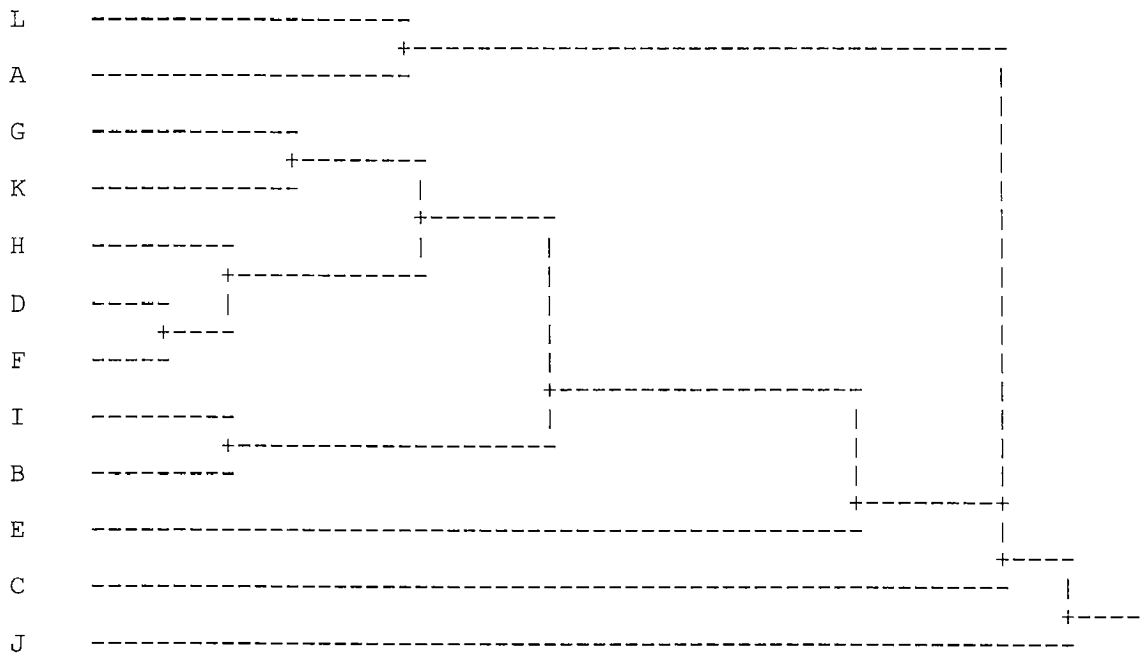


Abb. 5.3-8: Baumdiagramm der Clusteranalyse, Anzeichnungsverhalten aller Testpersonen.

Es können folgende Gruppen gebildet und charakterisiert werden (Tab. 5.3-7):

Tab. 5.3-7: Gruppierung und Charakterisierung der Testpersonen mit unterschiedlichem Verhalten bei der Nachwuchspflege (Auslese und Aushieb).

| Gruppe | Testperson | Anzahl Aushiebe n | Aushiebsgrund | BHD-Bereich der Aushiebe | Bezeichnung |
|--------|--------------------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|
| 1 | A, L | < 40 | KON > 80 % | S05 < 40 % | modern |
| 2 | B, D, (E), F, G, H, I, K | 40 bis 70 | KON 40 - 80 % | S05 < 40 % | klassisch |
| 3 | (C), J | > 70 | KON < 40 %, NEG > 30 % | S05 > 40 % | konservativ |

Legende: S05: BHD-Stufe 5 KON= Konkurrenten von Ausleseebäumen

Für die Gruppenbildung sind die Aushiebskenngrößen entscheidend, insbesondere Aushiebsmenge, Aushiebsgründe und BHD-Bereich des Aushiebes. Die Eingriffe erfolgen bei der modernen Nachwuchspflege fast ausschliesslich zugunsten der Ausleseebäume, die Zahl der Aushiebe ist gering. Bei der klassischen Nachwuchspflege greifen die Forstleute stärker ein, weil sie die andern Aushiebsgründe (Nachwuchsförderung, Dichteregulierung, Mischungsregulierung) stärker berücksichtigen. Die konservative Nachwuchspflege zeichnet sich aus durch grosse Aushiebsmengen in schwachen Durchmesserstufen. Aushiebsgrund ist häufig eine negative Entnahme.

Die Gruppen können nur teilweise durch die unterschiedliche Ausbildung erklärt werden. Die zwei Testpersonen der Gruppe 1 sind Absolventen der Försterschule bzw. der Forstwartlehre, weisen also beide ein gutes, den neuesten Erkenntnissen entsprechendes theoretisches Rüstzeug auf. Dafür mangelt es Ihnen an der praktischen waldbaulichen Erfahrung. In der Gruppe 2 sind praktisch alle Forst-warte und Förster vereint. Die dritte Gruppe wird von zwei Testpersonen gebildet, welche es gewohnt sind, unter der Leitung eines älteren Försters konservativ zu pflegen.

6 Zustand der Ausleseebäume

6.1 Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Nachwuchsbaume

Die 393 Ausleseebäume werden im nachfolgenden Kapitel eingehend untersucht, insbesondere ihre Stabilität, Vitalität und Qualität. Als wichtigste Einflussfaktoren auf deren Entwicklung wurden die Faktoren Standortgüte, Überschildung, seitliche Konkurrenz und Beschattung angenommen. Die Messung oder Herleitung und die Verwendung dieser Grössen bedarf einiger Erklärungen.

6.1.1 Standortpotenzial und Definition von Standortseinheiten

Die Definition von Standortseinheiten erfolgte mit Hilfe von Standortangaben und der Mittelhöhe der Bäume zwischen 50 und 69 cm BHD. Die Baumhöhendaten stammten aus der Erhebung von Konkurrenten und Begleitbäumen im Umkreis von 9.77 m um die untersuchten Ausleseebäume. Insgesamt standen Baumhöhenwerte von 101 Tannen und 94 Fichten zur Verfügung. Aufgrund von Literaturangaben war zwischen den Baumarten Tanne und Fichte ein Unterschied zu erwarten. Wegen der zu geringen Anzahl der Messwerte konnte die getrennte Berechnung der Mittelhöhen nicht für alle Untersuchungsflächen durchgeführt werden. Die Berechnung der Mittelhöhe aller Bäume (Tab. 6.1-1) ergab einen hochsignifikanten Unterschied zwischen Fichte und Tanne (T-Test, $T = 4,769$; $FG = 193,0$; $Prob > T = 0,0000$).

Tab. 6.1-1: Klassenhöhe im Bereich 50 bis 69 cm BHD, Vergleich von Tanne und Fichte.

| Baumart | n | MW | STD | NVP | Prob < W | STD MW | VI (95 %) |
|---------|-----|------|-----|------|----------|--------|---------------|
| Fichte | 94 | 36.5 | 3.4 | 0.98 | 0.396 | 0.35 | 35.8 bis 37.2 |
| Tanne | 101 | 33.8 | 4.4 | 0.97 | 0.154 | 0.44 | 32.9 bis 34.7 |

Legende:

n = Anzahl Werte

MW= Mittelwert

STD = Standardabweichung

NVP= Normalverteilungsprüfung (W-Wert des Shapiro-Wilks-Tests)

Prob < W= Überschreitungswahrscheinlichkeit für Normalverteilungsprüfung

STD MW = Standardfehler (STD des MW)

VI = Vertrauensintervall auf 95 %-Niveau.

Die Berechnung der Höhenmittelwerte pro Untersuchungsfläche ergab für die Bäume mit 50 bis 69 cm BHD die folgenden Ergebnisse (Tab. 6.1-2):

Tab. 6.1-2: Mittelwerte der Baumhöhen für die Bäume 50 bis 69 cm BHD.

| FNR | n | MW | STD | STD MW | MIN | MAX |
|-----|----|------|-----|--------|------|------|
| 1 | 7 | 35.5 | 1.4 | 0.5 | 32.8 | 37.0 |
| 2 | 10 | 35.3 | 3.7 | 1.2 | 30.3 | 42.8 |
| 3 | 4 | 36.2 | 2.3 | 1.1 | 34.0 | 38.3 |
| 4 | 22 | 37.4 | 3.6 | 0.7 | 30.3 | 42.8 |
| 5 | 16 | 33.2 | 2.9 | 0.7 | 27.0 | 37.8 |
| 6 | 30 | 32.3 | 2.5 | 0.5 | 27.1 | 36.3 |
| 7 | 12 | 29.6 | 2.7 | 0.8 | 25.3 | 35.0 |
| 8 | 6 | 35.7 | 3.8 | 1.6 | 29.5 | 39.0 |
| 9 | 13 | 37.8 | 2.1 | 0.6 | 34.3 | 41.5 |
| 10 | 17 | 37.3 | 2.4 | 0.6 | 31.9 | 41.0 |
| 11 | 9 | 37.7 | 2.5 | 0.8 | 34.1 | 41.0 |
| 12 | 4 | 37.6 | 2.0 | 1.0 | 35.5 | 40.1 |
| 13 | 8 | 29.0 | 3.4 | 1.2 | 23.5 | 33.2 |
| 14 | 7 | 30.3 | 1.8 | 0.7 | 27.4 | 32.8 |
| 15 | 16 | 41.0 | 2.7 | 0.7 | 36.0 | 44.2 |
| 16 | 6 | 33.6 | 1.3 | 0.5 | 32.0 | 35.0 |
| 18 | 8 | 36.6 | 1.9 | 0.7 | 34.2 | 40.5 |

Legende:

n = Anzahl Werte

MW= Mittelwert

STD = Standardabweichung

MIN= Minimum

MAX= Maximum

STD MW = Standardfehler

(Standardabweichung des MW)

Der Bartlett-Test für ungleiche Stichprobengrößen ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianzen. Der globale F-Test ergibt hochsignifikante Unterschiede zwischen den Untersuchungsflächen ($F_{\text{ber}} = 17,81 > 2,1 = F_{\text{tab}}$). Der multiple Vergleich der Mittelwerte ergibt folgende Gruppen mit statistisch nicht signifikant unterschiedlicher Klassenhöhe (Tab. 6.1-3):

Tab. 6.1-3: Multipler Mittelwertvergleich der Klassenhöhen der Untersuchungsflächen.
(Scheffe's-Test, geeignet für unbalancierte Daten)

| FNR | 15 | 9 | 11 | 12 | 4 | 10 | 18 | 3 | 8 | 1 | 2 | 16 | 5 | 6 | 14 | 7 | 13 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| MW | 41.0 | 37.8 | 37.7 | 37.6 | 37.4 | 37.3 | 36.6 | 36.2 | 35.7 | 35.5 | 35.3 | 33.6 | 33.2 | 32.3 | 30.3 | 29.6 | 29.0 |
| A | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | | | | |
| B | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | | |
| C | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | | |
| D | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| E | | | | | | | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X |

Legende:

FNR = Flächennummer

MW= Mittelwert

A,B,C,D,E=Gruppen, innerhalb derer sich die Höhenklassen-MW nicht signifikant unterscheiden

Niederschlag und Temperatur variieren auf den untersuchten Flächen nur wenig. Hingegen ergibt die von SW nach NE verlaufende Talachse zwei ökologisch völlig entgegengesetzte Expositionen, nämlich einen zur Austrocknung neigenden, warmen SE-Hang und einen kühlen, frischeren NW-Hang. Auch bezüglich Topographie und Hangneigung gibt es Unterschiede zwischen den Untersuchungsflächen (Tab. 6.1-4). Bei den Bodenverhältnissen dagegen gibt es, mit einer Ausnahme, keine grundsätzlichen Unterschiede, sondern höchstens graduelle Unterschiede bezüglich Bodentiefe und Kalkgrenze.

Als Bestandesdaten wurden das Gesamtvolumen und die berechnete Höhe bei 50 und 70 cm BHD berücksichtigt. Die Werte H50 und H70 wurden für das Nadelholz nach der Korsun-Gleichung [$\ln \text{Höhe} = a + b \cdot \ln \text{BHD} + c \cdot (\ln \text{BHD})^2$] berechnet. Sie erlaubt die Bonitierung der Fläche 17, deren Klassenhöhe im Bereich 50 bis 69 cm BHD mangels Bäumen nicht berechnet wurde.

Tab. 6.1-4: Wichtige Standorts- und Bestandesdaten zur Charakterisierung der Bonität.

| FNR | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Expo | S | N | S | N | N | N | S | N | N | N | N | N | S | N | N | N | N | N |
| Topo | MH | MH | MH | M/H | M/H | MH | MH | MH | MH | MH | M/H | MH | MH | MH | MH | MH | MH | M/K |
| HNe | 42 | 45 | 40 | 30 | 37 | 47 | 44 | 54 | 45 | 54 | 48 | 48 | 44 | 59 | 50 | 50 | 49 | 27 |
| Boden | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Bra | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mo- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mo- Ren | Mo- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren | Mu- Ren |
| BTief | 60 | 70 | 60 | 100 | 60 | 60 | 60 | 60 | 100 | 60 | 100 | 80 | 70 | 60 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| KG | 40 | 15 | 20 | 20 | 25 | 35 | 40 | 15 | 5 | 15 | 20 | 30 | 10 | 30 | 15 | 50 | 5 | 15 |
| VOL | 353 | 432 | 348 | 419 | 379 | 417 | 236 | 273 | 356 | 392 | 402 | 274 | 329 | 328 | 399 | 313 | 258 | 376 |
| H50 | 33.1 | 32.7 | 31.5 | 34.5 | 32.3 | 31.0 | 27.9 | 32.0 | 32.4 | 33.1 | 34.7 | 32.2 | 28.0 | 27.6 | 35.6 | 31.9 | 32.6 | 34.0 |
| H70 | 36.7 | 37.4 | 38.0 | 40.5 | 36.8 | 34.7 | 32.1 | 36.0 | 39.9 | 40.4 | 40.4 | 37.9 | 30.1 | 32.5 | 42.4 | 37.8 | 38.3 | 39.5 |

Legende:

FNR = Flächennummer

Expo = Exposition

S= Süd / N= Nord

Hne = Hangneigung

Topo = Topographie

MH= Mittelhang

HF= Hangfuss

M/H = MH/HF M/K = MH/Kuppe

Boden=Humus-Bodenart

Ren= Renzina

Bra= Braunerde

Mu= Mull

Mo=Moder

BTief = Bodentiefe

KG = Kalkgrenze

VOL= Vorrat

H50/H70= Höhe BHD 50/70 cm

Für die nachfolgende Bildung von Standortseinheiten wurde als wichtigstes standörtliches Kriterium die Exposition verwendet. Innerhalb der Exposition wurde auf die Ergebnisse der Klassenhöhen-Berechnung bzw. der Höhenkurven-Werte H50 und H70 abgestützt. Dadurch ergaben sich folgende Standortseinheiten (Tab. 6.1-5):

Tab. 6.1-5: Charakterisierung der Standortseinheiten, getrennt nach Exposition.

| Exposition | Mittelhöhe | Bonität (Flury 1929) | Standortsgüte | Standorts- einheit | Untersuchungsfläche NR |
|------------|-------------|-------------------------|----------------|-----------------------|---------------------------|
| Nord | 40 bis 44 m | I | ausgezeichnet | na | (15) |
| Nord | 36 bis 40 m | II | gut | ng | 2,4,9,10,11,12,17,18 |
| Nord | 32 bis 36 m | III | mittel | nm | 5, 6, 8, 16 |
| Nord | 28 bis 32 m | IV | schlecht | ns | 14 |
| Süd | 34 bis 38 m | II - III | mittel bis gut | sg | 1, 3 |
| Süd | 28 bis 32 m | IV | schlecht | ss | 7, 13 |

Die Fläche 15 weist eine Mittelhöhe über 40 m auf, stockt aber im Gegensatz zu Fläche 4 nicht auf einem überdurchschnittlichen Standort. Sie weist deshalb höchstens zweite Bonität nach Flury auf. Für die Berechnung der BHD-Höhenkurven wurde sie jedoch separat gerechnet, um das ganze Spektrum vorkommender Höhenkurven darzustellen. Fläche Nr. 2 hätte aufgrund der Mittelhöhe der Standortsgüteklasse "mittel" zugewiesen werden müssen. Aufgrund des Bestandesvorrates und der wesentlich grösseren Klassen-Mittelhöhe der Fichte (vgl. Anhang, Tab A.6.1-1), wurde sie aber zur Standortsgüteklasse "gut" gezählt.

Mit Hilfe der Korsun-Gleichung [$\ln(\text{Höhe}) = a + b \cdot \ln \text{BHD} + c \cdot (\ln \text{BHD})^2$] wurde für jede Untersuchungsfläche (Abb. 6.1-1) und für jede Baumart pro Standortseinheit eine Höhenkurve berechnet und graphisch dargestellt (Abb. 6.1-2):

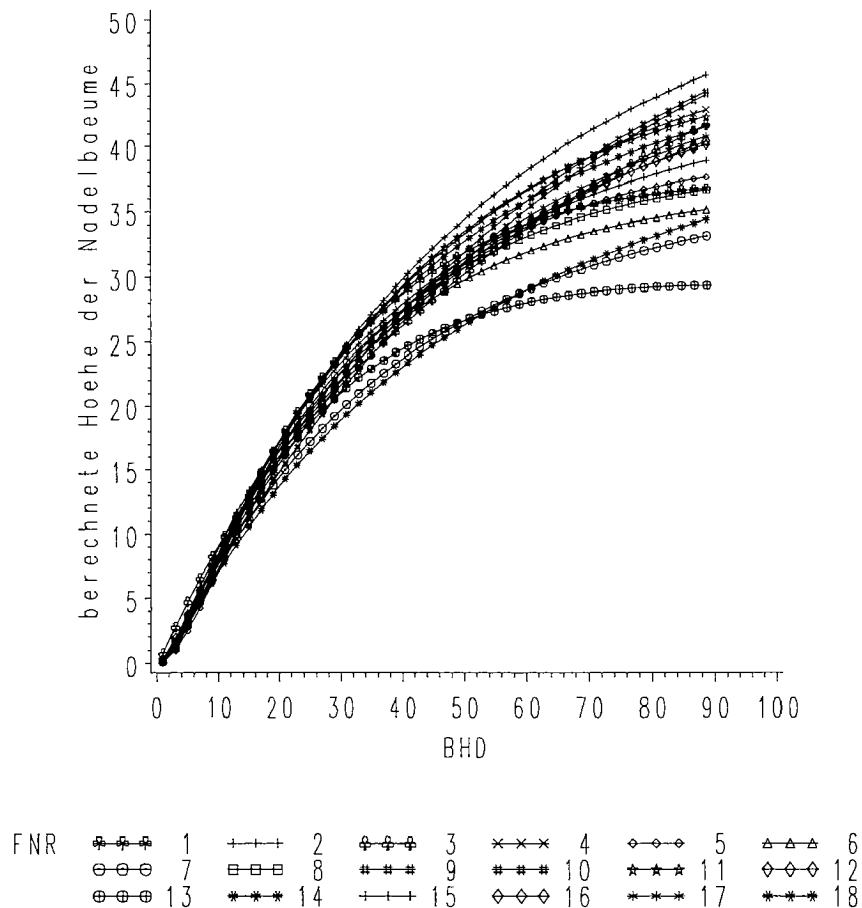


Abb. 6.1-1: BHD-Höhenkurven für die Nadelbäume, pro Untersuchungsfläche.

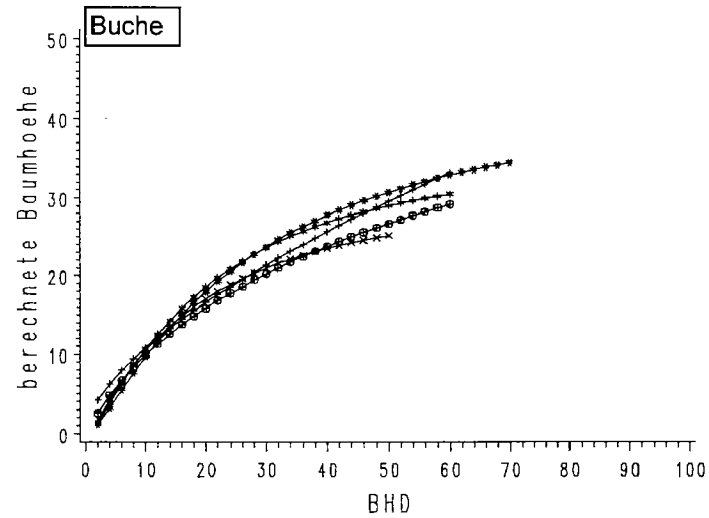
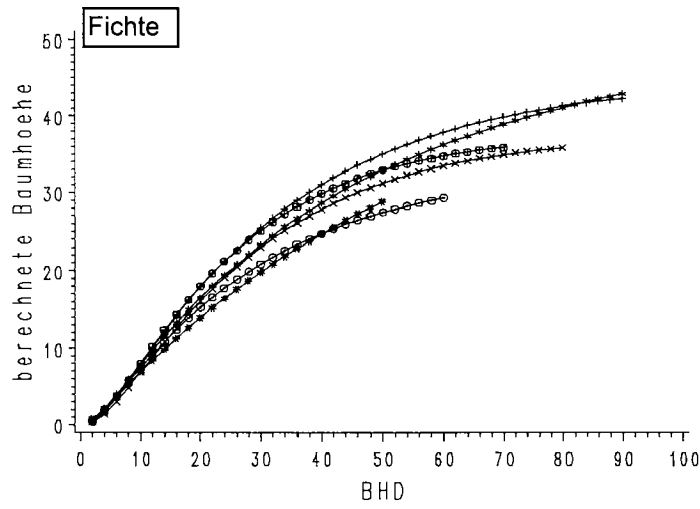
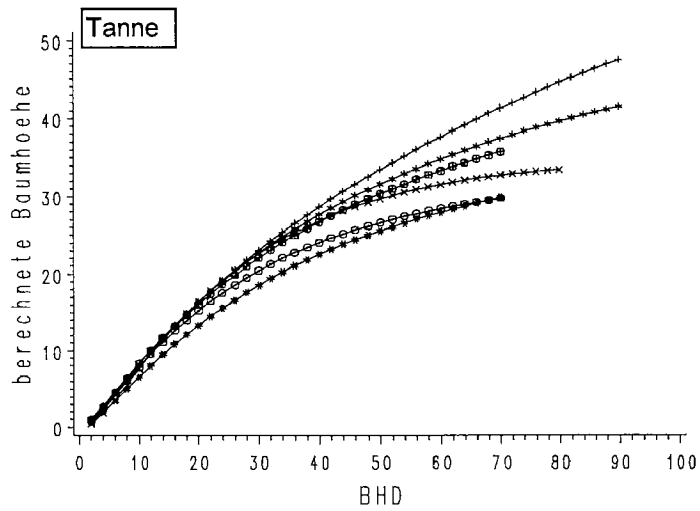


Abb. 6.1-2: Höhenkurven der Baumarten Tanne, Fichte und Buche, pro Standortseinheit

6.1.2 Überschildung

Die Überschildung der Auslesebäume wurde aus der gemessenen Kronenausladung der benachbarten höheren Bäume in Richtung der Auslesebäume abgeleitet. Weil ein Teil der Bäume, welche die Auslesebäume vor dem Haupteingriff überschildern hatten, entfernt worden war, musste zur Rekonstruktion der Überschildungsverhältnisse ein mittlerer Kronenradius berechnet werden. Die Berechnung erfolgte mittels linearer Regression und mit Hilfe der Daten aus der Umgebungskonkurrenz. Die berechneten Regressionsmodelle für die Baumarten Tanne, Fichte, Buche und die übrigen Laubbäume sind in der Tab. 6.1-6 zusammengefasst.

Tab. 6.1-6: Regressionsmodelle für den Zusammenhang von BHD und Kronenradius.

| Baumart | n | Modell | F-Wert | Prob>F | R ² | Param. | Schätzer | Std.Err | Prob>T |
|------------------|-----|------------------------|--------|--------|----------------|--------|-----------------|----------------|------------------|
| Tanne | 526 | KRAD= a+b*BHD | 1054.0 | 0.0001 | 0.67 | a b | 1.370 0.053 | 0.060 0.002 | 0.0001 0.0001 |
| Fichte | 174 | KRAD= a+b*BHD | 437.4 | 0.0001 | 0.72 | a b | 1.092 0.045 | 0.108 0.002 | 0.0001 0.0001 |
| Buche | 181 | ln KRAD= a+b*ln BHD | 178.9 | 0.0001 | 0.50 | a b | -0.388 0.557 | 0.137 0.042 | 0.0052 0.0001 |
| übrige Laubb. | 29 | KRAD= a+b*BHD | 32.7 | 0.0001 | 0.53 | a b | 0.401 0.134 | 0.507 0.023 | 0.4356 0.0001 |

Legende:

n = Anzahl

ln = Logarithmus naturalis (Basis e)

Prob>F = Überschreitungswahrscheinlichkeit

a, b = Parameter des Regressionsmodelles

Std.Err = Standardfehler der Schätzung

KRAD = Kronenradius (m)

F-Wert = Testwert F-Test

R² = Bestimmtheitsmass

Schätzer. = Schätzwert der Parameter

Prob>T = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Die berechnete lineare Regression ergab für die Nadelbäume, trotz normalverteilter Residuen, eine zu wenig gute Anpassung an die gemessenen Werte unterhalb von 20 cm BHD. Deshalb wurde eine nichtlineare Regression berechnet, mit einem Parabelbogen bis zum Strukturbruch s und einer daran anschliessenden Geraden (Tab. 6.1-7).

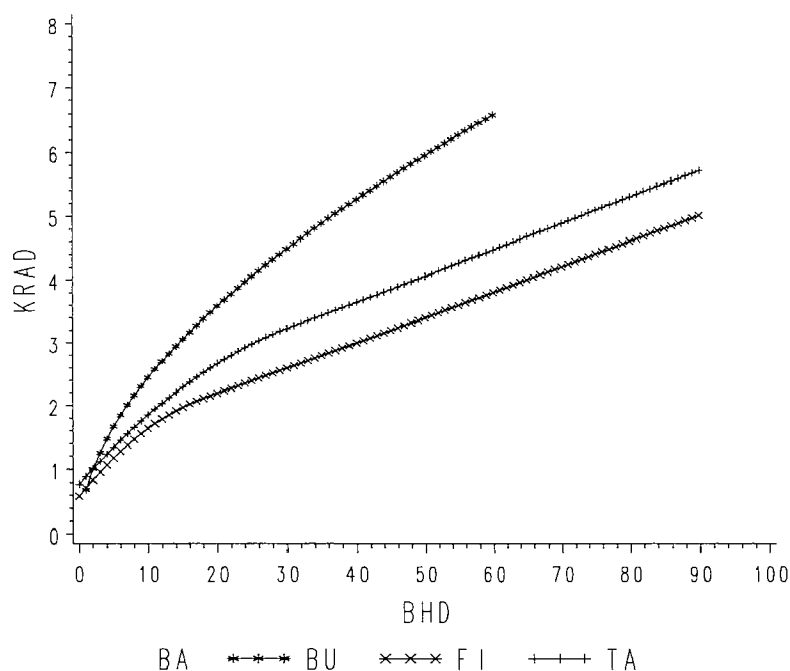


Abb. 6.1-3: Kronenradien in Abhängigkeit des BHD, nach Baumarten getrennt.

Tab. 6.1-7: Nichtlineare Regression für den Zusammenhang von BHD und Kronenradius.

| Baumart | Modell | s | R ² |
|---------|---|-------|----------------|
| Tanne | KRAD= 3.251 + 0.042*(BHD-s) + (-0.0013)*MIN(BHD-s,0)**2 | 30.59 | 0.717 |
| Fichte | KRAD= 2.097 + 0.040*(BHD-s) + (-0.0025)*MIN(BHD-s,0)**2 | 17.74 | 0.799 |

Legende:

KRAD = Kronenradius

R² = Bestimmtheitsmass

s = Strukturbruch (Ort, wo der Parabelbogen in eine Gerade übergeht).

Damit ergaben sich die in Abb. 6.1-3 aufgezeichneten Beziehungen zwischen dem BHD und dem Kronenradius. Die berechneten Werte passen sich den gemessenen Werten sehr gut an (Abb. A.6.1-1 im Anhang). Mit Hilfe der Kronenradius-Modelle konnte die Überschirmung vor dem Eingriff geschätzt werden. Für die weiteren Auswertungen wurden drei Schirmklassen gebildet. Die Ausleseebäume verteilen sich wie folgt auf diese Schirmklassen (Tab. 6.1-8):

Tab. 6.1-8: Verteilung der Ausleseebäume auf Schirmklassen, Vergleich von TA und FI.

| Schirmklasse | | nicht überschirmt | | Traufbereich | | überschirmt | |
|--------------|---------|-------------------|------|---------------------|------|-----------------|------|
| Definition | | Schirm > 0.5 m | | -0.5 ≤ Schirm ≤ 0.5 | | Schirm < -0.5 m | |
| Stufe | Baumart | n | % | n | % | n | % |
| 5 | Fichte | 10 | 27 | 18 | 49 | 9 | 24 |
| 5 | Tanne | 5 | 26 | 8 | 42 | 6 | 32 |
| 10 | Fichte | 21 | 53 | 15 | 38 | 4 | 10 |
| 10 | Tanne | 30 | 42 | 20 | 28 | 21 | 30 |
| 15 | Fichte | 19 | 73 | 5 | 19 | 2 | 8 |
| 15 | Tanne | 51 | 49 | 32 | 31 | 21 | 20 |
| 20 | Fichte | 19 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Tanne | 54 | 70 | 21 | 27 | 2 | 3 |
| 5 bis 20 | Fichte | 69 | 56.6 | 38 | 31.2 | 15 | 12.3 |
| 5 bis 20 | Tanne | 140 | 51.7 | 81 | 29.9 | 50 | 18.5 |
| 5 bis 20 | Ndh | 209 | 53.2 | 119 | 30.3 | 65 | 16.5 |

Die Verteilung der Ausleseebäume auf die drei Schirmklassen weicht hochsignifikant von der Gleichverteilung ab (n= 393, Chi²= 80.79 bei FG = 2, Prob < 0.001). Ausleseebäume sind insgesamt wesentlich häufiger nicht überschirmt als überschirmt. Allerdings weicht die Verteilung der Ausleseebäume auf Schirmklassen nur in den BHD-Stufen 15 und 20 statistisch hochsignifikant von der Gleichverteilung ab (Tab. 6.1-9). In der BHD-Stufe 5 besteht bezüglich Überschirmung kein Unterschied zwischen Tanne und Fichte, in den Stufen 10, 15 und 20 dagegen besteht ein signifikanter Unterschied mindestens auf dem 90 %-Niveau.

Tab. 6.1-9: Test auf Gleichverteilung der Schirmklassen und auf Unterschiede zwischen Tanne und Fichte pro Durchmesserstufe.

| BHD-Stufe | Anzahl n | Gleichverteilung | | Unterschied Tanne/Fichte | |
|-----------|-------------|------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | | Chi ² | Prob < Chi ² | Chi ² | Prob < Chi ² |
| 5 | 56 | 4.32 | 0.150 | 0.365 | 0.833 |
| 10 | 111 | 4.62 | 0.100 | 5.645 | 0.059 |
| 15 | 130 | 13.28 | 0.001 | 5.042 | 0.080 |
| 20 | 95 | 82.76 | 0.001 | 7.094 | 0.029 |

Legende:

Chi² = Testwert des Chi²-Testes

Prob < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit

6.1.3 Seitliche Konkurrenz

Die seitliche Konkurrenzierung der Auslesebäume wurde durch die Aufnahme aller Nachbarbäume im Umkreis von 5,64 m bzw. 9,77 m (für Bäume mit mehr als 17,4 cm BHD) erfasst. Dabei wurde auch die Zahl der Konkurrenten bestimmt. Als Konkurrenten wurden alle Nachbarbäume betrachtet, welche die Krone des Messbaumes mindestens berühren. Begleiter sind Nachbarbäume im Umkreis von 5,7 m, deren BHD max. 10 cm vom BHD des Auslesebaumes abweicht. Einige mögliche Konkurrenten waren beim vorangegangenen Haupteingriff entfernt worden. Ihre Lage und Dimension liess sich aber mit Hilfe ihres Wurzelstockes rekonstruieren. Die Konkurrenzsituation vor dem letzten Haupteingriff konnte deshalb auch berechnet werden. Als potentielle Konkurrenten wurden dabei jene Bäume aus der Umgebung der Auslesebäume betrachtet, welche mit ihrer berechneten mittleren Krone die mittlere Krone der Auslesebäume mindestens berühren und welche aus dem selben Höhenbereich stammen. Mit den erhobenen Daten wurden folgende Konkurrenzparameter berechnet (Tab. 6.1-10):

Tab. 6.1-10: Erfasste und berechnete Konkurrenzparameter und ihre Definition.

| Bezeichnung | Eingriff | Abkürzung | Definition |
|-----------------------------|----------|-----------|---|
| Konkurrenten und Begleiter | vor | AKBV | Distanz < 5,7 m, |
| Konkurrenten und Begleiter | nach | AKBN | $(BHD_{AL}-10 \text{ cm}) < BHD < (BHD_{AL}+10 \text{ cm})$ |
| reale Konkurrenten | vor | AKORV | AKORV= AKORN - AKONE |
| reale Konkurrenten | nach | AKORN | Anzahl Konkurrenten |
| potentielle Konkurrenten | vor | AKOPV | berechneter Kronenabstand < 0 , |
| potentielle Konkurrenten | nach | AKOPN | $(H_{AL} \cdot 0.75) < \text{Höhe} < (H_{AL}+10 \text{ m})$ |
| Konkurrenzindex (Gro./Min.) | vor | KI | $KI = \sum H_i/D_i \cdot n / \sum 1/D_i \cdot H_{AL}$ |
| Konkurrenzahl (Schütz 1989) | vor | KZ | $KZ = \sum (0.5-\delta d + 0.65 \cdot \delta h)$ |

Legende:

BHD_{AL} = BHD des Auslesebaumes (cm)

BHD_i = Durchmesser der Konkurrenten

D_i = Distanz zwischen Auslesebaum und Konkurrent

$\delta d = (D_i - KROBRE) / KROBRE$

KROBRE = $KRAD_i + KRAD_{AL}$ (Summe der Kronenbreite von Konkurrent und Auslesebaum)

AKONE = Anzahl bei der Pflege entfernter Konkurrenten Gro./Min. = Groualle und Minot (1989)

H_{AL} = Höhe des Auslesebaumes (m)

H_i = Höhe des Konkurrenten

n = Anzahl Konkurrenten

δh = Höhendifferenz $H_i - H_{AL}$

Der Zusammenhang von BHD und Kronenradius wurde mittels Regressionsmodellen je für die Auslesebäume und die Konkurrenten berechnet (Tab. 6.1-11). Bei den Auslesebäumen wurde dazu das Mittel aus den vier erhobenen Kronenradien verwendet. Bei den Konkurrenten wurde das Mittel aus grösster und kleinster Astlänge an der breitesten Stelle der Krone verwendet.

Tab. 6.1-11: Regressionsmodelle für den Zusammenhang von BHD und Kronenradius im Bereich 2.5 bis 22.4 cm BHD, getrennt für die Auslese und die Konkurrenten.

| Baumart | n | Modell | F-Wert | Prob>F | R ² | Param. | Schätzer | Std.Err | Prob>T |
|--------------------|-----|-------------------|--------|--------|----------------|--------|----------|---------|--------|
| Auslese Tanne | 271 | KRAD= a+b* BHD | 328.6 | 0.0001 | 0.55 | a | 1.075 | 0.064 | 0.0001 |
| | | | | | | b | 0.078 | 0.004 | 0.0001 |
| Auslese Fichte | 122 | KRAD= a+b* BHD | 369.2 | 0.0001 | 0.75 | a. | 0.848 | 0.046 | 0.0001 |
| | | | | | | b | 0.072 | 0.004 | 0.0001 |
| Konkurr. Tanne | 88 | KRAD= a+b* BHD | 107.8 | 0.0001 | 0.55 | a | 0.862 | 0.127 | 0.0001 |
| | | | | | | b | 0.086 | 0.008 | 0.0001 |
| Konkurr. Fichte | 29 | KRAD= a+b* BHD | 29.1 | 0.0001 | 0.50 | a | 0.797 | 0.136 | 0.0001 |
| | | | | | | b | 0.061 | 0.011 | 0.0001 |

Legende: n = Anzahl

F-Wert = Testwert F-Test

R² = Bestimmtheitsmass

Schätzer. = Schätzwert der Parameter

Prob>T = Überschreitungswahrscheinlichkeit der Parameterschätzung

KRAD = Kronenradius (m)

Prob>F = Überschreitungswahrscheinlichkeit

Param.= Parameter des Regressionsmodelles

Std.Err = Standardfehler der Schätzung

Mit der Anzahl Konkurrenten und Begleiter vor dem Pflegeeingriff wurde abgeleitet, ob sich der Auslesebaum "einzeln" (max. ein Konkurrent oder Begleiter), in einer lockeren oder in einer dichten Gruppe entwickelt hat (Tab. 6.1-12). Da die Konkurrenten und Begleiter erst ab 7.5 cm BHD aufgenommen wurden, sind die Werte zwischen den Stufen nicht vergleichbar.

Tab. 6.1-12: Verteilung der Ausleseebäume auf Dichteklassen, Vergleich von Tanne und Fichte.

| Dichteklasse | | dichte Gruppe | | lockere Gruppe | | Einzelwuchs | | Total | |
|--------------|---------|---------------|-----|----------------|-----|-------------|-----|-------|------|
| Definition | | AKBV > 4 | | 2 ≤ AKBV ≤ 4 | | AKBV < 2 | | | |
| Stufe | Baumart | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 5 | Fichte | 11 | 30% | 20 | 54% | 6 | 16% | 37 | 100% |
| 5 | Tanne | 6 | 32% | 11 | 58% | 2 | 11% | 19 | 100% |
| 10 | Fichte | 30 | 75% | 9 | 23% | 1 | 2% | 40 | 100% |
| 10 | Tanne | 26 | 37% | 30 | 42% | 15 | 21% | 71 | 100% |
| 15 | Fichte | 17 | 65% | 7 | 27% | 2 | 8% | 26 | 100% |
| 15 | Tanne | 59 | 57% | 40 | 39% | 5 | 5% | 104 | 100% |
| 20 | Fichte | 10 | 56% | 7 | 39% | 1 | 6% | 18 | 100% |
| 20 | Tanne | 43 | 56% | 28 | 36% | 6 | 8% | 77 | 100% |
| 5-20 | Fichte | 69 | 57% | 42 | 35% | 10 | 8% | 121 | 100% |
| 5-20 | Tanne | 136 | 50% | 109 | 40% | 26 | 10% | 271 | 100% |
| 5-20 | Total | 205 | 52% | 151 | 39% | 36 | 9% | 392 | 100% |

Legende:

AKBV= Anzahl Konkurrenten und Begleiter vor dem Eingriff (Tab. 6.1.10)

Die Verteilung der Ausleseebäume auf die drei Dichteklassen weicht in allen BHD-Stufen hochsignifikant von der Gleichverteilung ab (Tab. 6.1-13). Bei der Auslese werden selten Einzelwüchse ausgewählt, sondern meist Bäume innerhalb von Nachwuchsguppen. Die Unterschiede zwischen Fichte und Tanne sind nur in BHD-Stufe 10 signifikant.

Tab. 6.1-13: Test auf Gleichverteilung der Dichteklassen und auf Unterschiede zwischen Tanne und Fichte pro Durchmesserstufe.

| BHD-Stufe | Anzahl n | Gleichverteilung | | Unterschied TA / FI | |
|-----------|-------------|------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| | | Chi ² | Prob< Chi ² | Chi ² | Prob< Chi ² |
| 5 | 56 | 14.39 | 0.001 | 0.33 | 0.847 |
| 10 | 111 | 21.78 | 0.001 | 16.47 | 0.001 |
| 15 | 130 | 55.40 | 0.001 | 1.35 | 0.508 |
| 20 | 95 | 33.94 | 0.001 | 0.12 | 0.940 |

Die Anzahl realer Konkurrenten AKORN ist ein Mass für die Konkurrenzierung der Ausleseebäume nach der Pflege. 96 % der Fichten und 92 % der Tannen wiesen nach der Pflege weniger als 4, je rund 80 % weniger als 3 direkte Konkurrenten auf. Für die weiteren Auswertungen wurden drei Konkurrenzklassen gebildet (Tab. 6.1-14). Die Ausleseebäume weisen nach der Pflege häufig weniger als drei direkte Konkurrenten auf. Insgesamt besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Fichte und Tanne (n= 356, FG=2, Chi²= 0.419, Prob = 0.811). Die Auswertung pro Durchmesserstufe ergibt einzig in der Stufe 10 einen schwach signifikanten Unterschied zwischen den Baumarten. Die Verteilung auf die Konkurrenzklassen weicht überall signifikant von der Gleichverteilung ab (Tab. 6.1-15).

Bei der Tanne gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Durchmesserstufen (n= 356, FG=2; Chi²= 20.593, Prob = 0.002), bei der Fichte nicht (Chi²= 10.778, Prob = 0.095).

Tab. 6.1-14: Verteilung der Auslesebäume auf Konkurrenzklassen.

| Stufe | Baumart | keine Konkurrenz 0 Konkurrenten | | kleine Konkurrenz 1 bis 2 Konkurrent. | | mittl. bis grosse K. 3 bis 6 Konkurrent. | | Total | |
|-------|---------|------------------------------------|-----|--|-----|---|-----|-------|------|
| | | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 5 | Fichte | 6 | 29% | 13 | 62% | 2 | 9% | 21 | 100% |
| 5 | Tanne | 3 | 19% | 11 | 69% | 2 | 12% | 16 | 100% |
| 10 | Fichte | 2 | 6% | 20 | 63% | 10 | 31% | 32 | 100% |
| 10 | Tanne | 23 | 34% | 36 | 53% | 9 | 13% | 68 | 100% |
| 15 | Fichte | 6 | 24% | 17 | 65% | 3 | 11% | 26 | 100% |
| 15 | Tanne | 25 | 25% | 58 | 58% | 17 | 17% | 100 | 100% |
| 20 | Fichte | 3 | 19% | 7 | 44% | 6 | 37% | 16 | 100% |
| 20 | Tanne | 14 | 18% | 34 | 44% | 29 | 38% | 77 | 100% |
| 5-20 | Fichte | 17 | 18% | 57 | 60% | 21 | 22% | 95 | 100% |
| 5-20 | Tanne | 65 | 25% | 139 | 53% | 57 | 22% | 261 | 100% |
| 5-20 | Ndh | 82 | 23% | 196 | 55% | 78 | 22% | 356 | 100% |

Tab. 6.1-15: Test auf Gleichverteilung der Konkurrenzklassen und auf Unterschiede zwischen Tanne und Fichte, pro Durchmesserstufe.

| BHD-Stufe | Anzahl n | Gleichverteilung | | Unterschied TA / FI | |
|-----------|-------------|------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| | | Chi ² | Prob Chi ² < | Chi ² | Prob Chi ² |
| 5 | 37 | 20.16 | 0.001 | 1.390 | 0.499 |
| 10 | 100 | 25.34 | 0.001 | 8.968 | 0.011 |
| 15 | 126 | 51.61 | 0.001 | 0.956 | 0.620 |
| 20 | 93 | 12.97 | 0.010 | 0.098 | 0.952 |

Die Anzahl potentieller Konkurrenten vor dem letzten Eingriff wurde mit Hilfe der geschätzten Baumgrösse, des mittleren Kronenradius und des Abstandes zum Auslesebaum berechnet. Als Konkurrenten nur jene Bäume bezeichnet, welche die Krone des Auslesebaumes schneiden und sich in einem ähnliche Höhenbereich befinden. Die Ableitung der potentiellen Konkurrenten unterliegt darum weniger subjektiven Einflüssen als die Bezeichnung der realen Konkurrenten. Um die Güte dieser Ableitung zu überprüfen, wurde die Zahl der erhobenen realen Konkurrenten mit der Anzahl der potentiellen Konkurrenten nach dem Eingriff verglichen (Abb. 6.1-4).

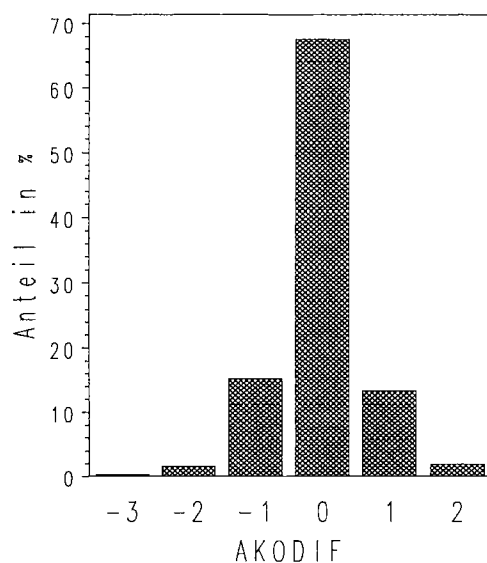


Abb. 6.1-4: Anpassungsgüte des Konkurrenz-Modelles, Vergleich von AKORN und AKOPN.

Legende:

AKORN = Anzahl realer Konkurrenten

AKOPN = Anzahl potentieller Konkurrenten

AKODIF = AKORN - AKOPN

Die mit Hilfe der Konkurrenzsituation abgeleitete Zahl der Konkurrenten stimmt in zwei Drittel der Fälle mit der Zahl der realen Konkurrenten überein; in 96% der Fälle ist die Abweichung kleiner als 2 Konkurrenten. Die Korrelation zwischen der Anzahl erhobener (AKORN) und der Anzahl abgeleiteter Konkurrenten (AKOPN) nimmt mit zunehmendem BHD zu (Tab. 6.1-16). In den Stufen 15 und 20 ist eine recht gute Voraussage der potentiellen Konkurrenten möglich.

Tab. 6.1-16: Korrelation zwischen Anzahl erhobener und abgeleiteter Konkurrenten, nach BHD-Stufen getrennt. rho = Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

| BHD-Stufe | S05 | S10 | S15 | S20 | 5 bis 20 |
|-----------|------|------|------|------|----------|
| rho | 0.54 | 0.77 | 0.88 | 0.90 | 0.84 |

Die Konkurrenzzahl KZ nach Schütz (1989) wie auch der Konkurrenzindex KI nach Groualle und Minot (1989) sind komplexe Masse für die seitliche Konkurrenz (Kap. 3.5.3). Sie gelten an sich nur für gleichförmige Bestände und berücksichtigen beide den Abstand zum Auslesebaum und die Höhe des Konkurrenten im Vergleich zum Auslesebaum. Für die Berechnung von KI wurden nur die direkten Konkurrenten berücksichtigt. Die berechneten Konkurrenzindizes sind wie folgt mit den andern Konkurrenzkenntwerten korreliert (Tab. 6.1-17):

Tab. 6.1-17: Korrelation zwischen den Konkurrenzindizes und anderen Konkurrenzkenntwerten. r = Rangkorrelationskoeffizient rho nach Spearman.

| Index\ Variable | AKBV | AKORV | AKOPV | GFLCV |
|--------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Konkurrenzindex KI | r = 0.62 | r = 0.77 | r = 0.92 | r = -0.18 |
| Konkurrenzzahl KZ | r = 0.56 | r = 0.64 | r = 0.73 | r = -0.18 |

AKBV = Anzahl Konkurrenten und Begleiter vor dem Pflegeeingriff

AKORV = Anzahl realer Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff

AKOPV = Anzahl potentieller Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff

GFLCV = kummulierte Grundfläche im Radius 9.8 m (3 a) um den Auslesebaum vor Eingriff.

Sowohl der Konkurrenzindex als auch die Konkurrenzzahl sind mit der Anzahl realer und potentieller Konkurrenten vor dem Pflegeeingriff stark positiv korreliert. Mit der kummulierten Grundfläche als Mass für die Beschattung dagegen sind beide Indizes nicht korreliert. Wegen der starken Korrelation von KI und AKOPV wird in der Folge nur die Konkurrenzzahl weiter analysiert. Diese weist Werte zwischen 0 und 13.07 auf und ist insgesamt nicht normalverteilt. Der Median liegt bei 2.2, 50 % der Werte liegen zwischen 1.08 und 3.63. Zwischen Fichten und Tannen besteht ein signifikanter Unterschied in BHD-Stufe 10 (Tab. 6.1-18).

Tab. 6.1-18: Statistische Kennwerte der Konkurrenzzahl, pro Baumart und BHD-Stufe.

| DSTU | BA | n | MW | STD | NVP | Q1 | MED | Q3 | Unterschied |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|--------------------------|
| 5 | Fi | 37 | 2.8 | 2.3 | 0.88 | 1.3 | 2.0 | 4.1 | Chi ² = 0.704 |
| 5 | Ta | 19 | 2.0 | 1.2 | 0.96 | 1.0 | 1.8 | 2.5 | P = 0.401 |
| 10 | Fi | 40 | 4.3 | 3.1 | 0.93 | 2.0 | 3.5 | 6.1 | Chi ² = 10.37 |
| 10 | Ta | 71 | 2.2 | 2.0 | 0.90 | 0.7 | 1.8 | 3.5 | P = 0.001 |
| 15 | Fi | 26 | 2.8 | 2.1 | 0.92 | 0.6 | 2.8 | 4.3 | Chi ² = 1.718 |
| 15 | Ta | 104 | 2.4 | 1.7 | 0.93 | 1.4 | 2.2 | 3.3 | P = 0.190 |
| 20 | Fi | 18 | 2.2 | 1.6 | 0.95 | 1.0 | 2.0 | 3.1 | Chi ² = 0.985 |
| 20 | Ta | 77 | 2.3 | 1.5 | 0.95 | 1.0 | 2.4 | 3.5 | P = 0.321 |
| 5-20 | Fi | 122 | 3.2 | 2.6 | 0.90 | 1.2 | 2.8 | 4.4 | Chi ² = 3.975 |
| 5-20 | Ta | 271 | 2.3 | 1.7 | 0.94 | 1.0 | 2.1 | 3.4 | P = 0.046 |
| Total | Ndh | 393 | 2.6 | 2.0 | 0.90 | 1.1 | 2.2 | 3.6 | |

Legende:

n = Anzahl Werte

MW= Mittelwert

STD = Standardabweichung

NVP= Normalverteilungsprüfung

Q1= 1. Quartil (25%-Wert)

MED= Median (50%-Wert)

Q3= 3. Quartil (75%-Wert)

Chi²= Chi-Quadrat-Testwert der Median Einweg-Analyse (Chi²-Approximation)

P= Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Nullhypothese (kein Unterschied)

6.1.4 Beschattung

Als Mass für die Beschattung wurde die kummulierte Grundfläche vor dem letzten Eingriff (GFLCV) auf der erfassten Stichprobe von 3 a Fläche (9.77 m Radius) um den Auslesebaum verwendet. Die Tab. 6.1-19 gibt eine Übersicht über die statistischen Kennwerte von GFLCV pro Baumart und BHD-Stufe:

Tab. 6.1-19: Statistische Kennwerte der kummulierten Grundfläche (m²/ha), pro Baumart und BHD-Stufe. Unterschiedstest zwischen Fichte und Tanne mit Rangsummentest.

| DSTU | BA | n | MW | STD | NVP | Q1 | MED | Q3 | Unterschied |
|------|----|-----|------|------|------|------|------|------|-------------|
| 5 | Fi | 37 | 29.6 | 14.8 | 0.89 | 18.3 | 26.3 | 35.0 | Z= -0.338 |
| 5 | Ta | 19 | 28.2 | 14.1 | 0.88 | 15.7 | 25.3 | 42.7 | P= 0.7357 |
| 10 | Fi | 40 | 23.1 | 11.5 | 0.93 | 12.7 | 24.0 | 29.7 | Z= -3.357 |
| 10 | Ta | 71 | 33.7 | 15.7 | 0.93 | 22.0 | 30.3 | 42.7 | P= 0.0008 |
| 15 | Fi | 26 | 24.9 | 13.9 | 0.97 | 14.0 | 23.8 | 32.0 | Z= -2.529 |
| 15 | Ta | 104 | 32.5 | 13.5 | 0.98 | 23.2 | 31.0 | 40.8 | P= 0.0114 |
| 20 | Fi | 18 | 23.1 | 12.6 | 0.92 | 12.3 | 23.3 | 34.7 | Z= -2.949 |
| 20 | Ta | 77 | 33.5 | 12.4 | 0.97 | 26.0 | 32.3 | 40.3 | P= 0.0032 |
| 5-20 | Fi | 122 | 25.5 | 13.3 | 0.94 | 14.3 | 24.3 | 33.3 | Z= -5.004 |
| 5-20 | Ta | 271 | 32.8 | 13.9 | 0.96 | 23.3 | 30.7 | 41.3 | P= 0.0001 |

Legende: DSTU= BHD-Stufe BA= Baumart Fi= Fichte Ta= Tanne
n = Anzahl Werte MW= Mittelwert STD = Standardabweichung
NVP= Normalverteilungsprüfung (W-Wert des Shapiro-Wilks-Tests)
Q1= 1. Quartil (25%-Wert) MED= Median (50%-Wert) Q3= 3. Quartil (75%-Wert)
Z = Z-Testwert des Wilcoxon-Zweistichproben-Tests (Normalverteilungs-Approximation)
P = Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Nullhypothese (kein Unterschied)

Insgesamt besteht bezüglich der kummulierten Basalfläche (GFLCV) ein hochsignifikanter Unterschied zwischen Fichte und Tanne. Die Tannen sind in allen Durchmesserstufen ausser der Stufe 5 signifikant stärker beschattet als die Fichten. Neben den Mittelwerten interessiert uns auch die Verteilung der Auslesebäume auf Klassen unterschiedlicher Beschattung. Die mittlere Grundfläche aller 18 Untersuchungsflächen beträgt ziemlich genau 30 m², mit einer Schwankung zwischen 21 und 37 m² (vgl. Kap. 4.1). Eine Grundfläche von 20,0 bis 39,9 m² wurde deshalb als mittlere Beschattung bezeichnet, eine solche unter 20 m² als schwache und eine solche über 40 m² als starke Beschattung. Die Verteilung der Tannen und Fichten auf diese Klassen zeigt, dass die Auslesebäume beider Baumarten insgesamt häufig unter mittleren Beschattungsverhältnissen aufwachsen, dass aber stark beschattete Fichten anteilmässig nur halb so häufig sind wie stark beschattete Tannen (Tab. 6.1-20). Einzig in der BHD-Stufe 5 ist der Anteil schwach beschatteter Tannen grösser als jener der Fichten.

Tab. 6.1-20: Verteilung der Auslesebäume auf Klassen unterschiedlicher Beschattung.

| BHD-Stufe | Tanne | | | Tanne Total | Fichte | | | Fichte Total |
|------------------|---------|--------|-------|----------------|---------|--------|-------|-----------------|
| | schwach | mittel | stark | | schwach | mittel | stark | |
| 5 | 8 | 4 | 6 | 18 | 11 | 18 | 7 | 36 |
| 10 | 14 | 37 | 20 | 71 | 16 | 18 | 5 | 39 |
| 15 | 16 | 55 | 28 | 99 | 11 | 11 | 4 | 26 |
| 20 | 9 | 53 | 21 | 83 | 8 | 12 | 1 | 21 |
| Total | 47 | 149 | 75 | 271 | 46 | 59 | 17 | 122 |
| Total (%) | 17.3 | 55.0 | 27.7 | 100.0 | 37.7 | 48.4 | 13.9 | 100.0 |

6.2 Höhenkurve und Stabilität

6.2.1 Durchmesser-Höhenkurve und Schlankheitsgrad

Die Höhenkurve verläuft zwischen 2,5 und 22,4 cm BHD annähernd linear. Die Streuung der Einzelwerte um die berechnete Regressionsgerade steigt mit zunehmendem BHD (Abb. 6.2-1).

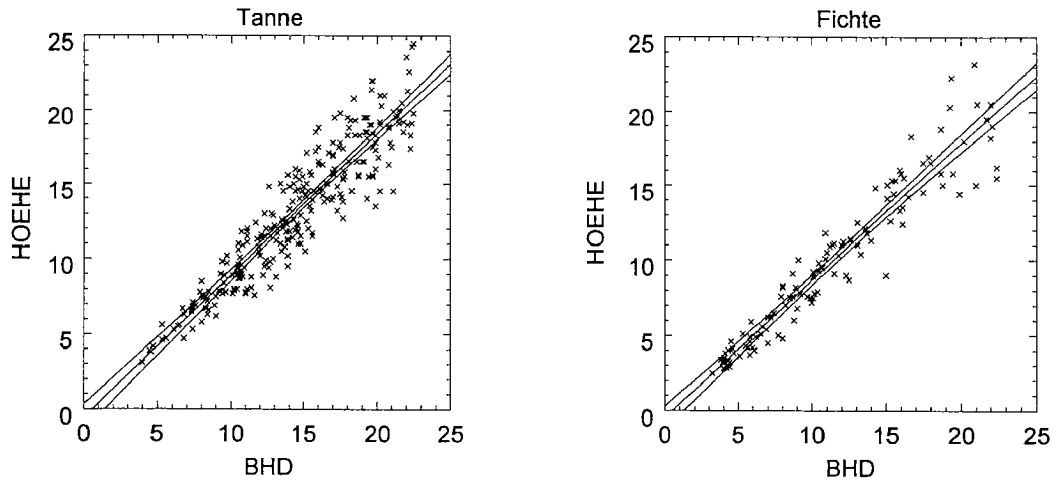


Abb. 6.2-1 a,b: Durchmesser-Höhenkurve von Tanne und Fichte mit Regressionsgerade und Vertrauensintervall des geschätzten Mittelwertes.

Der Schlankheitsgrad streut viel stärker als die Höhe und liegt bei Fichte und Tanne zwischen 60 und 120 (Abb. 6.2-2). Die Anpassungskurve nach LOWESS (gewichtetes Mittel) weist bei beiden im Bereich 15 bis 20 cm BHD ein Maximum auf. Der mittlere Schlankheitsgrad verläuft auf ziemlich konstanter Höhe und ist darum stochastisch nicht vom BHD abhängig.

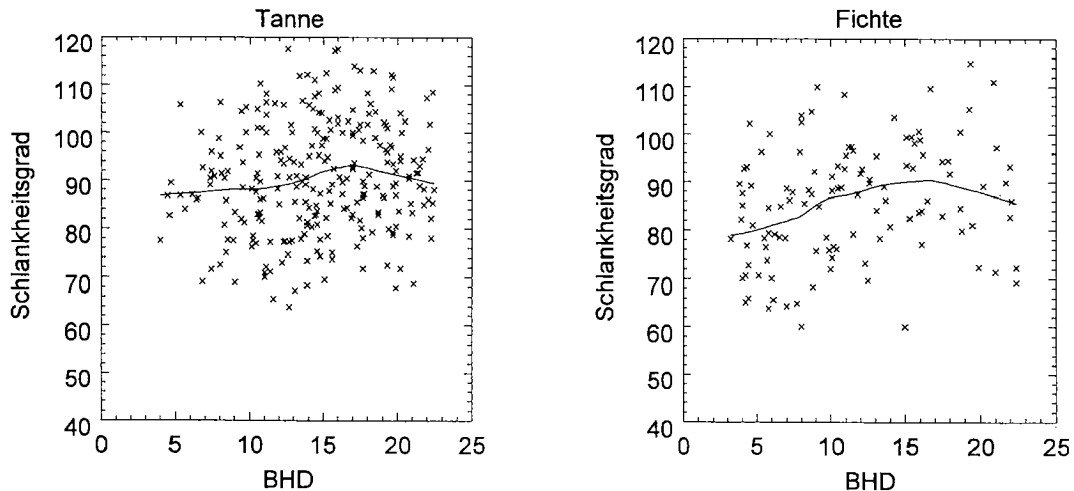


Abb. 6.2-2: Schlankheitsgrad von Tanne und Fichte

6.2.2 Faktoren mit Einfluss auf den Schlankheitsgrad

Mittels logistischer Regression wurde geprüft, welche Faktoren einen Einfluss auf die Ausbildung eines kritischen Schlankheitsgrades (≥ 90) haben. Dazu wurden die Faktoren Baumart, Standort, Beschattung (Grundfläche), Überschildung, seitliche Konkurrenz und BHD-Stufe berücksichtigt.

Die Ergebnisse sind in Tab. A.6.2-1 und Tab. A.6.2-2 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.2-1 zusammengefasst.

Tab. 6.2-1: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf den Schlankheitsgrad.

| | |
|----------------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl Zielvariable | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 392 Beobachtungen Schlankheitsgrad > 90 % |
| geprüfte Effekte | BA, STAO, GFK, SKLA, KKLA, DSTU |
| Signifikante Haupteffekte | seitliche Konkurrenz ***, Standort * |
| Signifikante Einflussvariablen | positiv: KKLA gross***, STAO Na** negativ: KKLA einzel***, klein*, STAO Ss*, Ns(*) |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), grosse (>4 Konk.) Konkurrenz]

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Standort und seitliche Konkurrenz wirken sich auf den Schlankheitsgrad aus, nicht aber Baumart oder BHD-Stufe. Der Schlankheitsgrad der Bäume auf sehr guten Standorten (Na) ist signifikant grösser, jener der Bäume auf geringwüchsigen Standorten (Ns, Ss) kleiner als auf mittleren und guten Standorten. Bäume mit starker Konkurrenz weisen einen signifikant grösseren, Bäume ohne Konkurrenten einen signifikant kleineren Schlankheitsgrad auf. Allerdings ist das logistische Modell insgesamt nicht sehr passend ($p > \chi^2 = 0,0004$).

6.2.3 Einfluss des Standortes

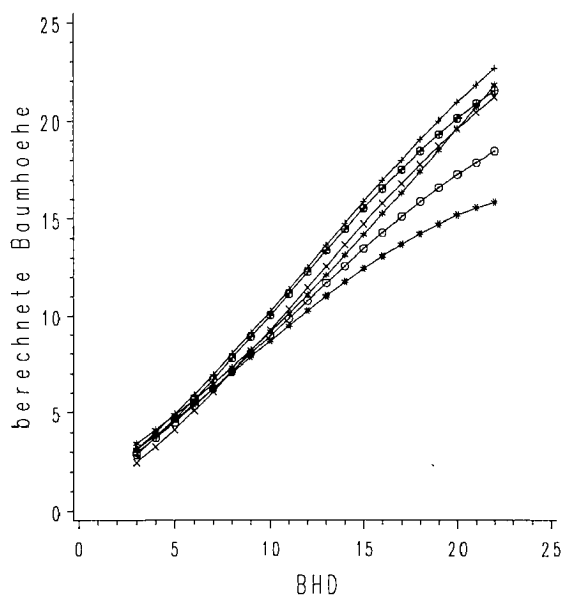
Um den Einfluss des Standortes darstellen zu können, wurde pro Standortseinheit eine Regression von BHD und Höhe berechnet. Da die Baumart keinen Einfluss auf den Schlankheitsgrad hat, wurde die Berechnung für Tanne und Fichte gemeinsam durchgeführt. Um den Einfluss der Konkurrenzklasse zu eliminieren, wurden nur Bäume mit einer mittleren Konkurrenz (1 bis 4 direkte Konkurrenten) für die Berechnung berücksichtigt.

Die Abb. 6.2-3 und Abb. 6.2-4 zeigen, dass die Durchmesser-Höhenkurve auf allen Standorten bis rund 10 cm BHD in einem sehr engen Bereich verläuft. Oberhalb von 10 cm werden die Unterschiede zwischen dem sehr guten (na), den geringwüchsigen (ns/ss) und den übrigen Standorten sichtbar. Die Nachwuchsbäume weisen zwischen 5 und 10 cm BHD einen minimalen Schlankheitsgrad von 90 bis 100 auf. Im Stangenholz nimmt der Schlankheitsgrad auf mittleren und guten Standorten zu und erreicht zwischen 15 und 20 cm BHD sein Maximum. Auf den geringwüchsigen Standorten bleibt er konstant (ss) oder nimmt gar kontinuierlich ab (ns).

6.2.4 Einfluss der seitlichen Konkurrenz

Der Einfluss der seitlichen Konkurrenz auf den Schlankheitsgrad wurde mittels einer Regression zwischen BHD und Höhe pro Konkurrenzklasse berechnet. Für die Berechnung der Höhenkurven wurden nur Nachwuchsbäume von den mittleren bis guten, nordexponierten Standorten verwendet. Das Ergebnis der Berechnungen ist in Abb. 6.2-5 und Abb. 6.2-6 dargestellt.

Bäume mit starker Konkurrenz (> 4 Konkurrenten) weisen bereits ab Dickungsstufe höhere Schlankheitsgrade auf als Bäume mit mittlerer (3 bis 4 Konk.) oder schwacher (1 bis 2 Konk.) Konkurrenz. Im Bereich 10 cm BHD sind die Unterschiede zwischen den drei Klassen gering, danach streben die Kurven auseinander. Der Schlankheitsgrade der mittel bis stark konkurrenziierten Bäume nimmt weiter zu, jener der schwach konkurrenziierten bleibt in etwas konstant und jener der einzeln wachsenden Bäume nimmt ab.

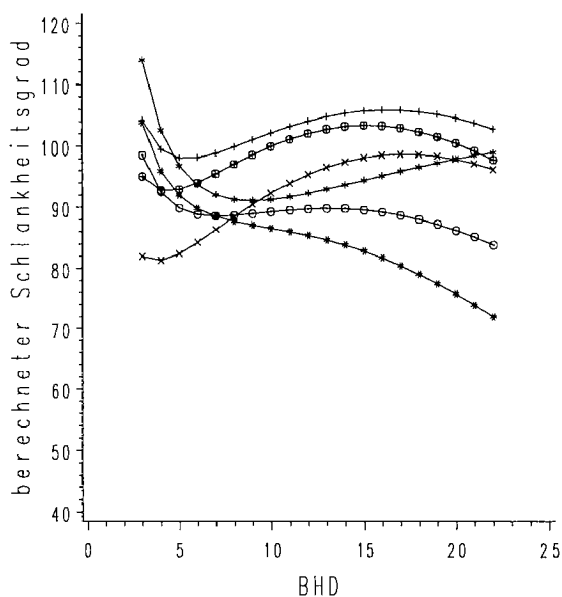


STAO +++ na *** ng *** nm
 *** ns ⊕⊕⊕ sg ⊕⊕⊕ ss

Abb. 6.2-3: Höhenkurve pro Standort.

Legende:

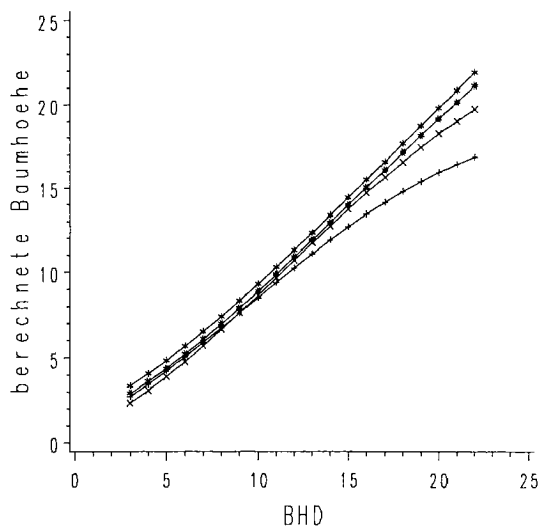
STAO=Standort na= Nord ausgezeichnet ng= Nord gut
 ns= Nord schlecht sg= Süd gut



STAO +++ na *** ng *** nm
 *** ns ⊕⊕⊕ sg ⊕⊕⊕ ss

Abb. 6.2-4: Schlankheitsgrad pro Standort.

ng= Nord gut nm= Nord mittel
 ss= Süd schlecht

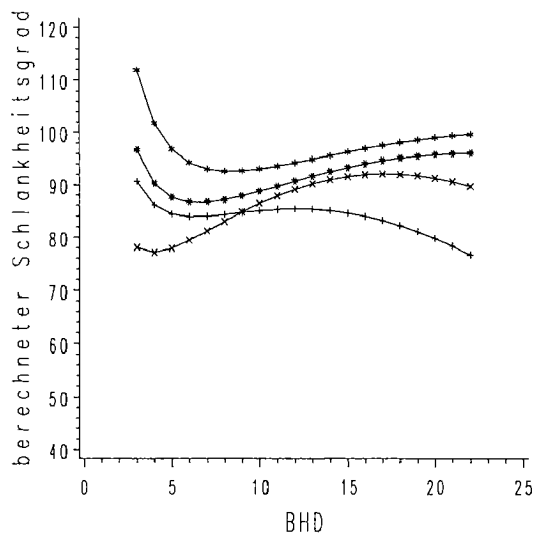


KKLA +++ einzel *** gross
 *** klein *** mittel

Abb. 6.2-5: Höhenkurve pro Konkurrenzklasse

Legende:

einzel= keine Konkurrenten
 mittel= 3 bis 4 Konkurrenten



KKLA +++ einzel *** gross
 *** klein *** mittel

Abb. 6.2-6: Schlankheitsgrad pro Konkurrenzklasse

KKLA= Konkurrenzklasse
 klein= 1 bis 2 Konkurrenten
 gross= mehr als 4 Konkurrenten

Die Modellkurve nach Korsun-Gleichung weist zwar nicht das grösste Bestimmtheitsmass auf, kann aber die charakteristische S-Form der Höhenkurve am besten darstellen. Sie weist bei 1 cm BHD etwas mehr als 1.3 m Höhe auf, verläuft zu Beginn in etwa wie das Modell 1 der linearen Regression und nähert sich ab ca. 7.5 cm BHD der Kurve von Modell 2.

Der Vergleich von Tanne und Fichte (Abb. 6.2-8) zeigt, dass die Höhenkurve der Fichte im Fall der Korsun-Modellkurve etwas tiefer verläuft als jene der Tanne. Entsprechend ist auch der Schlankheitsgrad der Tanne etwas grösser. Die Unterschiede zwischen den beiden Baumarten sind jedoch unbedeutend.

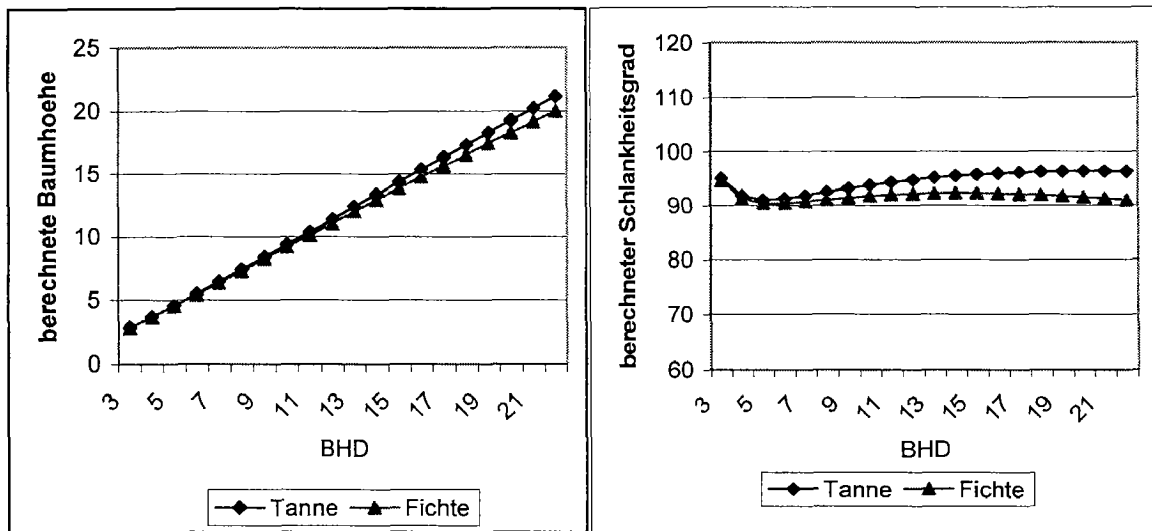


Abb. 6.2-8: Höhenkurve und Schlankheitsgrad von Tanne und Fichte, auf mittleren und guten Standorten.

Zur Überprüfung der Modellkurven, insbesondere des Verlaufs und des Niveaus, wurde an die Einzelbeobachtungen eine Kurve nach der Methode Lowess (gleitender Mittelwert) angepasst. Das Ergebnis (Abb. 6.2-9) bestätigt sowohl den allgemeinen Kurvenverlauf als auch das hohe Niveau der Höhenkurve nach Korsun-Gleichung.

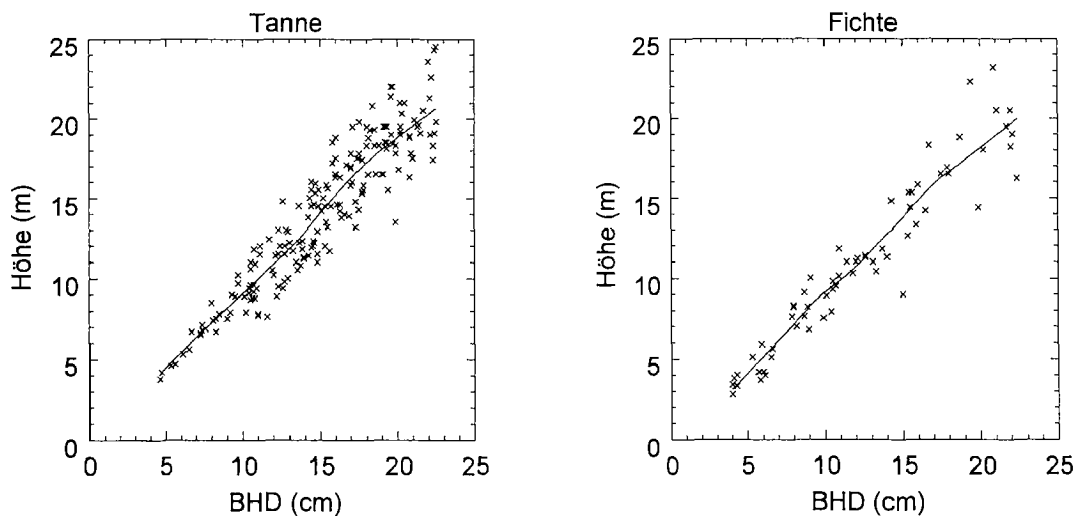


Abb. 6.2-9: Beobachtete Werte und Anpassungskurve nach Methode Lowess für die Ausleseebäume auf mittleren und guten Standorten.

6.3 Kronenkennwerte und Vitalität

6.3.1 Kronenlänge

Die absolute Kronenlänge nimmt mit zunehmendem BHD bei Tanne straff, bei Fichte etwas weniger straff linear zu. Die Streuung der Werte im Bereich 15 bis 22.5 cm BHD ist sehr gross. Die Abb. 6.3-1 weist neben den Einzelwerten eine Anpassungskurve nach der Methode LOWESS (laufender gewichteter Mittelwert) auf.

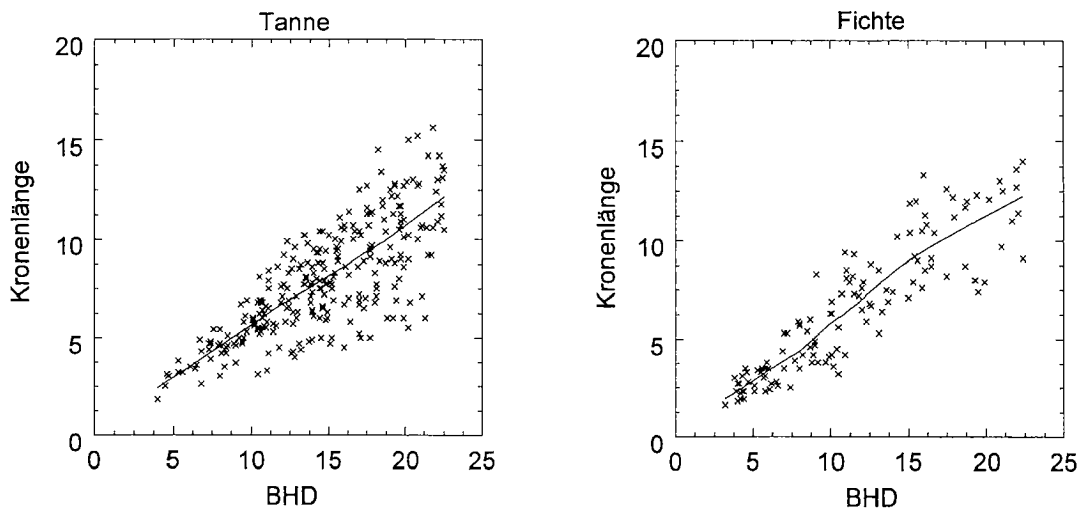


Abb. 6.3-1: Kronenlänge von Tanne und Fichte in Abhängigkeit des BHD.

Die Einzelwerte der relativen Kronenlänge (Kronenlänge/ Baumhöhe) liegen bei beiden Baumarten zwischen 30 und 90 % und nehmen mit zunehmendem BHD leicht ab (Abb. 6.3-2). Der gleitende Mittelwert beträgt bei 5 cm BHD rund 70%, bei 20 cm BHD rund 60 %.

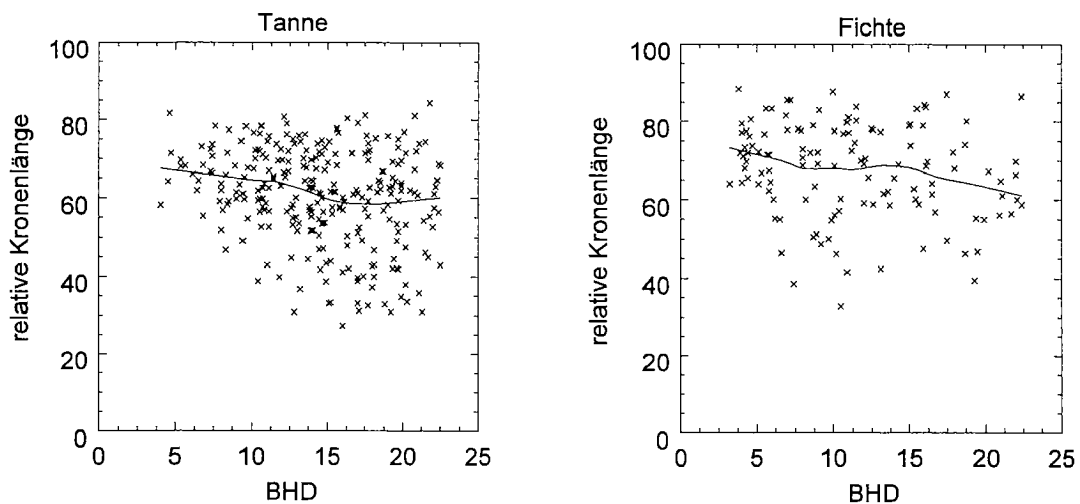


Abb. 6.3-2: Relative Kronenlänge von Tanne und Fichte mit Anpassungskurve

Die relative Kronenlänge kann von den Merkmalen Baumart, Standort, Beschattung, Beschirmung und seitliche Konkurrenz und Baumdimension abhängen. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen Einfluss auf die Bildung einer kleinen relativen Kronenlänge (< 60 %) haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.3-1 und Tab. A.6.3-2 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.3-1 zusammengefasst.

Tab. 6.3-1: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die relative Kronenlänge.

| | |
|-----------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 392 Beobachtungen |
| Zielvariable | relative Kronenlänge < 60 % |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, SKLA, GFK, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | Beschattung (GFK) **, BHD-Stufe ** |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: GFK 40-50 m ² **, starke Konkurrenz*, DSTU S15 **/S20 * negativ: GFK < 20 m ² ***, DSTU S05 *** |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw.. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Einen signifikanten Einfluss auf die relative Kronenlänge haben nur die Grundfläche und die BHD-Stufe. Allerdings ist das logistische Modell nicht sehr geeignet ($p > \text{Chi}^2 = 0,0011$).

In einem zweiten Schritt wurde geprüft, welche Parameter einen Einfluss auf die Ausbildung einer kleinen relativen Licht- bzw. Schattenkronenlänge haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.3-3 und Tab. A.6.3-4 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.3-2 zusammengefasst.

Tab. 6.3-2: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die relative Länge der Licht- und Schattenkrone.

| | |
|-----------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 392 Beobachtungen |
| Zielvariable | relative Länge der Lichtkrone ≥ 40 % der Baumhöhe |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, SKLA, GFK, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | Konkurrenz *, BHD-Stufe *, Baumart (*) |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: keine Konkurrenz*, DSTU S05, Tanne (*) negativ: starke Konkurrenz*, DSTU S15* und S20*, Fichte (*) |
| Zielvariable | relative Länge der Schattenkrone ≥ 20 % der Baumhöhe |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, SKLA, GFK, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart **, Standort (*) |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: Fichte * negativ: Tanne *, STAO=Ss * |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw.. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Konkurrenzklassen und Durchmesserstufe haben auf die relative Lichtkronenlänge einen schwach signifikanten Einfluss. Das logistische Modell ist allerdings nicht sehr geeignet ($p > \text{Chi}^2 = 0,0121$), weshalb auf eine weitere Interpretation verzichtet wird.

Die Fichte weist eine signifikant grössere relative Schattenkronenlänge auf als die Tanne.

Für die folgende Modellierung der Kronen wurden aufgrund dieser Ergebnisse die Baumart, die BHD-Stufe, die Beschattung und die seitliche Konkurrenz berücksichtigt. Da der Einfluss des Standortes nicht ganz ausgeschlossen werden kann, wurde vorgängig mittels der Kovarianz-Analyse geprüft, ob die erwähnten Parameter auf allen Standorten einen signifikanten Beitrag zur Erklärung des Modelles beisteuern. Die Ergebnisse sind in Tab. 6.3-3 zusammengestellt:

Tab. 6.3-3: Variablen mit Einfluss auf die relative Kronenlänge, pro Standortseinheit.

| Standort | n | F | Prob >F | R ² | signifikante Einflussvariablen |
|----------------------|-----|------|---------|----------------|--------------------------------|
| Nord ausgez. | 32 | 0.32 | 0.8933 | 0.06 | keine |
| Nord gut | 169 | 8.54 | 0.0001 | 0.21 | Beschattung, Konkurrenz, BHD |
| Nord mittel | 86 | 4.95 | 0.0005 | 0.24 | Konkurrenz, Beschattung, BHD |
| Nord schlecht | 36 | 9.39 | 0.0001 | 0.61 | Baumart, Beschattung, (BHD) |
| Süd gut | 43 | 1.54 | 0.2206 | 0.27 | (Überschirmung) |
| Süd schlecht | 27 | 5.04 | 0.0013 | 0.41 | Beschattung, Konkurrenz |

Legende:

n= Anzahl

Prob > F= Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

F = F-Wert des F-Tests

R² = Bestimmtheitsmass

Die Einflussvariablen sind nicht auf allen Standorten dieselben. Vergleichbar sind einzig die mittleren und guten Standorte am Nordhang. Sie weisen mit 255 Ausleseebäumen auch eine genügend grosse Stichprobe für verschiedene Auswertungen auf. Die folgenden Auswertungen beschränken sich darum auf diese zwei Standortseinheiten.

Da Prozentwerte für statistische Berechnungen weniger geeignet sind als Absolutwerte, und weil die relativen Kronenkennwerte sehr stark streuen, werden im folgenden Höhenkurven für die Baumhöhe, die Höhe der maximalen Kronenbreite HMKB und die Höhe des untersten grünen Astquirles GAST berechnet. Die berechnete Kronenlänge ergibt sich dann aus der Differenz von berechneter Baumhöhe und berechneter Höhe des untersten grünen Astquirles.

Für die Wahl eines Modelles wurden verschiedene Modellgleichungen überprüft. Es wurde jenes Modell gewählt, welches bei Einhaltung der Voraussetzungen die beste Anpassung an die Punkteschar der Einzelwerte ergab. Die Ergebnisse des Modellvergleichs sind in Tab. 6.3-4 für die Höhe der maximalen Kronenbreite von Tannen auf mittleren bis guten Standorten in Nordexposition aufgelistet. Die insgesamt beste Anpassung ergibt sich mit der Formel von Korsun, welche bereits bei der Berechnung der Durchmesser-Höhenkurve (Kap. 6.1) verwendet wurde.

Tab. 6.3-4: Vergleich der Modelle zur Beschreibung der Beziehung BHD zu HMKB
für die Baumart Tanne auf mittleren bis guten Standorten am Nordhang (n=192).

| Modell | Modellgleichung | F | P > F | R ² | DW | NVP | Prob >W |
|--------------------|--|-------|--------|----------------|------|------|---------|
| linear | HMKB= a + b*D | 356.8 | 0.0001 | 0.65 | 1.72 | 0.98 | 0.211 |
| quadratisch | HMKB=(a+b*D+c*D ²) ² | 222.0 | 0.0001 | 0.69 | 1.75 | 0.98 | 0.138 |
| Korsun | HMKB=exp [a+b*lnD +c*(lnD) ²] +1.3 | 287.5 | 0.0001 | 0.75 | 1.84 | 0.98 | 0.257 |
| Prodan | HMKB= 1,3+D / (a + b*D + c*D ²) | 460.0 | 0.0001 | 0.83 | 1.96 | 0.95 | 0.0001 |

Legende:

F = globaler F-Test

R² = Bestimmtheitsmass

NVP = Normalverteilungsprüfung

HMKB = Höhe der max. Kronenbreite

P > F= Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

DW = Durbin-Watson-Koeffizient

Prob > W=W-Wert des Shapiro-Wilks-Tests

a,b,c = Parameter D = BH Durchmesser

Der Einfluss der Beschattung wurde berechnet für die Baumart Tanne auf mittleren bis guten Standorten am Nordhang. Um den Einfluss der Konkurrenz auszuschliessen, wurden nur Auslesebäume mit kleiner bis mittlerer Konkurrenz (1 bis 4 direkte Konkurrenten) berücksichtigt. Die graphischen Darstellungen (Abb. 6.3-3 und Abb. 6.3-4) zeigen, dass der Einfluss der kumulierten Grundfläche auf die Höhe des untersten Grünastquirls und auf die Höhe der maximalen Kronenbreite sehr ähnlich ist: Auslesebäume mit Grundfläche unter 20 m²/ha weisen kleinere Höhen des untersten Grünastquirls und der maximalen Kronenbreite, solche mit mehr als 50 m²/ha grössere Höhen auf als Auslesebäume mit mittlerer Grundfläche (20 bis 50 m²/ha). Diese unterscheiden sich nicht untereinander.

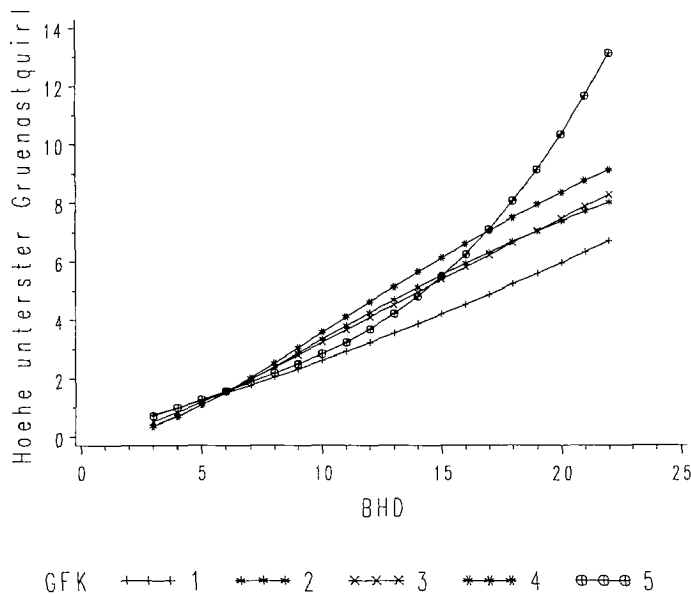


Abb. 6.3-3: Einfluss der Beschattung auf die Höhe des untersten Grünastquirls.

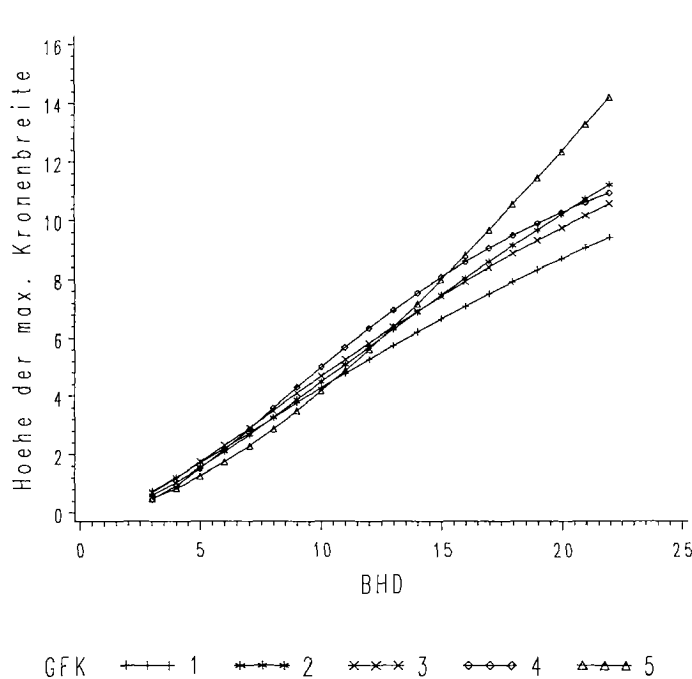
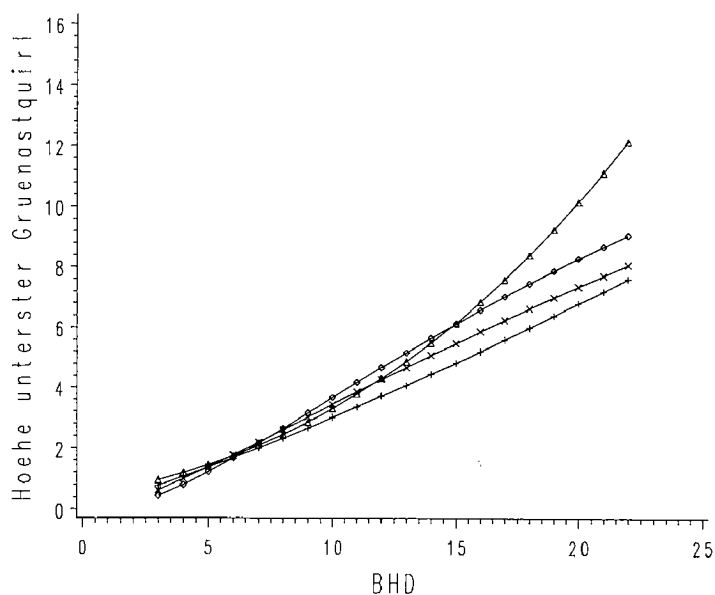


Abb. 6.3-4: Einfluss der Beschattung auf die Höhe der maximalen Kronenbreite.

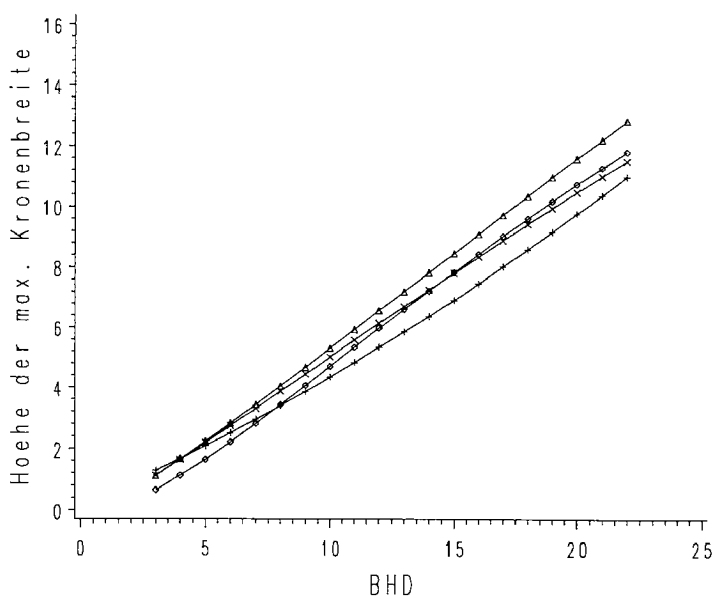
Der Einfluss der seitlichen Konkurrenz wurde berechnet für beide Baumarten auf mittleren bis guten Standorten am Nordhang. Um den Einfluss der Beschattung auszuschliessen, wurden nur Auslesebäume mit mittlerer kummulierter Grundfläche (20 bis 49.9 m²/ha) berücksichtigt. Die graphischen Darstellungen (Abb. 6.3-5 und Abb. 6.3-6) zeigen einen ähnlichen Einfluss der seitlichen Konkurrenz auf die Höhe des untersten Grünastquirles bzw. der maximalen Kronenbreite. Grosse seitliche Konkurrenz bewirkt insbesondere ein Hinaufschieben der grünen Krone, die maximale Kronenbreite unterscheidet sich dagegen nur wenig zwischen den vier Konkurrenzklassen.



Legende:
 KKLA= Konkurrenzklasse
 einzel= kein Konkurrent
 klein = 1 bis 2 Konkurrenten
 mittel = 3 bis 4 Konkurrenten
 gross = 5 bis 6 Konkurrenten

KKLA +--+ einzel ▲-▲-▲ gross *-*-* klein ◊-◊-◊ mittel

Abb. 6.3-5: Einfluss der Konkurrenz auf die Höhe des untersten Grünastquirles.



Legende:
 KKLA= Konkurrenzklasse
 einzel= kein Konkurrent
 klein = 1 bis 2 Konkurrenten
 mittel = 3 bis 4 Konkurrenten
 gross = 5 bis 6 Konkurrenten

KKLA +--+ einzel ▲-▲-▲ gross *-*-* klein ◊-◊-◊ mittel

Abb. 6.3-6: Einfluss der Konkurrenz auf die Höhe der maximalen Kronenbreite.

Der Einfluss der Baumart wurde gerechnet für die mittleren bis guten Standorte am Nordhang. Um den Einfluss der Beschattung und der seitlichen Konkurrenz auszuschliessen, wurden nur Ausleseebäume mit mittlerer kummulierter Grundfläche (20 bis 49.9 m²) und kleiner bis mittlerer Konkurrenz (1 bis 4 Konkurrenten) berücksichtigt. Die berechneten Höhenkurven der Baumhöhe, der maximalen Kronenbreite und der Höhe des untersten Grünastquirles je von Fichte (n= 38) und Tanne (n= 124) sind in Tab. 6.3-5 tabelliert und in Abb. 6.3-7 graphisch dargestellt.

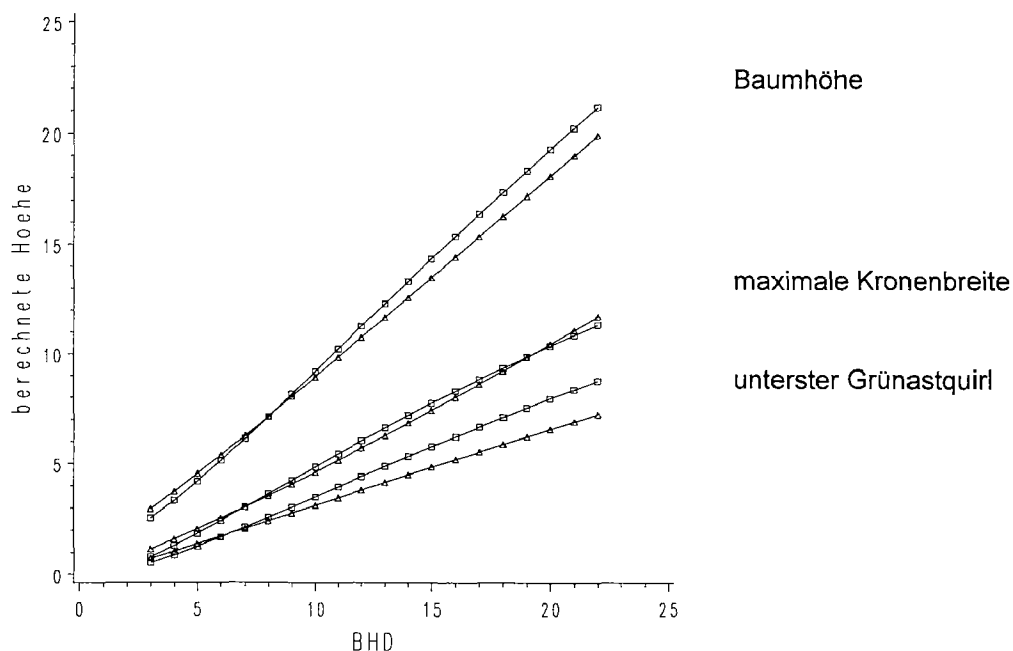


Abb. 6.3-7: Höhenkurven von Baumhöhe, maximaler Kronenbreite und untersten Grünastquirls, je von Fichte und Tanne.

Legende: □ = Tanne Δ = Fichte

Aus den dargestellten Höhenkurven ergeben sich folgende relative Kronenlängen (Abb. 6.3-8):

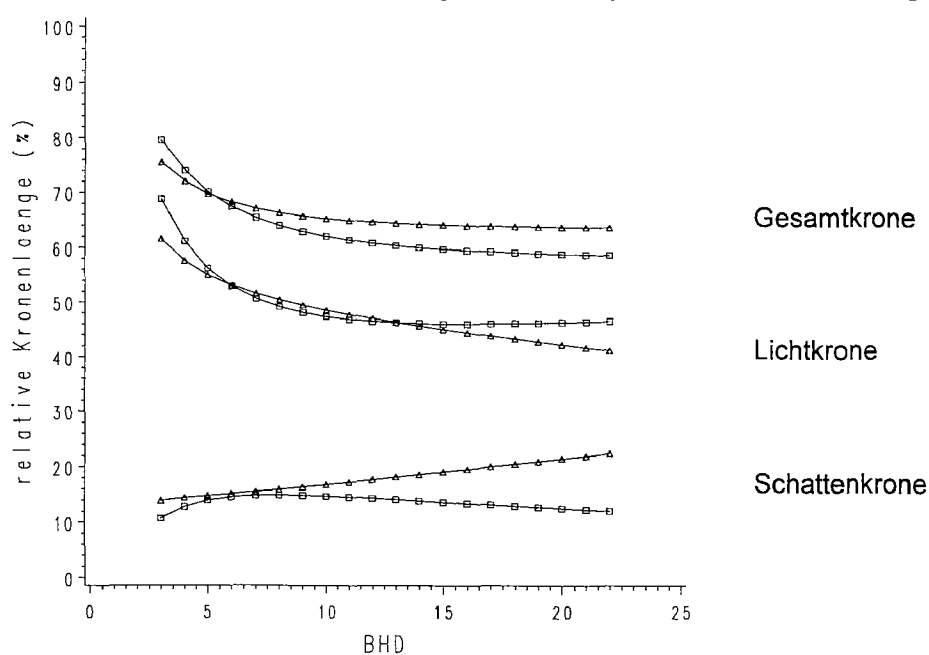


Abb. 6.3-8: Aus den Höhenkurven berechnete relative Kronenlänge der Gesamtkrone, der Licht- und der Schattenkronen, je für Tanne und Fichte.

Legende: □ = Tanne Δ = Fichte

Tab. 6.3-5: Modelle zur Beschreibung der Beziehung zwischen BHD und Baumhöhe, Höhe der maximalen Kronenbreite und Höhe des untersten Grünastquirles.

| Grösse | BA | n | F | Prob>F | R ² | Modellgleichung |
|---------------|----|-----|-------|--------|----------------|---|
| Baumhöhe | TA | 124 | 349.0 | 0.0001 | 0.85 | $H = e^{(-0.86 + 1.55 * \ln \text{BHD} - 0.10 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Baumhöhe | FI | 38 | 286.2 | 0.0001 | 0.95 | $H = e^{(-0.33 + 1.05 * \ln \text{BHD} - 0.01 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Höhe maxim. | TA | 124 | 114.8 | 0.0001 | 0.65 | $H_{KB} = e^{(-2.42 + 2.23 * \ln \text{BHD} - 0.21 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Kronenbreite | FI | 38 | 140.4 | 0.0001 | 0.88 | $H_{KB} = e^{(-1.12 + 1.12 * \ln \text{BHD} - 0.01 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Höhe unterst. | TA | 124 | 63.7 | 0.0001 | 0.51 | $H_{GQ} = e^{(-2.91 + 2.28 * \ln \text{BHD} - 0.21 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Grünastquirl | FI | 38 | 62.8 | 0.0001 | 0.77 | $H_{GQ} = e^{(-1.82 + 1.43 * \ln \text{BHD} - 0.06 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |

Legende:

F = F-Wert des globalen F-Tests

R² = Bestimmtheitsmass

ln = Logarithmus naturalis

Prob>F = Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

e = Eulersche Zahl (2.7183)

Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sowohl in der Baumhöhe als auch in der maximalen Kronenbreite sind nicht signifikant. Hingegen besteht zwischen der Höhe des untersten Grünastquirles im oberen BHD-Bereich (ab 15 cm) ein Unterschied zwischen den Baumarten. Die relative Kronenlänge beträgt im Mittel 50 bis 60 %, die relative Lichtkronenlänge 30 bis 40 % und die relative Schattenkronenlänge 10 bis 25 %. Der grösste Unterschied zwischen Fichte und Tanne besteht in der Entwicklung der Anteile von Licht- und Schattenkrone: bei der Tanne bleibt der Anteil der Lichtkrone mit zunehmendem BHD konstant, bei der Fichte nimmt er ab. Umgekehrt verhält sich der Anteil der Schattenkrone. Um diesen auf der Berechnung von Modellkurven beruhenden Befund zu überprüfen, wurde der Anteil der Lichtkrone an der Gesamtkrone (= Lichtkronenanteil) pro BHD-Stufe berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 6.3-6 tabelliert.

Tab. 6.3-6: Statistische Kennwerte des Lichtkronenanteils pro Baumart und BHD-Stufe.

| DSTU | BA | n | MW | Std.Err | NVP | P>W | Q1 | MED | Q3 | U-Test |
|------|----|----|------|---------|------|------|------|------|------|------------|
| 5 | FI | 10 | 77.7 | 3.3 | 0.93 | 0.46 | 75.0 | 77.8 | 81.5 | Z = -0.163 |
| 5 | TA | 6 | 75.8 | 7.4 | 0.93 | 0.55 | 60.5 | 78.7 | 88.5 | P = 0.871 |
| 10 | FI | 13 | 78.0 | 3.4 | 0.96 | 0.69 | 68.3 | 80.0 | 87.2 | Z = 0.841 |
| 10 | TA | 28 | 74.0 | 2.1 | 0.95 | 0.26 | 67.8 | 73.4 | 82.1 | P = 0.401 |
| 15 | FI | 10 | 69.2 | 3.1 | 0.91 | 0.25 | 57.7 | 70.0 | 78.4 | Z = -1.801 |
| 15 | TA | 53 | 77.3 | 1.7 | 0.95 | 0.04 | 69.8 | 76.6 | 88.4 | P = 0.076 |
| 20 | FI | 9 | 73.4 | 4.3 | 0.95 | 0.65 | 64.0 | 68.8 | 80.5 | Z = -1.137 |
| 20 | TA | 43 | 77.4 | 1.4 | 0.97 | 0.42 | 69.9 | 78.1 | 84.4 | P = 0.256 |

Legende:

n = Anzahl Werte MW= Mittelwert

NVP= Normalverteilungsprüfung

Q1= 1. Quartil (25%-Wert)

Z = Z-Testwert Wilcoxon-Zweistichproben-Test

STD.Err. = Standardfehler des Mittelwertes

P>W= Wahrscheinlichkeit für Normalverteilung

MED= Median (50%-Wert) Q3= 3. Quartil

P= Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

Die Messwerte bestätigen im Grossen und Ganzen die in Abb. 6.3-7 dargestellten Befunde. Einzig bei den kleinen Durchmessern (BHD-Stufe 5) verhalten sich sowohl Tanne als auch Fichte anders als im Modell. Wegen der beschränkten Zahl von Messwerten sind die Aussagen in diesem BHD-Bereich weniger genau als im oberen Durchmesserbereich. Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sind wegen der zu geringen Zahl von Messwerten nicht signifikant.

6.3.2 Kronenschirmfläche

Die absolute Kronenschirmfläche verläuft im Bereich des Nachwuchses sowohl bei Tanne als auch bei Fichte annähernd linear. Die Tanne weist entsprechend ihrer grösseren Kronenausladung eine um rund ein Drittel höhere Schirmfläche auf als die Fichte. Die Streuung der Einzelwerte steigt bei beiden Baumarten mit zunehmendem BHD (Abb. 6.3-9).

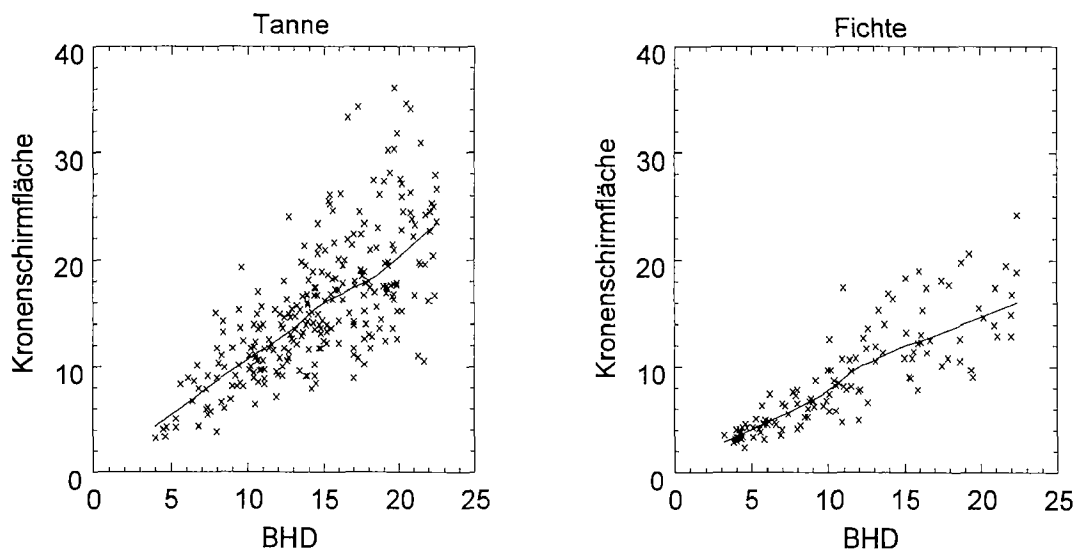


Abb. 6.3-9 a,b: Kronenschirmfläche bei Tanne und Fichte.

Die relative Kronenschirmfläche [= $100 \cdot \text{Kronenschirmfläche (m}^2) / \text{BHD (cm)}$] ist bei Tanne vollständig, bei Fichte mehr oder weniger unabhängig vom BHD. Die relative Kronenschirmfläche beträgt bei Fichte zwischen 50 und 150, bei Tanne zwischen 50 und 200 (Abb. 6.3-10).

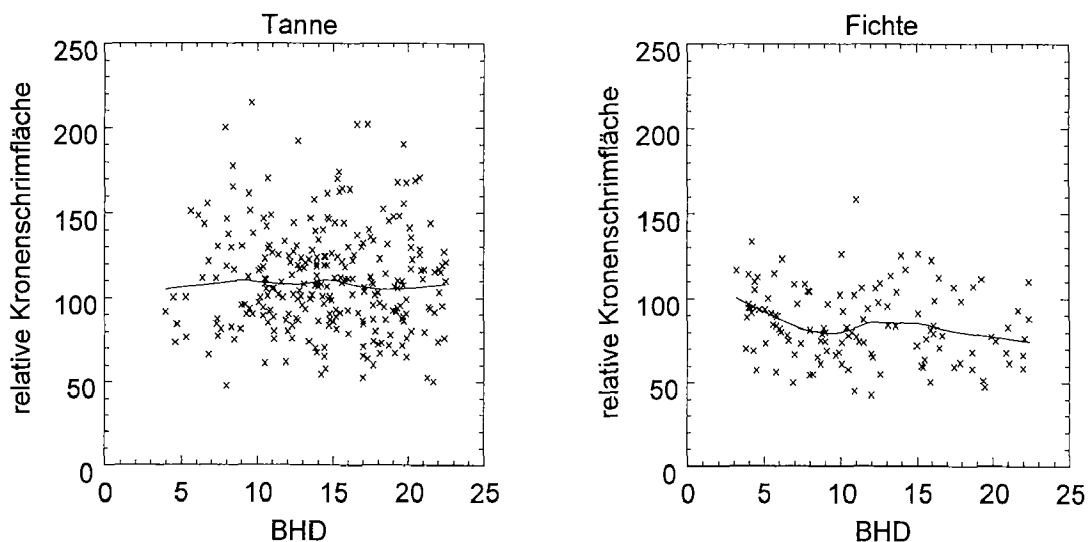


Abb. 6.3-10: Relative Kronenschirmfläche bei Tanne und Fichte.

Als Einflussfaktoren auf die relative Kronenschirmfläche wurde die Baumart, der Standort, die Beschattung, Beschirmung und seitliche Konkurrenz und der Durchmesser vermutet. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen Einfluss auf die Bildung einer kleinen relativen Kronenschirmfläche (< 80) haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.3-5 und Tab. A.6.3-6 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.3-7 zusammengefasst.

Tab. 6.3-7: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf die relative Kronenschirmfläche.

| | |
|-----------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 392 Beobachtungen |
| Zielvariable | relative Kronenschirmfläche < 80 |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, SKLA, GFK, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart ***, seitliche Konkurrenz *** |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: Fichte ***, STAO=Nm *, grosse Konkurrenz *** negativ: Tanne ***, keine *** und kleine * Konkurrenz, DSTU S15 * |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Die Baumart und die seitliche Konkurrenz weisen einen hochsignifikanten Einfluss auf, alle andern Faktoren sind unbedeutend.

Als Modell zur Beschreibung der Beziehung zwischen BHD und Kronenschirmfläche wurde eine quadratische Regression mit Wurzeltransformation der Zielvariablen KSFL verwendet. Es wurde je ein Modell mit der Anzahl potentieller und der Anzahl effektiver Kandidaten vor dem Pflegeeingriff berechnet und miteinander verglichen (Tab. 6.3-8, ohne FNR 14).

Tab. 6.3-8: Modell zur Beschreibung der Beziehung von BHD und Schirmfläche, pro BA.

| Baumart | Modellgleichung | n | F | P > F | R ² | DW | NVP | P > W |
|---------|------------------------------------|-----|-------|--------|----------------|------|------|-------|
| Fichte | KSFL= (a+ b*D + c*D2 + d*AKOPV)**2 | 95 | 112.5 | 0.0001 | 0.78 | 1.97 | 0.97 | 0.189 |
| Tanne | KSFL= (a+ b*D + c*D2 + d*AKOPV)**2 | 261 | 148.5 | 0.0001 | 0.63 | 1.81 | 0.98 | 0.067 |
| Fichte | KSFL= (a+ b*D + c*D2 + d*AKORV)**2 | 95 | 118.7 | 0.0001 | 0.79 | 1.77 | 0.98 | 0.628 |
| Tanne | KSFL= (a+ b*D + c*D2 + d*AKORV)**2 | 261 | 133.0 | 0.0001 | 0.60 | 1.62 | 0.98 | 0.249 |

Legende:

F = globaler F-Test P > F= Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit
 R² = Bestimmtheitsmass DW = Durbin-Watson-Koeffizient
 NVP= Normalverteilungsprüfung P > W=W-Wert des Shapiro-Wilks-Tests
 HMKB = Höhe der max. Kronenbreite a,b,c,d = Parameter D = BH Durchmesser
 AKOPV = Anzahl potentieller Konkurrenten AKORV = Anzahl effektiver Konkurrenten

Die Berechnung mit der effektiven Anzahl Konkurrenten ergibt bei Tanne ein etwas kleineres Bestimmtheitsmass. Da die Residuen aber wesentlich besser normalverteilt sind als beim ersten Modell, wird ihm der Vorzug gegeben. Die berechneten Modellgleichungen lauten :

Fichte: $KSFL = (1.2232 + 0.2455 \cdot BHD - 0.0050 \cdot BHD^2 - 0.1310 \cdot AKORV)^{**2}$

Tanne: $KSFL = (1.5667 + 0.2328 \cdot BHD - 0.0031 \cdot BHD^2 - 0.1483 \cdot AKORV)^{**2}$

Graphisch lassen sich die Ergebnisse wie folgt darstellen (Abb. 6.3-11):

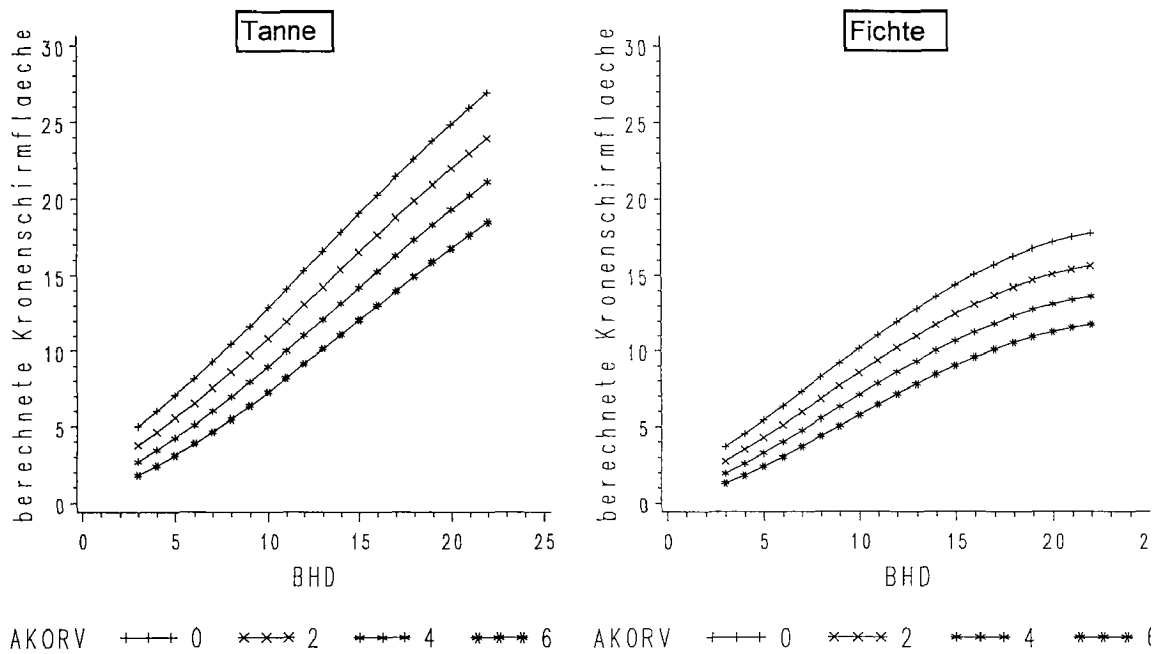


Abb. 6.3-11 a,b: Kronenschirmfläche von Tanne und Fichte in Abhängigkeit der seitlichen Konkurrenz (ausgedrückt durch die Anzahl realer Konkurrenten vor dem Eingriff).

6.3.3 Lichtkronenindex als Ausdruck der vertikalen Kronenform

Der Lichtkronenindex ist das Verhältnis der Lichtkronenlänge zur Kronenbreite (vgl. Kap. 3.5.2). Er kann als Ausdruck einer längerdauernden Wuchsentwicklung verstanden werden. Mit Hilfe des Lichtkronenindexes wurden die vier Kronentypen "Spitzkrone", "Langkrone", "Kurzkrone" und "Stumpfkrone" definiert (vgl. Kap. 8.3.3).

Die Einflussfaktoren auf die Ausbildung einer Spitzkrone wurden mittels logistischer Regression berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. A.6.3-7 und Tab. A.6.3-8 im Anhang dargestellt und in Tab. 6.3-9 zusammengefasst. Neben der BHD-Stufe hat die seitliche Konkurrenz, die Baumart und (auf dem 90%-Niveau) die Beschattung einen Einfluss auf die Ausbildung einer Spitzkrone. Grosse Bäume, Fichten, Bäume mit mittlerer Konkurrenz und solche mit geringer Beschattung weisen signifikant häufiger Spitzkronen auf als die andern Klassen.

Tab. 6.3-9: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Kronenform.

| | |
|----------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 387 Beobachtungen |
| Zielvariable | Spitzkrone (Lichtkrone 50 % länger als Kronenbreite) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, SKLA, GFK, KKLA |
| Signifikante Effekte | BHD-Stufe ***, Konkurrenz **, Baumart *, Beschattung (*) |
| Signifik. Variablen | positiv: DSTU S15**, DSTU S20***, KKLA=mittel**, GFK 0-20m ² *, Fichte* negativ: DSTU S05***, GFK>50 m ² *, KKLA=einzel(*), STAO=Ng*, Tanne* |

Legende:

- BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
- STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
- SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
- GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²)
- KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
- + = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
- = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw.. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Fast 80% der Auslesebäume weisen eine Lichtkrone auf, die länger ist als breit (Tab. 6.3-10). In der Stufe 5 dominieren noch kurzkrönige Bäume, in Stufe 10 langkrönige und in den Stufen 15 und

20 spitzkronige Bäume. Fichten und Tannen unterscheiden sich insgesamt nicht gross, innerhalb derselben BHD-Stufe weisen aber die Fichten ab BHD-Stufe 10 einen grösseren Anteil an spitz- und langkronigen Bäumen auf als die Tannen. Ausgesprochene Stumpfkronen, welche ein schirmartiges Aussehen aufweisen (vgl. Abb. 8.3-1), kommen bei den Ausleseebäumen nur selten vor (3%). Eine Überprüfung dieser Fälle ergab, dass es sich dabei nicht um Bäume mit ehemaligen Wipfelbrüchen handelt, sondern um unterschiedlich stark konkurrenzierte Bäume mit verschieden starker Überschirmung bzw. Beschattung.

Tab. 6.3-10: Verteilung der Ausleseebäume auf Kronentypen (n = 391)

| Kronentyp | | Spitzkrone | | Langkrone | | Kurzkrone | | Stumpfkrone | |
|------------|---------|----------------|----|------------------------|----|-------------------------|----|--------------|----|
| Definition | | LKI ≥ 1.5 | | 1.0 \leq LKI < 1.5 | | 0.67 \leq LKI < 1.0 | | LKI < 0.67 | |
| Stufe | Baumart | n | % | n | % | n | % | n | % |
| 5 | Fichte | 2 | 6 | 12 | 33 | 16 | 44 | 6 | 17 |
| 5 | Tanne | 1 | 6 | 7 | 39 | 10 | 56 | 0 | 0 |
| 10 | Fichte | 15 | 38 | 16 | 41 | 8 | 21 | 0 | 0 |
| 10 | Tanne | 8 | 11 | 43 | 61 | 16 | 23 | 4 | 6 |
| 15 | Fichte | 13 | 50 | 11 | 42 | 2 | 8 | 0 | 0 |
| 15 | Tanne | 31 | 31 | 47 | 47 | 19 | 19 | 2 | 2 |
| 20 | Fichte | 14 | 67 | 7 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | Tanne | 43 | 53 | 35 | 43 | 3 | 4 | 0 | 0 |
| 5-20 | Fichte | 44 | 36 | 46 | 38 | 26 | 21 | 6 | 5 |
| 5-20 | Tanne | 83 | 31 | 132 | 49 | 48 | 18 | 6 | 2 |

Legende:

LKI = Lichtkronenindex = Lichtkronenlänge / Kronenbreite.

6.3.4 Kronensymmetrie als Ausdruck der horizontalen Kronenform

Neben der vertikalen interessiert auch die horizontale Kronenform, da sie ein Ausdruck der bis dahin herrschenden Konkurrenzbedingungen ist. Seitlich unbedrängte Bäume entwickeln auf alle Seiten hin ähnlich lange Äste, ein- oder mehrseitig konkurrenzierte Bäume dagegen weisen meist asymmetrische Kronen auf, weil sie sich nicht in alle Richtungen ungehindert ausbreiten können. Als Mass für die Kronensymmetrie dient die prozentuale Abweichung des kürzesten vom längsten Kronenradius, welche alle möglichen Fälle von Asymmetrie aufdeckt. Für die Interpretation der Auswertung legen wir fest, dass Abweichungen des kleinsten vom grössten Kronenradius bis 20% immer noch als symmetrisch, Abweichungen zwischen 20 und 39% als schwach asymmetrisch, solche von 40 bis 59% als asymmetrisch und Abweichungen von 60% oder mehr als stark asymmetrisch gelten. Mit dieser Einteilung weisen 70 von 122 Fichten (57%) und 155 von 271 Tannen (57%) eine symmetrische bis schwach asymmetrische Krone auf, konnten sich also in der Vergangenheit relativ unbedrängt entwickeln (Tab. 6.3-11). Je 43% weisen asymmetrische oder stark asymmetrische Kronen auf, was auf eine mehr oder weniger starke seitliche Bedrängung in der Vergangenheit hinweist.

Tab. 6.3-11: Verteilung der Ausleseebäume auf Kronensymmetrieindex-Klassen.

| | Fichte | | | | | Tanne | | | | |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | S05 | S10 | S15 | S20 | Total | S05 | S10 | S15 | S20 | Total |
| < 20% | 9 | 3 | 3 | 2 | 17 | 0 | 7 | 8 | 3 | 18 |
| 20-39% | 15 | 16 | 13 | 9 | 53 | 10 | 39 | 49 | 39 | 137 |
| 40-59% | 10 | 14 | 6 | 10 | 40 | 6 | 19 | 23 | 18 | 66 |
| $\geq 60\%$ | 2 | 6 | 4 | 0 | 12 | 2 | 6 | 19 | 23 | 50 |
| Total | 36 | 39 | 26 | 21 | 122 | 18 | 71 | 99 | 83 | 271 |

6.3.5 Entwicklungstendenz

Die Entwicklungstendenz entspricht dem Längenverhältnis von Endtrieb und Seitentrieben des obersten Quirls; sie kann als Ausdruck der momentanen Wuchskraft (Vitalität) von Bäumen verstanden werden. Die Ausleseebäume verteilen sich wie folgt auf die drei definierten Klassen (Tab. 6.3-12):

Tab. 6.3-12: Verteilung der Ausleseebäume auf Vitalitäts-Klassen (n = 387)

| Vitalitätsklasse | | vorwachsend | | mitwachsend | | zurückbleibend | |
|------------------|---------|-------------|----|-------------|----|----------------|----|
| Definition | | ETL > STL | | ETL ≈ STL | | ETL < STL | |
| Stufe | Baumart | n | % | n | % | n | % |
| 5 | Fichte | 23 | 64 | 7 | 19 | 6 | 17 |
| 5 | Tanne | 7 | 39 | 6 | 33 | 5 | 28 |
| 10 | Fichte | 27 | 69 | 4 | 10 | 8 | 21 |
| 10 | Tanne | 45 | 64 | 17 | 24 | 8 | 11 |
| 15 | Fichte | 20 | 77 | 4 | 15 | 2 | 8 |
| 15 | Tanne | 71 | 72 | 22 | 22 | 5 | 5 |
| 20 | Fichte | 19 | 90 | 2 | 10 | 0 | 0 |
| 20 | Tanne | 69 | 87 | 8 | 10 | 2 | 3 |
| 5-20 | Fichte | 89 | 73 | 17 | 14 | 16 | 13 |
| 5-20 | Tanne | 192 | 72 | 53 | 20 | 20 | 8 |

Legende:

ETL = Länge des Endtriebes STL = mittlere Länge der obersten Seitentriebe

Es ist eine deutliche Zunahme des Anteils vorwachsender Ausleseebäume mit Zunahme des BHD feststellbar. Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sind nicht signifikant, ausser in der BHD-Stufe 5.

Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von den Einflussfaktoren sich auf die Bildung eines Triblängenquotienten über 1 auswirken. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.3-9 und Tab. A.6.3-10 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.3-13 zusammengefasst. Neben der BHD-Stufe (hochsignifikant) weisen nur noch die Beschattung und der Standort einen schwach signifikanten Einfluss auf.

Tab. 6.3-13: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf den Triblängenquotient TLQ.

| | |
|-----------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 387 Beobachtungen |
| Zielvariable | TLQ = 3 (Endtrieb > längster Seitentrieb) |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, SKLA, GFK, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe ***, Beschattung *, Standort (*) |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: DSTU S20 ***, GFK 30-40m ² * negativ: DSTU S05 **, GFK > 50 m ² *, STAO=Nm * |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

6.4 Schaftmerkmale und Qualität

6.4.1 Geradschaftigkeit

Die Ausleseebäume sind zu 87 % gerade und nur zu rund 1 % schief (einschnüurig). Rund 12% aller Ausleseebäume weisen einen krummen Stammfuss (Säbelwuchs) auf; ieser Anteil ist bei Tanne wesentlich grösser als bei Fichte (Tab. 6.4-1).

Tab. 6.4-1: Verteilung der Ausleseebäume auf Klassen unterschiedl. Geradschaftigkeit.

| Klasse | Tanne | | Fichte | | Total | |
|------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | n | % | n | % | n | % |
| gerade (zweischnüurig) | 226 | 83.4 | 116 | 95.8 | 342 | 87.0 |
| schief (einschnüurig) | 4 | 1.5 | 1 | 0.8 | 5 | 1.3 |
| krummer Stammfuss | 41 | 15.1 | 5 | 4.1 | 46 | 11.7 |
| Total | 271 | 100.0 | 122 | 100.0 | 393 | 100.0 |

6.4.2 Schaftform

Der BHD-Quotient (grösserer geteilt durch kleinerer BHD, vgl. Kap. 3.5.4) liegt meist unter 105, mit Einzelwerten bis über 110. Der grössere BHD kann also im untersuchten BHD-Bereich bis zu 10 % über dem Kleineren liegen. Zwischen den Baumarten besteht kein Unterschied (Abb. 6.4-1).

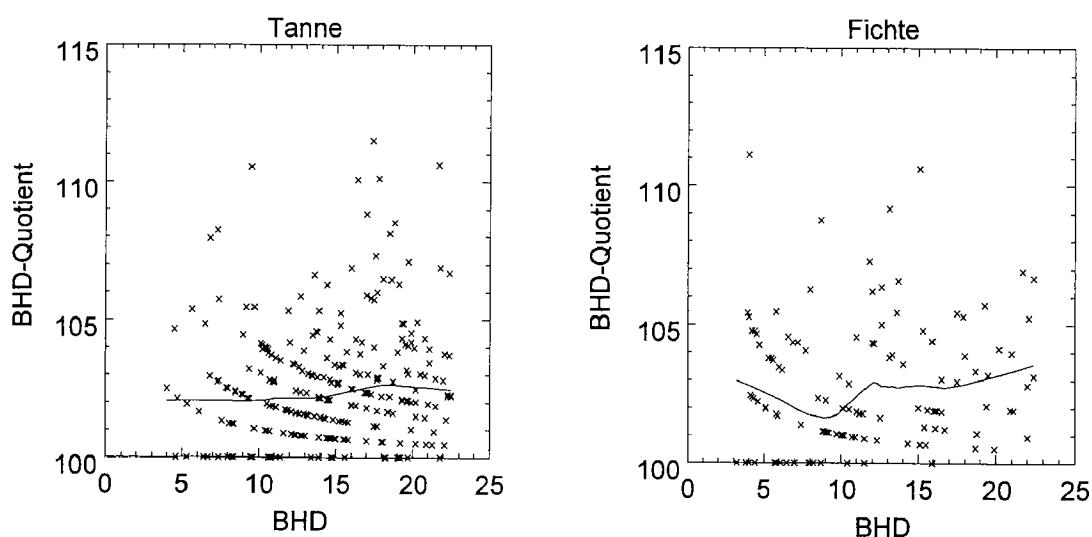


Abb. 6.4-1: BHD-Quotient bei Tanne und Fichte.

Als Einflussfaktoren auf den BHD-Quotienten wurde neben Baumart, Standort, Beschattung, Beschirmung, seitlicher Konkurrenz und Durchmesser die Hangneigung und das Verhältnis der Kronenradien in Nord-Süd- oder in West-Ost-Richtung vermutet. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen Einfluss auf die Bildung eines ovalen Schaftquerschnittes (BHD-Quotient > 104 %) haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.4-1 und A.6.4-2 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.4-2 zusammengefasst.

Auf 95%-Niveau haben die BHD-Stufe und der Kronenquotient in Nord-Süd-Richtung einen Einfluss, auf 90%-Niveau zusätzlich die seitliche Konkurrenz. Der Kronenquotient in West-Ost-Richtung wurde ebenfalls getestet, hatte aber keinen Einfluss auf den BHD-Quotienten.

Bäume mit grosser seitlicher Konkurrenz oder mit asymmetrischer Krone (Kronenradius Süd > Kronenradius Nord) weisen signifikant häufiger, Bäume mit mittlerer Konkurrenz oder mit symmetrischer Krone (Kronenradius Süd = Kronenradius Nord) signifikant seltener einen ovalen Schaftquerschnitt auf.

Tab. 6.4-2: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf den BHD-Quotienten.

| | |
|-----------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 391 Beobachtungen |
| Zielvariable | BHD-Quotient > 104 % (ovaler Schaftquerschnitt) |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA, HNKLA, KROSYM |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe *, Kronenquotient-Klasse *, Konkurrenz(*) |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: KRQKLA 3 **, starke Konkurrenz * negativ: DSTU S10 **, KRQKLA 2 *, mittlere Konkurrenz * |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]

HNKLA= Hangneigungs-Klasse (< 20 %, 20-39%, 40-59%, $\geq 60\%$)

KROSYM= Kronensymmetrie (Verhältnis der Kronenausladung in Süd- und Nordrichtung,

(3 Klassen: 1 = Kalsüd > Kalnord; 2 = Kalsüd \approx Kalnord; 3 = Kalsüd < Kalnord)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

6.4.3 Astigkeit

6.4.3.1 Dürrestbereich

Die absolute Länge des Dürrestbereichs, d.h. der Schaftlänge mit Dürrrästen, nimmt mit zunehmendem BHD bei Tanne linear, bei Fichte annähernd quadratisch zu. Der Schaft der Bäume mit 0 bis 7,4 cm BHD weist mehrheitlich auf weniger als 3 m Dürrräste auf. Oberhalb von rund 15 cm BHD streut die Länge des Dürrestbereichs deutlich stärker zwischen 0 und 10 m (Abb. 6.4-2).

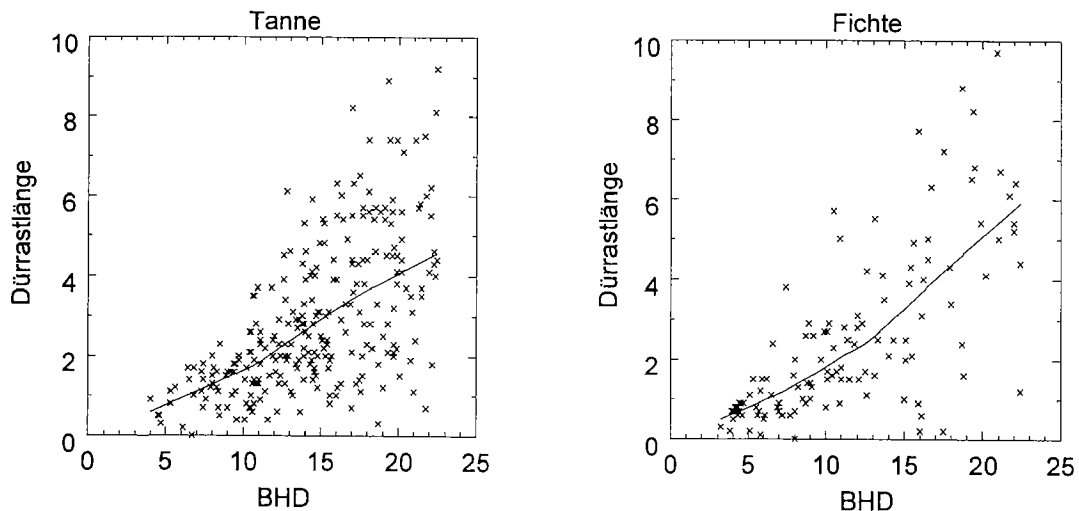


Abb. 6.4-2: Länge des Dürrestbereichs von Tanne und Fichte in Abhängigkeit des BHD.

Die relative Länge des Dürrastbereichs, d.h. die Länge des Dürrastbereichs im Verhältnis zur Baumhöhe, bewegt sich bei Tanne im Mittel um 20 %, bei Fichte zwischen 20 und 30 %; sie weist nur eine schwache Abhängigkeit vom BHD auf (Abb. 6.4-3).

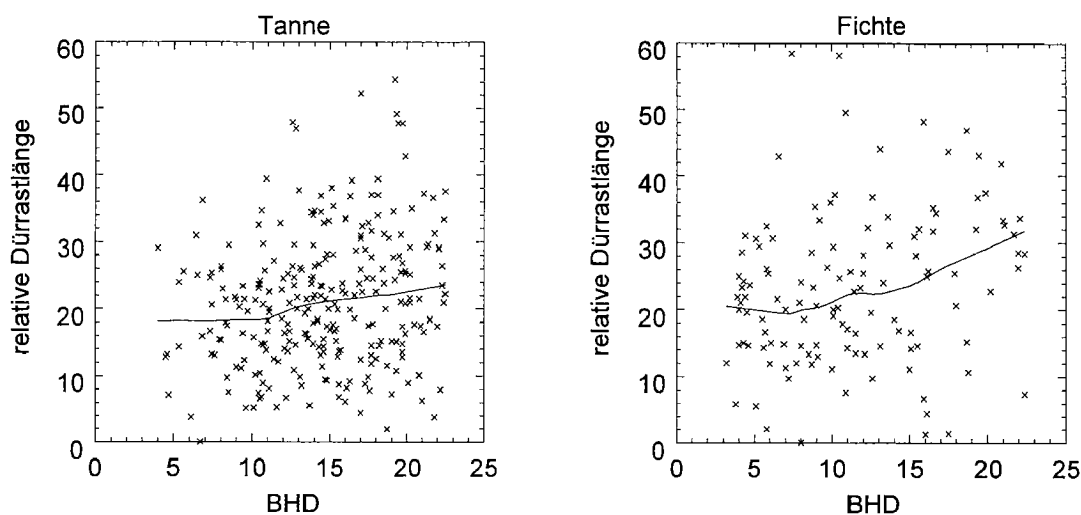


Abb. 6.4-3: Relative Länge des Dürrastbereichs von Tanne und Fichte

Als Einflussfaktoren auf die relative Länge des Dürrastbereichs wurde die Baumart, der Standort, die Beschattung, Beschirmung und seitliche Konkurrenz und der Durchmesser vermutet. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen Einfluss auf die Bildung einer grossen relativen Länge des Dürrastbereichs (> 25 %) haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.4-3 und A.6.4-4 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 6.4-3 zusammengefasst.

Tab. 6.4-3: Prüfung des Einflusses auf die relative Länge des Dürrastbereiches.

| | |
|-----------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 391 Beobachtungen |
| Zielvariable | Grosse relative Länge des Dürrastbereiches (> 25 %) |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe ***, Konkurrenz **, Baumart ** |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: starke Konkurrenz **, DSTU S20 **, Fichte ** negativ: keine Konkurrenz ***, DSTU S10 **, Tanne ** |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Einen signifikanten Einfluss auf die relative Länge des Dürrastbereichs haben die Baumart, die Konkurrenz und die BHD-Stufe. Allerdings ist das logistische Modell nicht sehr passend ($p > \text{Chi}^2 = 0,0181$), weshalb auf eine weitere Interpretation verzichtet wurde.

6.4.3.2 Astfreie Schaftlänge

Die astfreie Schaftlänge nimmt mit zunehmendem BHD zu. Sie liegt bei Tanne vorwiegend zwischen 1 und 4 m Höhe, bei Fichte zwischen 0 und 2 m. Die Streuung der Einzelwerte ist bei Tanne im Bereich von 12.5 bis 22.5 cm sehr gross, bei Fichte mit einer Ausnahme erstaunlich klein (Abb. 6.4-4).

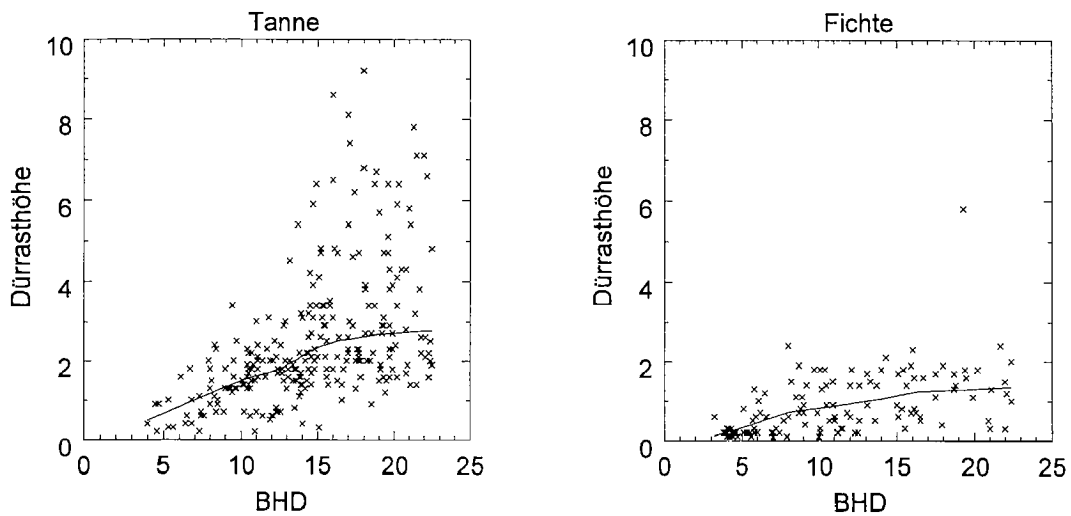


Abb. 6.4-4: Astfreie Schaftlänge bei Tanne und Fichte.

Die relative Länge des astfreien Schaftes (astfreie Schaftlänge im Verhältnis zur Baumhöhe) bewegt sich bei Tanne im Mittel um 15 %, bei Fichte zwischen 5 und 10 % und weist nur eine schwache Abhängigkeit vom BHD (und damit auch von der Baumhöhe) auf (Abb. 6.4-5).

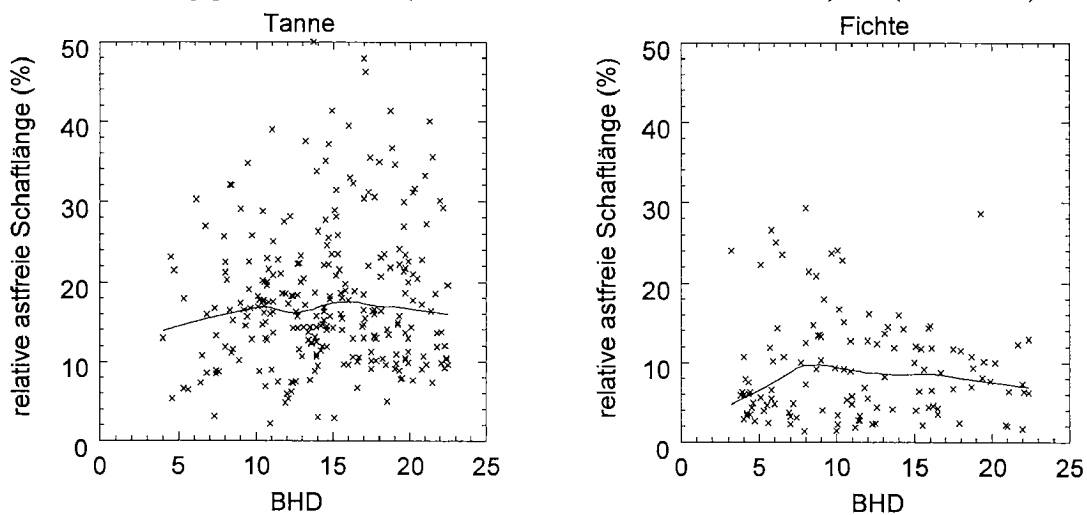


Abb. 6.4-5: Relative astfreie Schaftlänge von Tanne und Fichte in Abhängigkeit des BHD.

Als Einflussfaktoren auf die relative astfreie Schaftlänge wurde die Baumart, der Standort, die Beschattung, Beschirmung und seitliche Konkurrenz und der Durchmesser vermutet. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen Einfluss auf die Bildung eines langen astfreien Schaftes ($> 15\%$ der Baumhöhe) haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.6.4-5 und A.6.4-6 im Anhang dargestellt und in Tab. 6.4-4 zusammengefasst.

Einen signifikanten Einfluss auf die relative astfreie Schaftlänge haben die Baumarten, der mittlere Standort am Nordhang (positiv) und die BHD-Stufe 10 (positiv).

Für die folgende Modellierung des Schaftes wurden aufgrund der Ergebnisse aus Kapitel 6.4.4.1 und 6.4.4.2 die Baumart, der Standort, die BHD-Stufe und die Konkurrenz berücksichtigt.

Um den Einfluss des Standortes auf die astfreie Schaftlänge zu überprüfen, wurde vorgängig mittels der Kovarianz-Analyse geprüft, ob die erwähnten Parameter auf allen Standorten einen signifikanten Beitrag zur Erklärung des Modelles beisteuern. Die Ergebnisse sind in Tab. 6.4-5 zusammengestellt:

Tab. 6.4-4: Prüfung des Einflusses auf die relative Länge des astfreien Schaftes.

| | |
|-----------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 391 Beobachtungen |
| Zielvariable | Grosse relative astfreie Schaftlänge (> 15 %) |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | Baumart ***, Standort **, BHD-Stufe ** |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: Tanne***, STAO=Nm***, DSTU S10** negativ: Fichte***, GFK <20 m ² /ha(*) |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Tab. 6.4-5: Variablen mit signifikantem Einfluss auf die astfreie Schaftlänge, pro Standort.

| Standort | n | F | P > F | R ² | signifikante Einflussvariablen |
|----------------------|-----|------|--------|----------------|--------------------------------|
| Nord ausgez. | 32 | 2.75 | 0.0236 | 0.60 | Baumart, BHD |
| Nord gut | 169 | 8.26 | 0.0001 | 0.37 | Baumart, Beschattung, BHD |
| Nord mittel | 86 | 7.07 | 0.0001 | 0.51 | Baumart, BHD |
| Nord schlecht | 36 | 7.07 | 0.0001 | 0.74 | Baumart, BHD |
| Süd gut | 27 | 1.31 | 0.3061 | 0.45 | BHD |
| Süd schlecht | 43 | 5.86 | 0.0001 | 0.65 | Baumart, BHD |

Legende:

n= Anzahl

P > F= Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

F = F-Wert des F-Tests

R² = Bestimmtheitsmass

Baumart und BHD sind fast auf allen Standorten die einzigen signifikanten Einflussvariablen. Auf dem guten Nordhangstandort weist zusätzlich die Beschattung einen Einfluss auf, auf dem guten Südhang-Standort gibt es keine Unterschiede zwischen den Baumarten. Wegen des Einflusses der Konkurrenz und der Beschattung auf die Höhe des untersten Grünastquirles (Kap. 6.3) wurde die Auswertung auf die Ausleseebäume auf mittleren bis guten Standorten am Nordhang, mit mittlerer Beschattung (20 bis 49.9 m²/ha) und kleiner bis mittlerer Konkurrenz (1 bis 4 Konkurrenten) beschränkt.

Weil die relativen Kronenkennwerte sehr stark streuen, wurden mit Hilfe der Korsun-Gleichung Höhenkurven für die Baumhöhe, die Höhe des untersten grünen Astquirles und die Höhe des untersten Dürrestes berechnet. Der Dürrestbereich wurde dann als Differenz der berechneten Höhe des untersten Grünastquirles und des untersten Dürrestes berechnet; die astfreie Schaftlänge entspricht der berechneten Höhe des untersten Dürrestes.

Der Einfluss der Baumart auf die Länge des Dürrestbereichs und die astfreie Schaftlänge wurde berechnet für die mittleren bis guten Standorte am Nordhang. Um den Einfluss der Beschattung und der seitlichen Konkurrenz auszuschliessen, wurden nur Ausleseebäume mit mittlerer Grundfläche (20-49 m²/ha) und kleiner bis mittlerer Konkurrenz (1 bis 4 Konkurrenten) berücksichtigt. Die berechneten Höhenkurven der Baumhöhe, der Höhe des untersten Grünastquirles und des untersten Dürrestes je von Fichte (n= 38) und Tanne (n= 124) sind in Tab. 6.4-6 tabelliert und in Abb. 6.4-6 graphisch dargestellt.

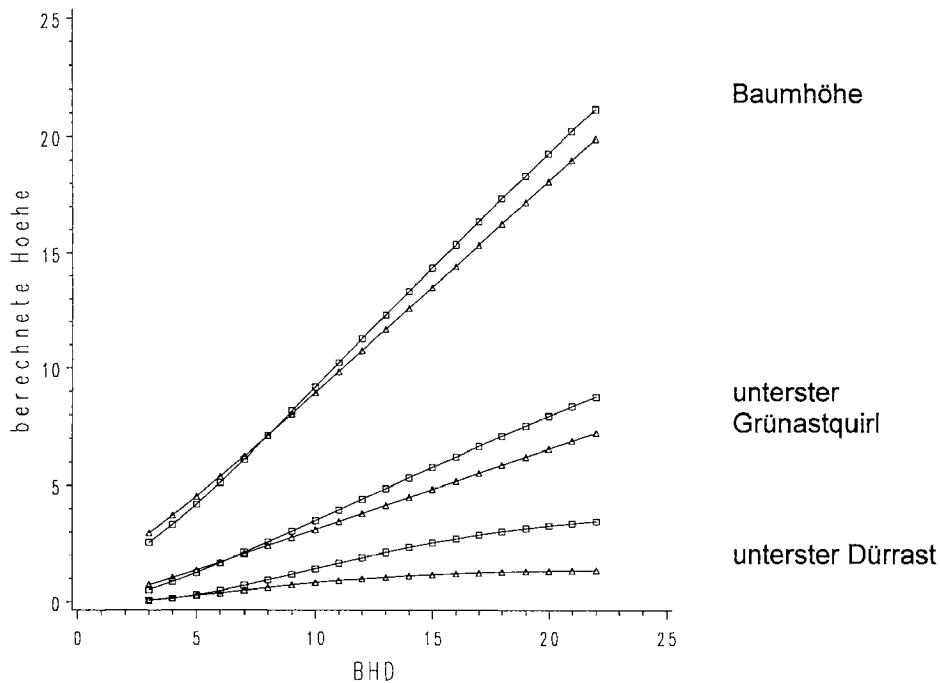


Abb. 6.4-6: Höhenkurven von Baumhöhe, Höhe des untersten Grünastquirles und Höhe des untersten Dürrastes, je von Fichte und Tanne. Berechnung nach Korsun-Formel.

Legende: □ = Tanne Δ = Fichte

Aus den dargestellten Höhenkurven ergeben sich folgende relative Schaftlängen (Abb. 6.4-7):

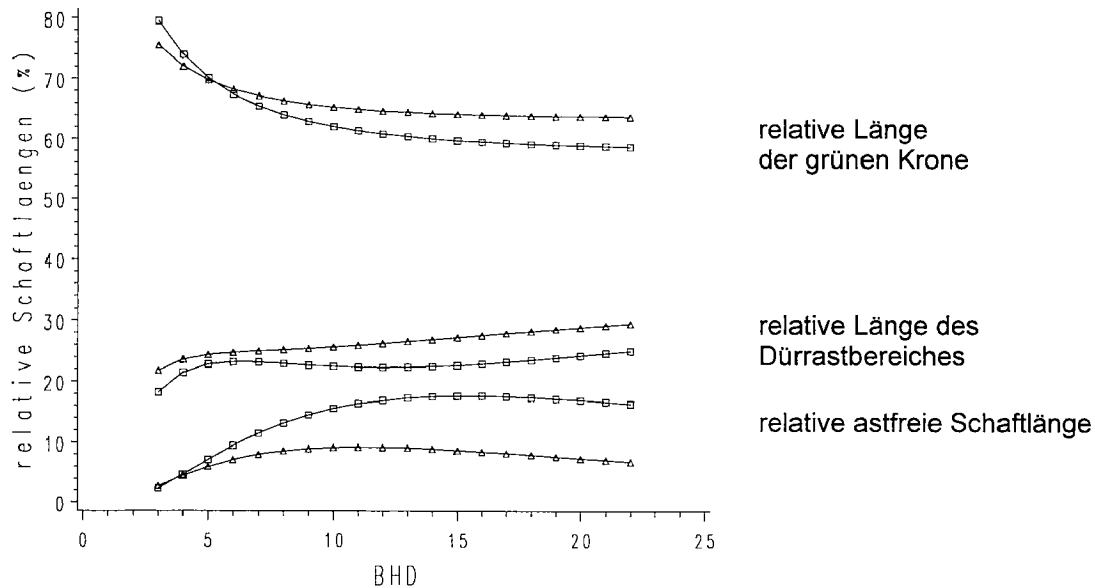


Abb. 6.4-7: Aus den Höhenkurven berechnete relative Schaftlängen der grünen Krone, des Dürrastbereiches und der astfreien Schaftlänge, je für Tanne und Fichte.

Legende: □ = Tanne Δ = Fichte

Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sind sowohl in der Höhe des untersten Grünastquirles als auch in Höhe des untersten Dürrastes im oberen BHD-Bereich signifikant. Der relative Grünastbereich beträgt im Mittel 60 bis 80 %, der relative Dürrastbereich 20 bis 30 % und die relative astfreie Schaftlänge 5 bis 10 % (Fichte) bzw. 10 bis 20 % (Tanne).

Tab. 6.4-6: Modelle zur Beschreibung der Beziehung zwischen BHD und Baumhöhe, Höhe des untersten Grünastquirls und Höhe des untersten Dürrrastes.

| Grösse | BA | n | F | Prob>F | R ² | Modellgleichung |
|---------------|----|-----|-------|--------|----------------|---|
| Baumhöhe | TA | 124 | 349.0 | 0.0001 | 0.85 | $H = e^{(-0.86 + 1.55 * \ln \text{BHD} - 0.10 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| | FI | 38 | 286.2 | 0.0001 | 0.95 | $H = e^{(-0.33 + 1.05 * \ln \text{BHD} - 0.01 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Höhe unterst. | TA | 124 | 63.7 | 0.0001 | 0.51 | $H_{GQ} = e^{(-2.91 + 2.28 * \ln \text{BHD} - 0.21 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Grünastquirl | FI | 38 | 62.8 | 0.0001 | 0.77 | $H_{GQ} = e^{(-1.82 + 1.43 * \ln \text{BHD} - 0.06 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Höhe unterst. | TA | 123 | 30.7 | 0.0001 | 0.33 | $H_{DA} = e^{(-7.65 + 5.23 * \ln \text{BHD} - 0.76 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |
| Dürrast | FI | 38 | 13.8 | 0.0001 | 0.41 | $H_{DA} = e^{(-6.22 + 4.08 * \ln \text{BHD} - 0.63 * \ln \text{BHD} * \ln \text{BHD})}$ |

Legende:

n= Anzahl

R²= Bestimmtheitsmass

e = Eulersche Zahl (2.7183)

F = F-Wert des globalen F-Tests

Prob>F = Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

ln = Logarithmus naturalis

6.4.3.3 Aststärke

Die Prüfung der Einflussfaktoren erfolgte mittels logistischer Regression und den Variablen Baumart, Standort, Beschattung, Überschildung, Konkurrenz und BHD. Es wurde geprüft, welche von diesen Variablen einen signifikanten Einfluss auf die Ausbildung von feinastigen Bäumen (Ast Durchmesser < 2.0 cm) haben. Die Ergebnisse sind in Tab. A.6.4-7 und A.6.4-8 im Anhang dargestellt und in Tab. 6.4-7 zusammengefasst. Die Aststärke ist in erster Linie abhängig von der Baumdimension: Kleinere Bäume weisen signifikant feinere Äste auf als grössere Bäume. Zudem weisen Fichten insgesamt feinere Äste auf als Tannen.

Tab. 6.4-7: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Aststärke.

| | |
|-----------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 391 Beobachtungen |
| Zielvariable | feinastige Bäume (Ast Durchmesser < 2.0 cm) |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe ***, Baumart * |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: DSTU S05 ***, DSTU S10 ***, Fichte * negativ: DSTU S15 ***, DSTU S20 ***, Tanne * |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschildungsklasse (nicht überschildert, Traufbereich (± 0.5 m), überschildert)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Die Definition der Konkurrenzklassen mit Hilfe der Anzahl potentieller Konkurrenten berücksichtigt den Abstand der Konkurrenten zum Auslesebaum zu wenig. Deshalb wurde dasselbe Modell ein zweites Mal berechnet, mit Ableitung der Konkurrenzklassen aus der Konkurrenzzahl. Die Ergebnisse in Tab. A.6.4-9 und Tab.A.6.4-10 im Anhang zeigen ebenfalls einen hochsignifikanten Einfluss der BHD-Stufe und einen schwach signifikanten der Baumart. Die seitliche Konkurrenz und die Beschattung sind auf 95 %-Niveau ebenfalls nicht signifikant. Neben der Durchmesserstufe weist nur noch die Baumart einen schwach signifikanten Einfluss auf den Astdurchmesser der Auslesebäume auf. Die Anzahl und der Anteil der feinastigen Bäume (Ast Durchmesser < 2 cm) ist in Tab. 6.4-8 pro Baumart und BHD-Stufe dargestellt:

Tab. 6.4-8: Anzahl und Anteil der feinastigen Auslesebäume, pro BA und BHD- Stufe.

| BHD-Stufe | Fichte | | Tanne | | Signifikanztest χ^2 | | |
|-----------|--------|------|-------|------|--------------------------|--------------|-------------------|
| | n | % | n | % | χ^2 | $P > \chi^2$ | Signifikanz |
| 5 | 35 | 97.2 | 17 | 94.4 | 0.26 | 0.61 | nicht signifikant |
| 10 | 37 | 94.9 | 61 | 85.9 | 2.08 | 0.15 | nicht signifikant |
| 15 | 15 | 57.7 | 45 | 45.5 | 1.24 | 0.27 | nicht signifikant |
| 20 | 7 | 33.3 | 22 | 27.2 | 0.31 | 0.58 | nicht signifikant |

Legende:

n= Anzahl

$\chi^2 = \chi^2$ - Wert

$P > \chi^2 =$ Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit.

Obwohl die Baumart insgesamt einen schwach signifikanten Einfluss aufweist, besteht innerhalb der BHD-Stufen kein signifikanter Unterschied zwischen den Baumarten. Der χ^2 -Test ist allerdings in den BHD-Stufen 5 und 10 nicht voll gültig, da mehr als 20 % der Zellen einen Erwartungswert der Häufigkeit von weniger als 5 aufweisen.

6.4.3.4 Astquirdichte

Die Astquirdichte wurde für den Bereich 5 bis 10 m Baumhöhe aufsummiert. Unterhalb von 5 m Höhe war die Zahl der Astquirle häufig nicht mehr sicher feststellbar, oberhalb von 10 m spielt sie für die Qualitätsbeurteilung keine Rolle mehr. Die Zahl der Astquirle beträgt bei Tanne 10 bis 34, bei Fichte 10 bis 26 (Abb. 6.4-8). Dies entspricht der Anzahl Jahre, welche für das Durchwachsen der Höhenklasse 5 bis 10 m nötig sind. Daraus kann abgeleitet werden, dass der durchschnittliche Höhenzuwachs der Auslesebäume im erwähnten Höhenbereich 15 bis 50 cm pro Jahr beträgt.

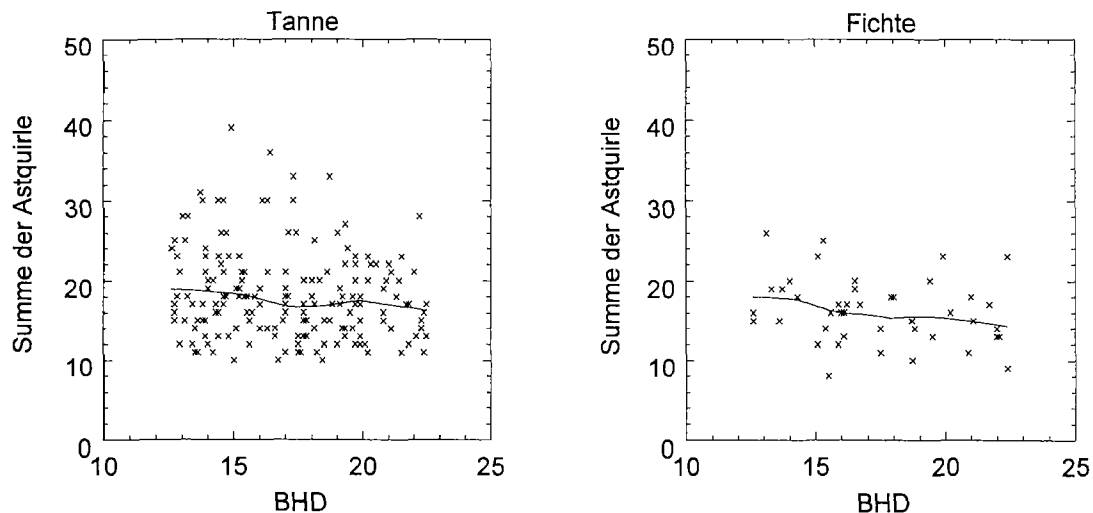


Abb. 6.4-8: Summe der Astquirle zwischen 5 und 10 m Höhe.

Die Prüfung der Einflussfaktoren erfolgte mittels logistischer Regression und den Variablen Baumart, Standort, Beschattung, Übershirmung, Konkurrenz und BHD. Es wurde geprüft, welche von diesen Variablen einen signifikanten Einfluss auf die Ausbildung von mehr als 20 Astquirlen haben. Die Ergebnisse sind in Tab. A.6.4-11 und A.6.4-12 im Anhang dargestellt und in Tab. 6.4-9 zusammengefasst.

Insgesamt weisen die Baumart, der Standort und die Beschattung einen schwach signifikanten Einfluss auf die Anzahl Astquirle zwischen 5 und 10 m Höhe auf.

Die Bäume auf dem ausgezeichneten und dem geringwüchsigen Standort in Nordexposition weisen bezüglich Astquirdichte signifikante Unterschiede zu den anderen Standorten auf. Mittlere Beschattung führt zu grösserer, kleine Beschattung zu kleinerer Astquirdichte. Bäume mit kleiner seitlicher Konkurrenz weisen eine grössere Astquirdichte auf als Bäume mit grosser Konkurrenz.

Tab. 6.4-9: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Astquirlidichte.

| | |
|-----------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 391 Beobachtungen |
| Zielvariable | Ausbildung von mehr als 20 Astquirlen im Bereich 5 bis 10 m Höhe |
| untersuchte Haupteffekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Haupteffekte | Beschattung *, Standort (*), Baumart (*) |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: GFK 30-40m ² *, kleine Konkurrenz(*), STAO=Ns*, Tanne (*) negativ: GFK < 20 m ² *, starke Konkurrenz *, STAO=Na(*), Fichte(*) |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw.. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

6.5 Verletzungen, Krankheiten, Holzfehler und Risiken

Ausleseebäume müssen neben einer mindestens genügenden Stabilität und Vitalität über eine gute Qualität verfügen; sie sollen keine vitalitäts- oder qualitätsmindernden Schäden, Krankheiten oder Holzfehler aufweisen. Mit der Erhebung der äusserlich feststellbaren Verletzungen, Krankheiten und Holzfehler wurde überprüft, ob dies bei der Auswahl der Ausleseebäume berücksichtigt wurde. Ungenügende Vitalität oder Stabilität wurde als abschätzbares Risiko für die weitere Entwicklung der Ausleseebäume ebenfalls erfasst, und zwar indirekt über die gutachtliche Ansprache der Krone und der relativen Kronenlänge (Vitalität) und über den Schlankheitsgrad (Stabilität). Bei der Beurteilung der waldbaulichen Brauchbarkeit werden die zukünftigen Risiken mitberücksichtigt (vgl. Kap. 6.6). Im folgenden bezeichnen wir alle Verletzungen, Krankheiten und Holzfehler als Schäden, alle zu erwartenden Beeinträchtigungen der Stabilität oder Vitalität als Risiken (noch nicht eingetretene Schäden). Die häufigsten Schäden oder Risiken waren bei der Tanne schlechte Vitalität, Säbelwuchs, aktuelle oder überwallte Rindenverletzungen und Grobastigkeit, bei der Fichte schlechte Vitalität, überwallte Rindenverletzungen und Säbelwuchs (Tab. 6.5-1).

Tab. 6.5-1: Anzahl und Anteil der erkennbaren Schäden und Risiken.

| Schadenart | Tanne | | Fichte | | Total | Anteil |
|------------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| | n | % | n | % | n | % |
| Wipfelbruch, aktuell | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Wipfelbruch, ausgewachsen | 12 | 4.4 | 0 | 0.0 | 12 | 3.1 |
| Zwiesel | 4 | 1.5 | 2 | 1.6 | 6 | 1.5 |
| Endtriebverlust | 4 | 1.5 | 0 | 0.0 | 4 | 1.0 |
| Rindenverletzung, aktuell | 17 | 6.3 | 4 | 3.3 | 21 | 5.3 |
| Rindenverletzung, überwallt | 20 | 7.4 | 8 | 6.6 | 28 | 7.1 |
| Schiefwuchs (einschnürig) | 4 | 1.5 | 1 | 0.8 | 5 | 1.3 |
| Säbelwuchs | 41 | 15.1 | 5 | 4.1 | 46 | 11.7 |
| Grobastigkeit (Protz) | 16 | 5.9 | 2 | 1.6 | 18 | 4.6 |
| übrige | 3 | 1.1 | 2 | 1.6 | 5 | 1.3 |
| unvital (RKLA < 34%) | 69 | 25.5 | 14 | 11.5 | 83 | 21.1 |
| instabil (SHG ≥ 100) | 11 | 4.1 | 6 | 4.9 | 17 | 4.3 |
| Total Stämme | 271 | 100.0 | 122 | 100.0 | 393 | 100.0 |

Legende:

RKLA = relative Kronenlänge

SHG = Schlankheitsgrad

Bemerkung: das Total der Stämme entspricht nicht dem Total der Bäume mit und ohne Schäden, weil es Bäume mit mehr als einem erkennbaren Schaden gibt.

Von den 393 Auslesebäumen wiesen 269 (68 %) keine erkennbaren Verletzungen, Krankheiten oder Holzfehler auf und gut die Hälfte (52%) weder einen Schaden noch ein Risiko (Tab. 6.5-2). Der Anteil unbeschädigter Tannen betrug rund drei Fünftel (62%), jener der Fichten mehr als vier Fünftel (82%). Häufigste Schadenkategorie sind die Holzfehler, welche auf mehr als einem Viertel der Auslesebäume auftraten. Verletzungen waren mit einem Anteil 5 bis 10% nicht häufig, und Krankheiten wurden nur ganz vereinzelt festgestellt. Dagegen stellte die schlechte Vitalität oder Stabilität von rund 30% der Tannen und 17% der Fichten ein Risiko dar. Insgesamt weisen über die Hälfte der ausgewählten Tannen- und rund ein Drittel der Fichten Schäden oder Risiken auf, welche ihre Entwicklung zu einem Auslesebaum des Oberstandes in Frage stellen. Bäume, welche gleichzeitig Fehler und Schäden aufweisen, sind insbesondere bei Fichte selten.

Tab. 6.5-2: Anzahl der erkennbaren Schäden und Risiken bei den Auslesebäumen.

| Schadenkategorie | Tanne | | Fichte | | Total | |
|----------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | n | % | n | % | n | % |
| weder Schaden noch Risiko | 122 | 45.0 | 81 | 66.4 | 203 | 51.7 |
| kein erkennbarer Schaden | 169 | 62.4 | 100 | 82.0 | 269 | 68.4 |
| mind. ein erkennbarer Schaden | 102 | 37.6 | 22 | 18.0 | 124 | 31.6 |
| mindestens eine Verletzung | 23 | 8.5 | 6 | 4.9 | 29 | 7.4 |
| mindestens eine Krankheit | 1 | 0.4 | 0 | 0.0 | 1 | 0.3 |
| mind. ein erkennbarer Holzfehler | 85 | 31.4 | 17 | 13.9 | 102 | 26.0 |
| mindestens ein Risiko | 79 | 29.2 | 21 | 17.2 | 100 | 25.4 |
| nur Risiko, kein erkennb.Schaden | 47 | 17.3 | 19 | 15.6 | 66 | 16.8 |
| Schaden oder Risiko | 149 | 55.0 | 41 | 33.6 | 190 | 48.3 |
| sowohl Schaden als auch Risiko | 32 | 11.8 | 2 | 1.6 | 34 | 8.7 |
| Total | 271 | 100.0 | 122 | 100.0 | 393 | 100.0 |

Bemerkung: das Total der Stämme entspricht nicht dem Total der Bäume mit und ohne Schäden, weil es Bäume mit mehr als einem erkennbaren Schaden gibt.

Um die Bedeutung aller Schäden und Risiken am Einzelbaum interpretieren zu können, müssen deren Auswirkungen unterschieden werden. Hier interessiert insbesondere, ob sich die Schäden und Risiken auf die Stabilität und/oder Vitalität und/oder Holzqualität von Auslesebäumen negativ auswirken. Dazu war es nötig, jedes Risiko und jede Schadenart einer oder mehrerer Schaden- auswirkungen zuzuordnen. Die Auswirkungen der Schäden und Risiken sind häufig auf die Stabilität oder die Vitalität der Bäume beschränkt (Tab. 6.5-3). Bei mehr als 10% der Tannen sind sowohl Stabilität als auch Qualität beeinträchtigt. Auslesebäume mit dreifacher Beeinträchtigung der massgebenden Kriterien sind selten.

Tab. 6.5-3: Auswirkungen der erkennbaren Schäden und Risiken auf die Stabilität, Vitalität und Qualität der Auslesebäume.

| Auswirkungen der Schäden auf | Tanne | | Fichte | | Total | |
|------------------------------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | n | % | n | % | n | % |
| keine Beeinträchtigung | 122 | 45.0 | 81 | 66.4 | 203 | 51.7 |
| nur Stabilität | 40 | 14.8 | 13 | 10.7 | 53 | 13.5 |
| nur Vitalität | 6 | 2.2 | 6 | 4.9 | 12 | 3.1 |
| nur Holzqualität | 52 | 19.2 | 14 | 11.5 | 66 | 16.8 |
| Stabilität und Vitalität | 3 | 1.1 | 1 | 0.8 | 4 | 1.0 |
| Stabilität und Qualität | 28 | 10.3 | 3 | 2.5 | 31 | 7.9 |
| Vitalität und Qualität | 14 | 5.2 | 4 | 3.3 | 18 | 4.6 |
| Stabilität, Vitalität und Qualität | 6 | 2.2 | 0 | 0.0 | 6 | 1.5 |
| Total | 271 | 100.0 | 122 | 100.0 | 393 | 100.0 |

6.6 Waldbauliche Eignung der Nadelholz-Ausleseebäume

Aufgrund der äusserlich erkennbaren Einzelbaummerkmale, insbesondere bezüglich Schäden, Vitalität, Stabilität und Qualität (Geradschaftigkeit, Astigkeit), wurden die ausgewählten Ausleseebäume auf ihre Eignung als zukünftige Werträger beurteilt. Als nicht geeignet wurden alle Ausleseebäume mit tiefsitzendem Zwiesel, Wipfeldürre, starkem Harzfluss oder Stelzwurzeln und zusätzlich alle Fichten mit einer noch offenen oder überwallten Verletzung von Schaft oder Stammfuss beurteilt. Das letzte Kriterium ergibt sich aus der Tatsache, dass bei Fichte selbst kleine Verletzungen als Eintrittspforten für holzabbauende Pilze genügen (Dimitri 1983) und dass sich die Pilze meist rasch ausbreiten (Löffler 1975), so dass ein Fäulebefall meist grosse ökonomische Verluste zur Folge hat (Meng 1978, Butora und Schwager 1986). Im Gegensatz dazu überwallen die Stammfussverletzungen bei Tanne meist vollständig (Torelli et al. 1990), und es kommt selten zu einem Pilzbefall. Deshalb wurden Tannen mit offenen oder überwallten Rindenschäden, zusammen mit leicht schiefwachsenden, säbelwüchsigen oder grobastigen Ausleseebäumen beider Arten, als mässig geeignet bezeichnet. Bäume mit sichtbaren Spuren ehemaliger Wipfelbrüche unterhalb von 10 m Baumhöhe wurden ebenfalls als mässig geeignet beurteilt, da das Holz in seinem Faserverlauf an der ehemaligen Bruchstelle gestört ist. Von den 271 untersuchten Tannen wurden weniger als die Hälfte als gut und etwas mehr als die Hälfte als mässig geeignet beurteilt (Tab. 6.6-1). Ungeeignete Ausleseebäume waren dagegen sehr selten. Bei der Fichte waren zwei Drittel als Ausleseebäume gut geeignet, dagegen fast 12% nicht geeignet. Dies ist zum grössten Teil auf die noch vorhandenen oder überwallten Verletzungen der Rinde zurückzuführen. Der grosse Anteil mässig geeigneter Tannen ergibt sich aus der Tatsache, dass die Tannen im Vergleich zu den Fichten deutlich häufiger säbelwüchsig und etwas häufiger grobastig sind und zudem häufiger ausgewachsene Wipfelbrüche aufweisen (vgl. Tab. 6.5-1).

Tab. 6.6-1: Waldbauliche Eignung der Nadelholz-Ausleseebäume.

| Klasse | Tanne | | Fichte | |
|-----------------|-------|--------|--------|--------|
| | n | % | n | % |
| gut geeignet | 122 | 45,0% | 81 | 66,4% |
| mässig geeignet | 145 | 53,5% | 27 | 22,1% |
| nicht geeignet | 4 | 1,5% | 14 | 11,5% |
| Total | 271 | 100,0% | 122 | 100,0% |

6.7 Vergleich der Ausleseebäume mit den direkten Konkurrenten

Bei 79 Ausleseebäumen waren Nadelbäume als schärfste Konkurrenten entnommen und detailliert beschrieben worden. Somit war ein Vergleich der zwei verbundenen Stichproben möglich. Die Unterschiedshypothese der qualitativen Merkmale wurde mittels Vorzeichen-Test geprüft. Da die quantitativen Variablen zumeist nicht normalverteilt sind, wurde für den Vergleich von Auslese und Aushieb der Wilcoxon-Test für Paardifferenzen (auch Vorzeichen-Rang-Test von Wilcoxon genannt) verwendet.

Das Ergebnis des Vergleichs der qualitativen Merkmale ist in Tab. 6.7-1 dargestellt. Zwischen den Ausleseebäumen und ihren direkten Konkurrenten gibt es nur Unterschiede bezüglich Astigkeit und Wurzelsymmetrie: die Ausleseebäume sind signifikant feinastiger als die Aushiebe und ihre Hauptwurzeln verzweigen sich symmetrischer.

Das Ergebnis des Vergleichs der quantitativen Merkmale ist in Tab. 6.7-2 dargestellt. Signifikante Unterschiede zwischen Ausleseebäumen (AL) und Aushieben (AH) ergeben sich bei der Baumhöhe ($AL > AH$), bei der Höhe des untersten Grünastquirls ($AL > AH$), bei der relativen Kronenlänge ($AH > AL$) und beim Höhenzuwachs der letzten 10 ($AL > AH$, schwach signifikant auf 90%-Niveau) und 20 Jahre ($AL > AH$, hochsignifikant). Bei den Umgebungsgrössen gibt es Unterschiede in der Beschattung ($AL > AH$) und in der seitlichen Konkurrenz ($AL > AH$).

Tab. 6.7-1: Vergleich der qualitativen Merkmale von Vergleichspaaren Auslese/Aushiebe.

| Merkmal | Ausprägung | Konkurrenten | | Ausleseebäume | | Vorzeichentest | | |
|---------------------------|----------------|--------------|-----|---------------|-----|----------------|-------|-------|
| | | n | % | n | % | x/N z | Prob | Sign. |
| Astigkeit | grobastig | 13 | 16% | 1 | 1% | 9/34 | | |
| | normal | 30 | 38% | 32 | 41% | 2.57 | 0.01 | ** |
| | feinastig | 36 | 46% | 46 | 58% | | | |
| Eintwicklungs- tendenz | zurückbleibend | 11 | 15% | 2 | 3% | 15/35 | | |
| | gleichbleibend | 9 | 12% | 25 | 33% | 0.68 | >0.10 | |
| | vorwachsend | 55 | 73% | 49 | 65% | | | |
| Schaft | zweischnürig | 69 | 87% | 64 | 81% | 9/23 | 0.202 | |
| | einschnürig | 10 | 13% | 15 | 19% | | | |
| Stammfuss | unbeschädigt | 74 | 94% | 74 | 94% | 5/10 | 0.623 | |
| | beschädigt | 5 | 6% | 5 | 6% | | | |
| Wurzel- symmetrie | symmetrisch | 15 | 42% | 24 | 67% | 6/25 | 0.007 | ** |
| | schwach unsym. | 18 | 50% | 10 | 28% | | | |
| | stark unsym. | 3 | 8% | 2 | 6% | | | |
| Wurzeltiefe | tiefgehend | 26 | 72% | 27 | 75% | 12/26 | | |
| | mittel | 10 | 28% | 9 | 25% | 0.20 | >0.10 | |

Legende:

x/N: Anzahl seltenere Fälle durch Anzahl unterschiedliche Fälle.

z: Prüfgrösse zur Überprüfung der Unterschiedshypothese (nur falls $N > 25$)

Prob: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit für die Nullhypothese;

falls $n \leq 25$: Wert aus Tabelle Binomialtest/Vorzeichentest

falls $n > 25$: Wert aus z-Wert Tabelle (Siegel 1976, zit. in Lamprecht 1992)

Tab. 6.7-2: Vergleich der quantitativen Merkmale der Vergleichspaare Auslese/Aushieb.

| Merkmal | MW Δ AL-AH | Sgn Rank | Prob $> S_i $ | Signifikanz |
|------------------------|-------------------|----------|----------------|-------------|
| BHD | 0.35 | 260.0 | 0.197 | |
| Baumhöhe | 0.64 | 471.5 | 0.023 | * |
| Schlankheitsgrad | 1.19 | 93.5 | 0.668 | |
| Kronendurchmesser | 0.19 | 314.5 | 0.132 | |
| Höhe max. Kronenbreite | -0.24 | -121.0 | 0.542 | |
| unterster Grünast | 0.77 | 778.5 | 0.000 | *** |
| unterster Dürrast | -0.11 | -155.5 | 0.424 | |
| Kronenlänge | -0.13 | -161.5 | 0.459 | |
| relative Kronenlänge | -2.65 | -467.5 | 0.030 | * |
| Astquirle 5 bis 10 m | -0.92 | -203.0 | 0.176 | |
| Höhenzuwachs 5 | 14.28 | 341.5 | 0.108 | |
| Höhenzuwachs 10 | 27.01 | 366.5 | 0.090 | (*) |
| Höhenzuwachs 20 | 89.41 | 753.5 | 0.000 | *** |
| Beschattung | 0.06 | 462.0 | 0.010 | * |
| Überschirmung | -0.72 | -236.0 | 0.233 | |
| Konkurrenz | 0.30 | 227.0 | 0.069 | (*) |

Legende:

MW Δ AL-AH: Mittelwert der Differenz zwischen dem Wert des Auslesebaumes und des Aushiebes

Sgn. Rank: Rangsumme

Prob $> |S_i|$: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

6.8 Zustand und Eignung der Laubholz-Auslesebäume

Von den auf unseren Untersuchungsflächen vorkommenden Laubbaumarten weisen nur Buche (17%) und Bergahorn (4%) eine gewisse Bedeutung für die Holzproduktion auf (vgl. Tab. 5.1-1). Von den insgesamt 112 untersuchten Auslesebäumen mit BHD kleiner als 25 cm stammten 40 Buchen und 10 Bergahorne vom Südhang, 50 Buchen und 12 Bergahorne vom Nordhang.

6.8.1 Höhenkurve und Stabilität

Die Höhenkurve weist im Bereich des Nachwuchses den bekannten sigmoiden Verlauf auf (Abb. 6.8-1). Bis 15 cm BHD ist der Kurvenverlauf linear bis schwach exponentiell, darüber flacht er deutlich ab. Die Streuung der Einzelwerte um die Anpassungskurve ist, im Gegensatz zu den Nadelbäumen (vgl. Abb. 6.2-1), im untersuchten Durchmesserbereich ziemlich konstant.

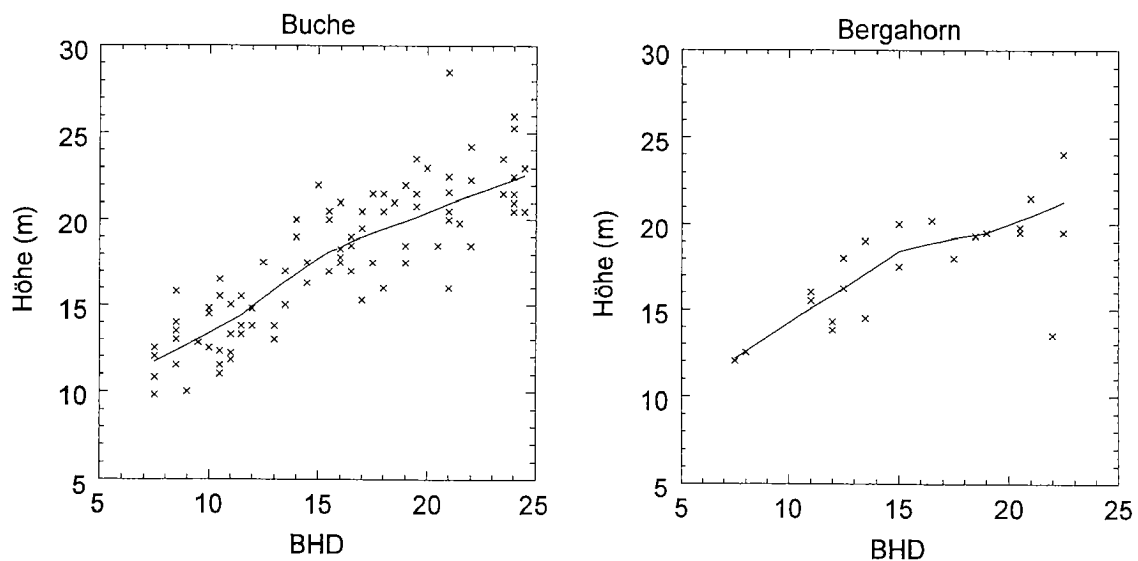


Abb. 6.8-1 a,b: Durchmesser-Höhenkurve von Buche und Bergahorn.

Der Schlankheitsgrad weist, wiederum im Gegensatz zu den Nadelbäumen (vgl. 6.2-2), eine fast linear verlaufende Abnahme mit zunehmendem BHD auf. Er nimmt bei beiden Baumarten im Mittel von rund 160 mit 7,5 cm BHD auf 90 mit 22,5 cm BHD ab (Abb. 6.8-2). Unterhalb von 10 cm BHD weisen alle Auslesebäume der Baumarten Buche und Bergahorn einen Schlankheitsgrad von über 110, oberhalb von 20 cm BHD einen solchen von weniger als 110 auf.

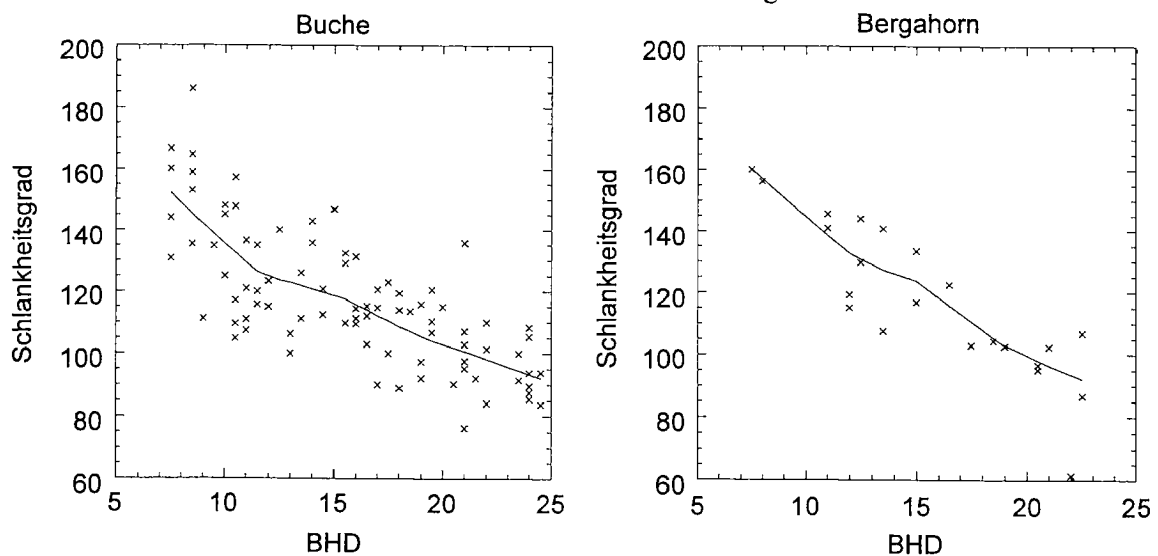


Abb. 6.8-2: Schlankheitsgrad bei Buche und Bergahorn

6.8.2 Kronenkennwerte und Vitalität

Die absolute Kronenlänge nimmt mit zunehmendem BHD sowohl bei Buche als auch bei Bergahorn zu. Die Streuung der Einzelwerte ist bei Buche im gesamten untersuchten Durchmesserbereich sehr gross. Die Anpassungskurve nach der Methode LOWESS (laufender gewichteter Mittelwert) nimmt bis zu einem BHD von rund 15 cm nahezu linear zu und verflacht darüber zusehends (Abb. 6.8-3).

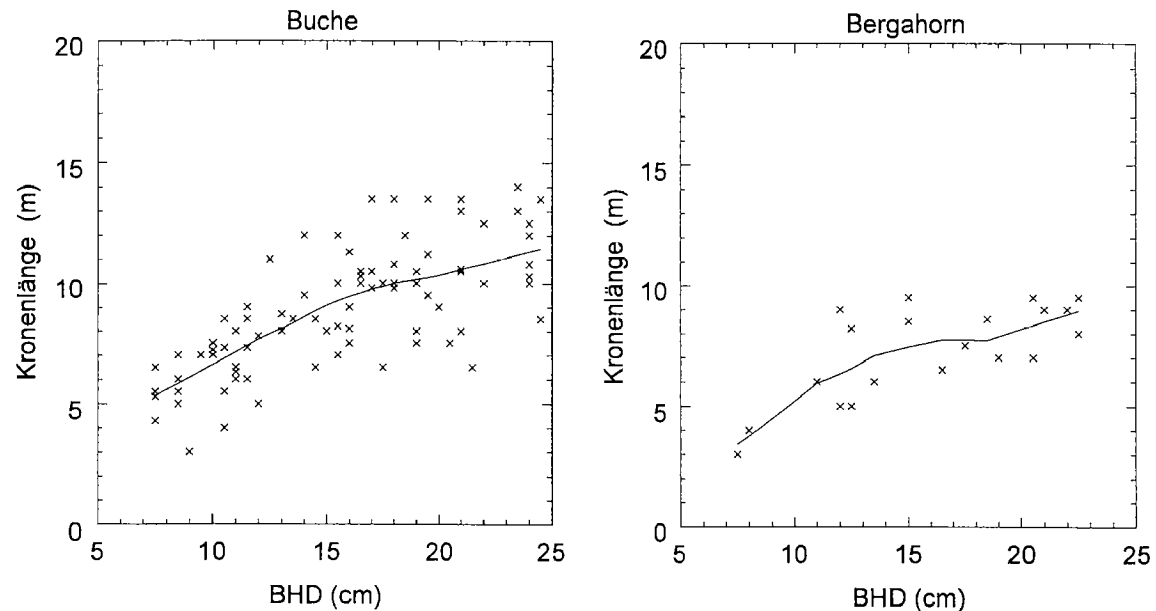


Abb. 6.8-3: Kronenlänge von Buche und Bergahorn in Abhängigkeit des BHD.

Die Einzelwerte der relativen Kronenlänge liegen bei beiden Baumarten zwischen rund 30 und 70 % und weisen bei der Buche keinen Zusammenhang mit dem BHD auf (Abb. 6.8-4).

Die Anpassungskurve verläuft bei Buche im Bereich von 50%, bei Bergahorn im Bereich von 40% und liegt damit wesentlich unter derjenigen von Tanne und Fichte (vgl. Abb. 6.3-2).

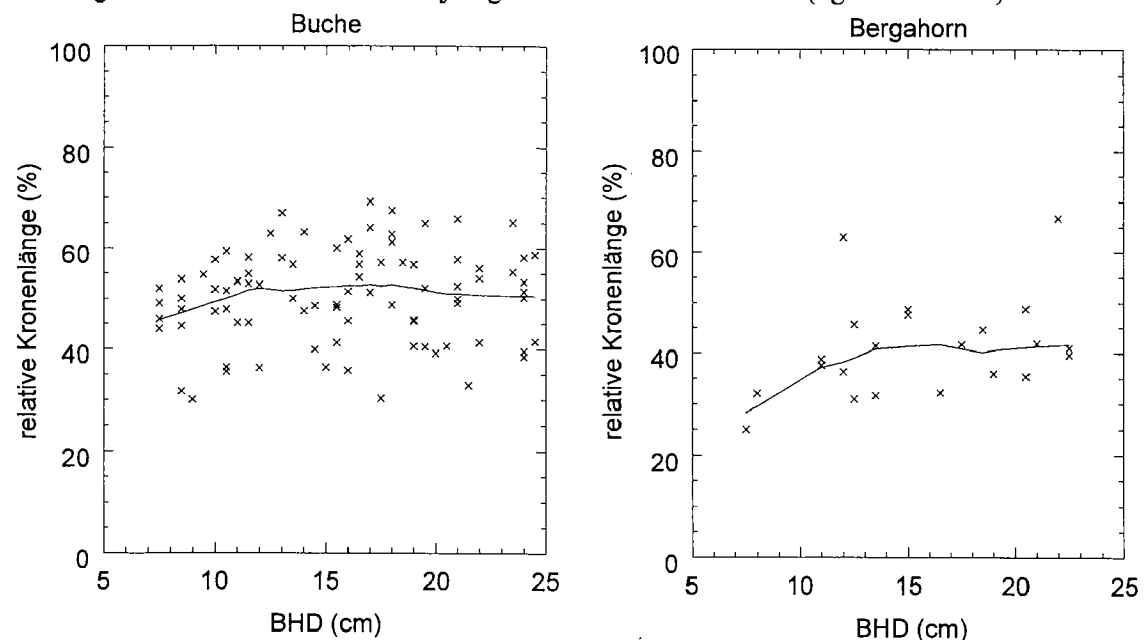


Abb. 6.8-4: Relative Kronenlänge von Buche (links) und Bergahorn (rechts)

Die Kronenform wurde vereinfacht nur über die vertikale und horizontale Ausdehnung der Krone definiert, durch Einteilung in die drei Klassen symmetrisch, asymmetrisch (einseitig) und gestaucht (Verlust der apikalen Dominanz und plagiotropes Wachstum). Mehr als die Hälfte der Buchen und gut ein Drittel der Bergahorne wiesen symmetrische Kronen auf (Tab. 6.8-1). Immerhin rund 10% der Laubbäume wiesen dagegen eine gestauchte Krone mit plagiotroper Wachstumstendenz auf, was normalerweise gegen eine Auswahl als Auslesebaum spricht.

Tab. 6.8-1: Verteilung der Auslesebäume auf die Kronenform-Klassen.

| Klasse | Buche | | Bergahorn | |
|--------------------------|-------|-----|-----------|-----|
| | n | % | n | % |
| symmetrisch | 49 | 54% | 8 | 36% |
| asymmetrisch (einseitig) | 36 | 40% | 11 | 50% |
| gestaucht (plagiotrop) | 5 | 6% | 3 | 14% |

6.8.3 Schaftmerkmale und Qualität

Die Geradschaftigkeit spielt auch bei der Beurteilung von Laubbäumen eine wichtige Rolle. Die Auslesebäume von Buche und Bergahorn sind zu je fast zur Hälfte zwei- bzw. einschnürig. Krumme Bäume, welche in mehr als einer Ebene von der Lotrechten abweichen, sind bei der Buche nur unbedeutend und beim Bergahorn schwach vertreten (Tab. 6.8-2).

Tab. 6.8-2: Verteilung der Auslesebäume auf Geradschaftigkeits-Klassen.

| Klasse | Buche | | Bergahorn | |
|------------------------------|-------|-----|-----------|-----|
| | n | % | n | % |
| gerade (zweischnürig) | 40 | 45% | 9 | 41% |
| schrägwachsend (einschnürig) | 47 | 52% | 10 | 45% |
| krumm (unschnürig) | 3 | 3% | 3 | 14% |

Die astfreie Schaftlänge nimmt mit zunehmendem BHD zu. Sie liegt bei Buche unterhalb 12.5 cm BHD zwischen 5 und 10 m, oberhalb 12.5 zwischen 5 und 15 m. Die Streuung der Einzelwerte ist bei beiden Baumarten im gesamten BHD-Bereich sehr gross (Abb. 6.8-5).

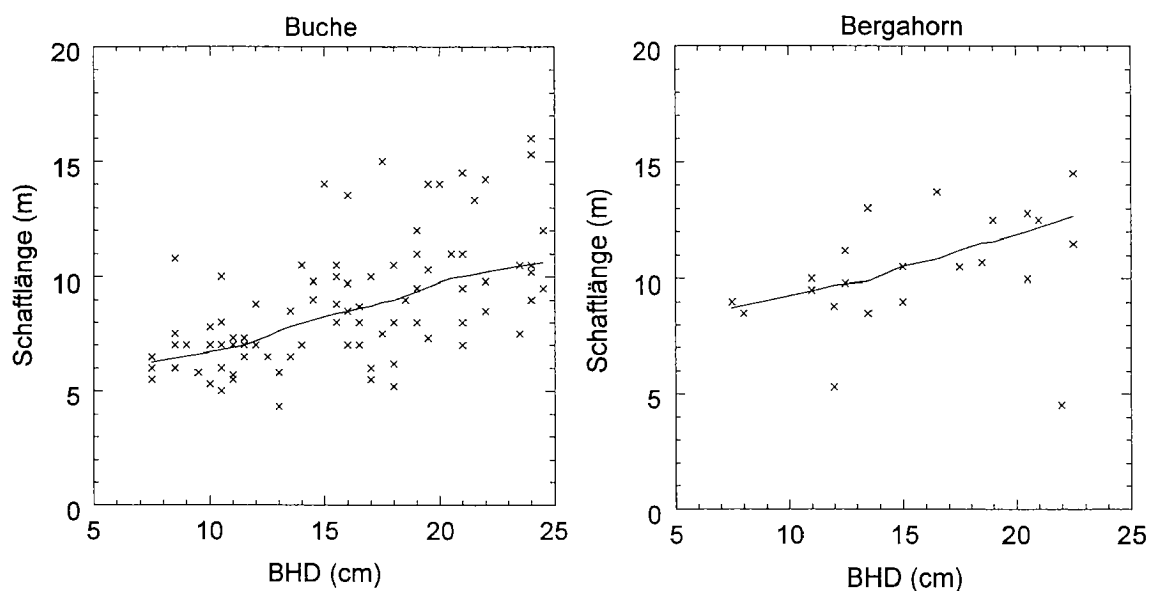


Abb. 6.8-5: Astfreie Schaftlänge bei Buche und Bergahorn.

6.8.4 Verletzungen, Krankheiten, Holzfehler und Risiken

Zwei Drittel der 90 Buchen und fast drei Viertel der 22 Bergahorne weisen keine vitalitätsmindernden Schäden oder qualitätsmindernden Holzfehler auf (Tab. 6.8-3). Häufigste Schäden oder Fehler bei Buche waren Steilläste, schlechte Vitalität und Grobastigkeit, bei Bergahorn Zwiesel, Grobastigkeit, schlechte Stabilität oder Vitalität. Insgesamt hatten 23 Buchen (26%) und 4 Bergahorne (18%) einen Holzfehler (Zwiesel, Steillast, Astbeulen, Schlängelwuchs, Grobastigkeit). Bei der Auswahl der Ausleseebäume wies keiner der Bergahorne und Buchen eigentliche Schäden (Wipfelbruch, Rindenschaden) auf. Ein Bergahorn vermochte aber nach seiner Freistellung sein Eigengewicht nicht zu tragen und kippte um. Drei weitere Ausleseebäume wurden als instabil, 11 Bäume als unvital bezeichnet.

Tab. 6.8-3: Anteil von geschädigten Bäume am Kollektiv der Ausleseebäume.

| Schadenart/-kategorie | Buche | | Bergahorn | |
|------------------------------|-------|------|-----------|------|
| | n | % | n | % |
| Anzahl Ausleseebäume | 90 | 100% | 22 | 100% |
| ohne Holzfehler/Verletzungen | 60 | 66% | 15 | 68% |
| Wipfelbruch | 0 | 0% | 0 | 0% |
| Zwiesel | 3 | 3% | 2 | 9% |
| Rindenschaden | 0 | 0% | 0 | 0% |
| Steillast | 9 | 9% | 1 | 5% |
| Astbeulen | 3 | 3% | 1 | 5% |
| Schlängelwuchs | 4 | 4% | 0 | 0% |
| grobastig (Protz) | 4 | 4% | 2 | 9% |
| instabil | 2 | 2% | 2 | 9% |
| unvital | 9 | 10% | 1 | 5% |
| Total Schäden | 19 | 21% | 4 | 18% |
| Total Risiken | 11 | 12% | 3 | 14% |

Bemerkung: das Total der Stämme entspricht nicht dem Total der Bäume mit und ohne Schäden, weil es Bäume mit mehr als einem erkennbaren Schaden gibt.

6.8.5 Waldbauliche Eignung der Laubholz-Ausleseebäume

Aufgrund der äusserlich erkennbaren Einzelbaummerkmale, insbesondere bezüglich Stabilität, Vitalität und Qualität, wurden die ausgewählten Ausleseebäume auf ihre Eignung als zukünftige Werträger beurteilt. Von den 90 untersuchten Buchen wurden rund 20% als gut und zwei Drittel als mässig geeignet beurteilt (Tab. 6.8-4). Beim Bergahorn dagegen wurde fast ein Drittel als ungeeignet für die waldbauliche Auslese beurteilt. Dieser grosse Anteil war insbesondere auf stark einseitige Kronen oder mangelnde Stabilität zurückzuführen.

Tab. 6.8-4: Waldbauliche Eignung der Laubholz-Ausleseebäume.

| Klasse | Buche | | Bergahorn | |
|-----------------|-------|------|-----------|------|
| | n | % | n | % |
| gut geeignet | 19 | 21% | 3 | 14% |
| mässig geeignet | 60 | 67% | 12 | 54% |
| nicht geeignet | 11 | 12% | 7 | 32% |
| Total | 90 | 100% | 22 | 100% |

7 Entwicklung der Ausleseebäume

7.1 Durchmesserzuwachs

Der Durchmesserzuwachs der Nadelbäume weist eine sehr grosse Streuung auf und nimmt mit zunehmendem BHD leicht zu (Abb. 7.1-1). Die Beziehung zwischen BHD und BHD-Zuwachs ist aber bei beiden Baumarten wenig straff. Bei der Tanne erfolgt die Zunahme des mittleren BHD-Zuwachses bis 20 cm BHD ziemlich linear, bei der Fichte ist die Zunahme im Bereich von 7.5 bis 15 cm BHD am grössten und flacht oberhalb von 15 cm BHD ab. Die Einzelwerte streuen in einem weiten Rahmen, nämlich unterhalb von 10 cm BHD zwischen 1 und 8 mm pro Jahr, oberhalb von 10 cm BHD zwischen 2 und 10 mm/J. Die Darstellung weist neben den Einzelwerten eine Anpassungskurve nach der Methode LOWESS (laufender gewichteter Mittelwert) auf.

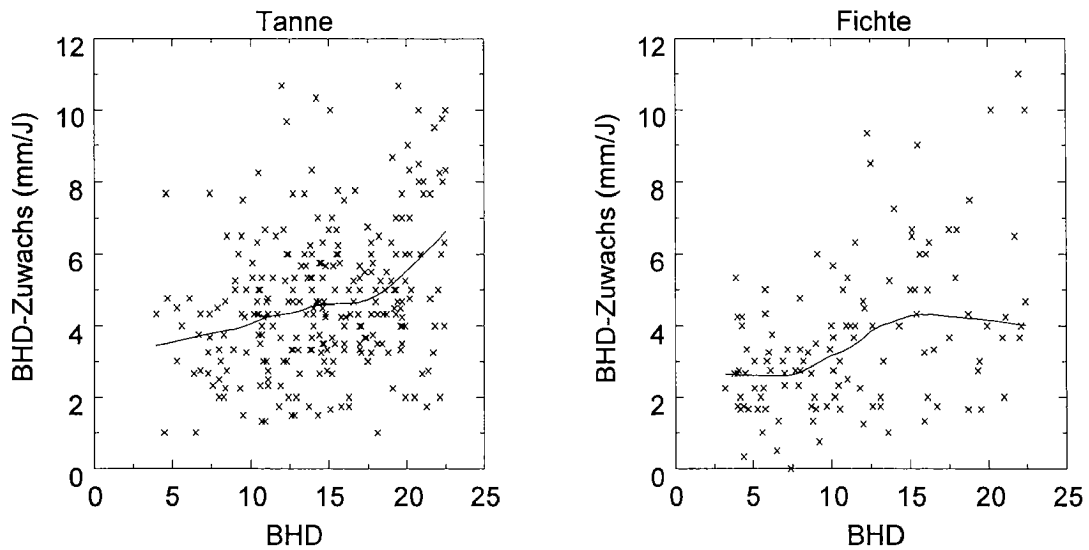


Abb. 7.1-1: BHD-Zuwachs von Tanne (links) und Fichte (rechts) in Abhängigkeit des BHD

Der relative BHD-Zuwachs (= mittlerer jährlicher BHD-Zuwachs*100/BHD) liegt bei beiden Baumarten mit Ausnahme weniger Ausreisser zwischen 1 und 10 % des ursprünglichen BHD und ist nicht BHD-unabhängig (Abb. 7.1-2). Erst oberhalb von 10 bis 15 cm BHD verläuft er mehr oder weniger linear auf konstanter Höhe von rund 3 %.

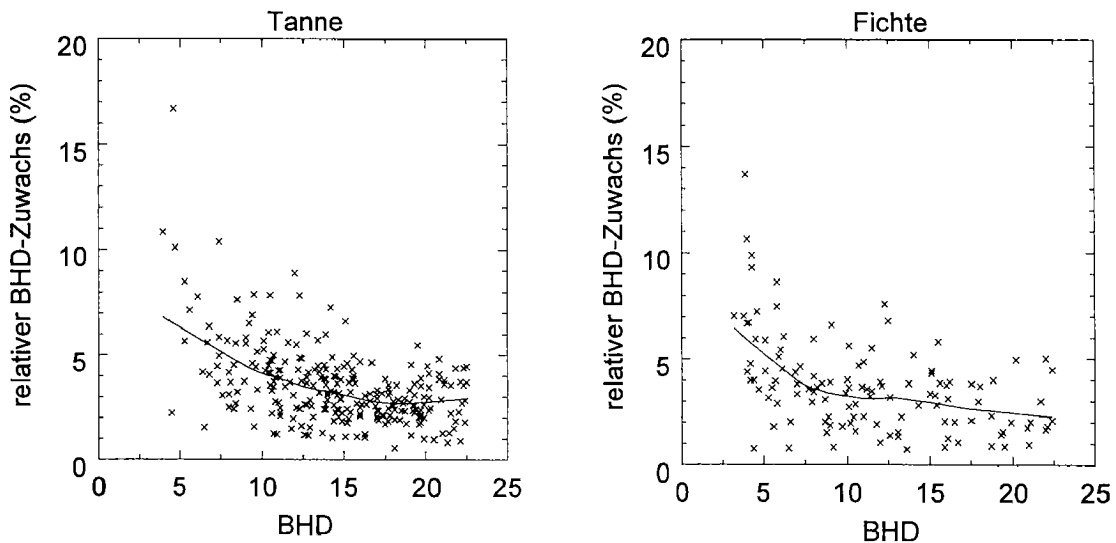


Abb. 7.1-2: Relativer BHD-Zuwachs von Tanne und Fichte in Abhängigkeit des BHD.

Die Verteilung des BHD-Zuwachses weicht signifikant von einer Normalverteilung ab ($W=0.951$, $\text{Prob}<W=0.0001$). Von den 391 Auslesebäumen, welche im Herbst 1995 gemessen werden konnten, wiesen 90 % der Bäume einen BHD- Zuwachs zwischen 1.67 mm und 8.33 mm auf. Die Werte für das erste Quartil, den Median und das dritte Quartil betragen 3.00, 4.25 und 5.67 mm/J. Mittels logistischer Regression wurde untersucht, welche Faktoren einen Einfluss auf die Bildung eines grossen Durchmesser-Zuwachses (>6 mm/J) haben. Das Ergebnis ist in Tab. A.7.1-2 und Tab. A.7.1-2 im Anhang dargelegt und in Tab. 7.1-1 zusammengefasst.

Tab. 7.1-1: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf den BHD-Zuwachs der Auslesebäume.

| | |
|----------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 391 Beobachtungen |
| Zielvariable | grosser BHD-Zuwachs (>6 mm/J) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Effekte | BHD-Stufe ^{***} , Beschattung ^{**} , Standort*, Konkurrenz*, Überschirmung* |
| Signifik. Variablen | positiv: DSTU S20 ^{***} , STAO=Ng*, GFK <20 ^{**} , GFK 20-30*, SKLA nicht überschirmt*, KKLA einzel*, negativ: DSTU S05 ^{**} , STAO=Nm ^{**} , KKLA mittel (*), |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20 , 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
 negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Einen signifikanten Einfluss auf den BHD-Zuwachs haben der Standort, die Grundfläche, die Überschirmung, die seitliche Konkurrenz und die BHD-Stufe. Einzeln wachsende, nicht überschirmte Auslesebäume mit kleiner Gesamt-Beschattung (GFK) und grossem BHD weisen einen grösseren BHD-Zuwachs auf als die übrigen Bäume. Beim Standort unterscheiden sich die guten Standorte am Nordhang von den mittleren und schlechten Standorten. Ein Unterschied zwischen den Baumarten kann nicht nachgewiesen werden, ist aber aufgrund von Abb. 7.1-1 für die BHD-Stufe 20 nicht von vorneherein auszuschliessen. Von den untersuchten Einflussfaktoren auf den BHD-Zuwachs kann aufgrund des Modelles keiner von vorneherein ausgeschlossen werden.

Weil die BHD-Stufe den grössten Einfluss auf den BHD-Zuwachs hat, wurde für die vertiefte Betrachtung der Einflussfaktoren auf den BHD-Zuwachs die Kovarianz-Analyse gewählt. Vorgängig wurde untersucht, welche der interessierenden metrischen Faktoren einen statistisch signifikanten Zusammenhang zum BHD-Zuwachs aufweisen. Die Ergebnisse (Tab. 7.1-2) zeigen, dass neben der Baumdimension (BHD/Höhe) und der Kronengrösse (absolute und relative Kronenlänge) auch die Gesamtbeschattung (GFLCN) und die Überschirmung (STN) bei beiden Baumarten signifikant mit dem BHD-Zuwachs korreliert sind. Die seitliche Konkurrenz, ausgedrückt durch die Konkurrenzzahl (KZ), ist dagegen nur bei der Fichte mit dem Zuwachs korreliert.

Tab. 7.1-2: Korrelationen zwischen dem BHD-Zuwachs und metrischen Einflussfaktoren.
 Spearman-Rangkorrelationskoeffizient r_s mit Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit p

| | BHD | Höhe | KLA | RKLA | GFLCN | STN | AKOPN | KZ |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BHD-Zuwachs | 0.42 | 0.40 | 0.52 | 0.32 | -0.40 | 0.43 | 0.07 | 0.20 |
| Fichte | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0001 | 0.4342 | 0.0245 |
| BHD-Zuwachs | 0.27 | 0.17 | 0.38 | 0.35 | -0.15 | 0.28 | -0.04 | -0.07 |
| Tanne | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0119 | 0.0001 | 0.4743 | 0.2740 |

Legende:

KLA= Kronenlänge (m)
 GFLCN= kummulierte Grundfläche nach Eingriff
 AKOPN= Anzahl potentielle Konkurrenten nach Eingriff

RKLA = relative Kronenlänge
 STN = Überschirmung nach Eingriff
 KZ = Konkurrenzzahl nach Schütz (1989)

Die Korrelation ist am engsten mit der absoluten Kronenlänge. Diese ist aber ihrerseits mit dem BHD korreliert, so dass nicht beide Einflussfaktoren in dasselbe lineare Modell einfließen sollten. Für die nachfolgend berechneten Modelle wurden deshalb der BHD (bessere Korrelation als die Höhe) und die vom BHD unabhängige relative Kronenlänge als Kovariablen gewählt und die andern vermuteten Einflussfaktoren klassenweise als "Behandlungen" betrachtet. In einem ersten Schritt wurde geprüft, ob das vollständige Modell für beide Baumarten und auf allen Standorten dieselben signifikanten Einflussfaktoren liefert. Da dies nicht der Fall war, wurden die Baumarten getrennt nach Standorten oder Expositionen ausgewertet. Schlussendlich ergaben sich folgende bestangepassten Modelle (Tab. 7.1-3):

Tab. 7.1-3: Lineare Modelle zur Beschreibung des Einflusses auf den BHD-Zuwachs.

| Baumart | Standort/ Exposition | n | F | P > F | R ² | signifikante Einflussvariablen |
|---------|-------------------------|-----|-------|--------|----------------|-----------------------------------|
| Fichte | Nord | 60 | 10.86 | 0.0001 | 0.50 | KKLA, BHD, RKLA |
| Fichte | Süd | 26 | 7.32 | 0.0005 | 0.65 | KKLA, (BHD), RKLA |
| Tanne | Nord gut | 127 | 16.69 | 0.0001 | 0.35 | SKLA, BHD, RKLA |
| Tanne | Nord mittel | 59 | 4.71 | 0.0025 | 0.26 | SKLA, RKLA |
| Tanne | Süd gut | 21 | 6.98 | 0.0015 | 0.70 | KKLA, BHD, RKLA |
| Tanne | Süd schlecht | 21 | 2.36 | 0.0909 | 0.44 | (KKLA), RKLA |

Legende:

n= Anzahl F= Test-Wert der F-Statistik

P > F: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation)

KKLA = Konkurrenzklasse

RKLA = relative Kronenlänge

SKLA = Schirmklasse

BHD und relative Kronenlänge haben auf den meisten Standorten bzw. Expositionen einen signifikanten Einfluss auf den BHD-Zuwachs. Auf den mittleren Standorten am Nordhang und auf den schlechten am Südhang ist der BHD-Zuwachs der Tanne jedoch unabhängig vom BHD. Bei den Fichten hat von den kategorialen Variablen die seitliche Konkurrenz den grössten Einfluss, bei den Tannen am Nordhang die Überschirmung, am Südhang ebenfalls die Konkurrenz.

Die mittels oben beschriebener Modelle berechneten Durchmesser-Zuwachswerte sind in den folgenden Abbildungen Abb. 7.1-3 bis Abb. 7.1-8 dargestellt.

Legende zu den Abb. 7.1-3 bis Abb. 7.1-8:

+ gemessene Einzelwerte

* berechnete Einzelwerte

mittlere Gerade = Regressionsgerade, welche sich aus der Berechnung des BHD-Zuwachses mit den in Tab. 7.1-3 tabellierten wichtigsten Einflussvariablen ergibt.

inneres Band = 95%-Vertrauensbereich der berechneten Regressionsgerade

äusseres Band = 95%-Vertrauensbereich der berechneten Einzelwerte.

Der Einfluss der seitlichen Konkurrenz wurde getrennt für die Tannen und Fichten auf mittleren bis guten Standorten am Nordhang berechnet. Die graphische Darstellung (Abb. 7.1-9) zeigt, dass sich sowohl fehlende (im Fall der Fichte) als auch grosse seitliche Konkurrenz (bei Tanne und Fichte) negativ auf den BHD-Zuwachs auswirken kann. Bei den Auslesebäumen mit einem bis drei Konkurrenten nimmt der Zuwachs mit zunehmendem BHD auf Werte von rund 6 mm pro Jahr zu. Bei Bäume mit starker seitlicher Konkurrenz (4 oder mehr) nimmt der BHD-Zuwachs nur schwach zu (Fichte) oder sogar leicht ab (Tanne). Wegen der geringen Zahl und der heterogenen Verteilung der Messwerte kann das Modell den Schnittpunkt der Regressionsgeraden mit der y-Achse in der Konkurrenzklasse gross jedoch bei beiden Baumarten nur ungenau berechnen. Der Geradenverlauf unterhalb von 5 cm BHD ist darum unsicher. Bei der Tanne fehlen Werte unterhalb von 8 cm BHD, weshalb die Regressionsgerade nicht bis 3 cm ausgezogen wurde.

Abb. 7.1-3 bis 7.1-8: BHD-Zuwachs der Fichte und Tanne, nach Standorten getrennt.

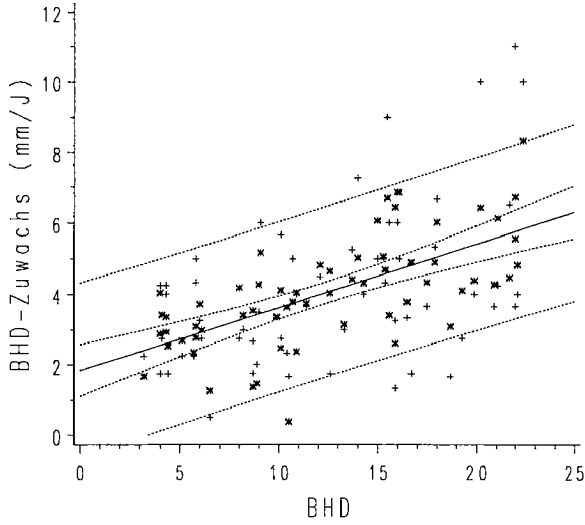


Abb. 7.1-3: Fichte, Nordexposition (n = 60).

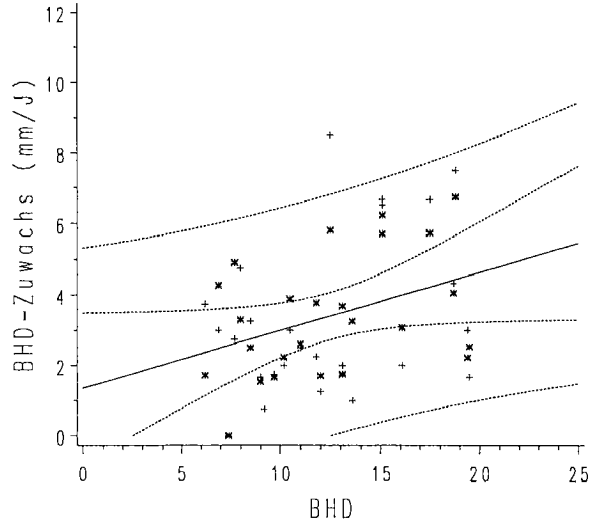


Abb. 7.1-4: Fichte, Südexposition (n = 26).

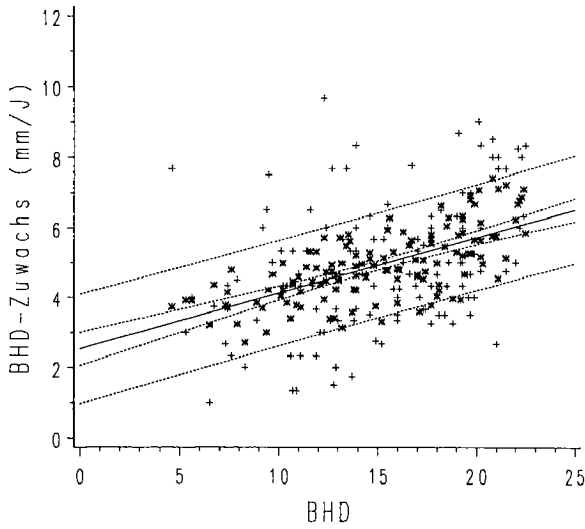


Abb. 7.1-5: Tanne, Stao = Nord gut (n = 127)

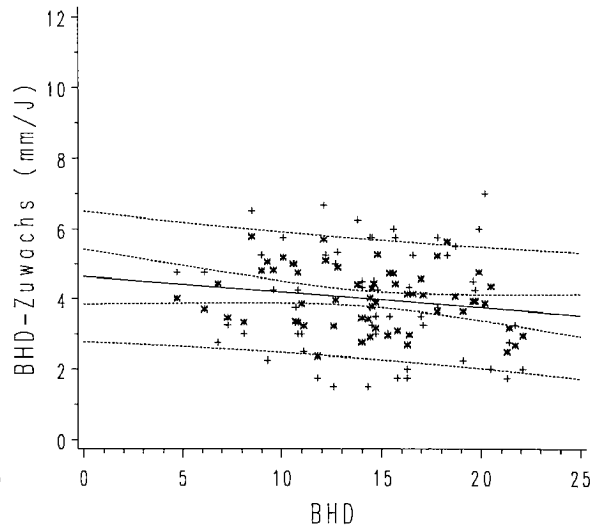


Abb. 7.1-6: Tanne, Stao = Nord mittel (n=59)

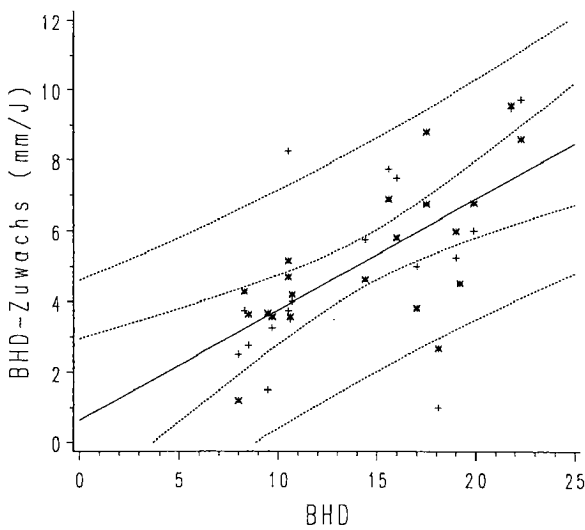


Abb. 7.1-7: Tanne, Standort Süd gut (n = 21)

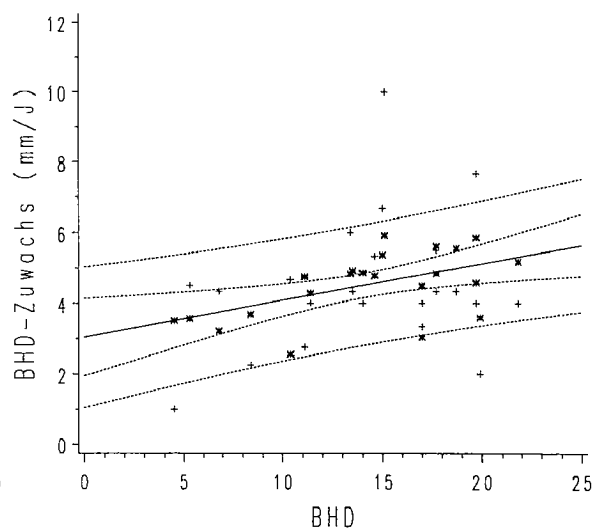


Abb. 7.1-8: Tanne, Stao Süd schlecht (n=21)

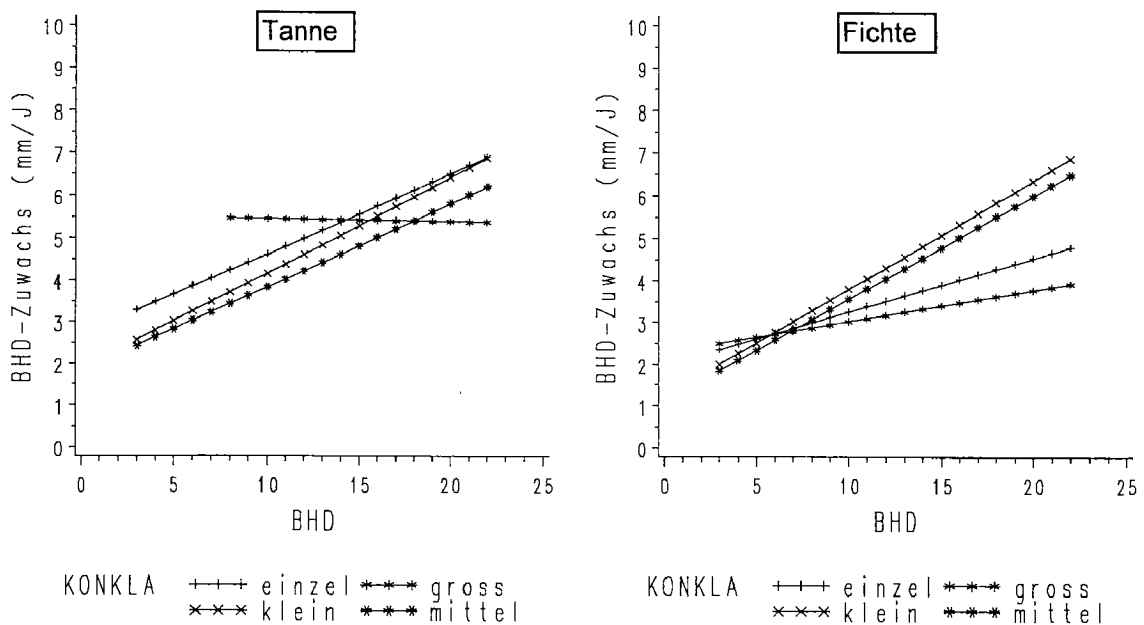


Abb. 7.1-9: Einfluss der Konkurrenz auf den BHD-Zuwachs von Tanne (n= 253) und Fichte (n=74) auf mittleren und guten Standorten am Nordhang.

Legende:

KONKLA= Konkurrenzklasse

einzel : 0 Konkurrenten

klein : 1 Konkurrent

mittel : 2 oder 3 Konkurrenten

gross : mehr als 4 Konkurrenten

Die relative Kronenlänge ist einheitlich auf 66.7 % festgelegt.

Der Einfluss der Überschirmung wurde berechnet für die Baumart Tanne auf guten Standorten am Nordhang. Die Darstellung (Abb. 7.1-10) zeigt, dass der BHD-Zuwachs der überschirmten Bäume weniger schnell zunimmt als derjenigen im Traufbereich oder unter freiem Himmel.

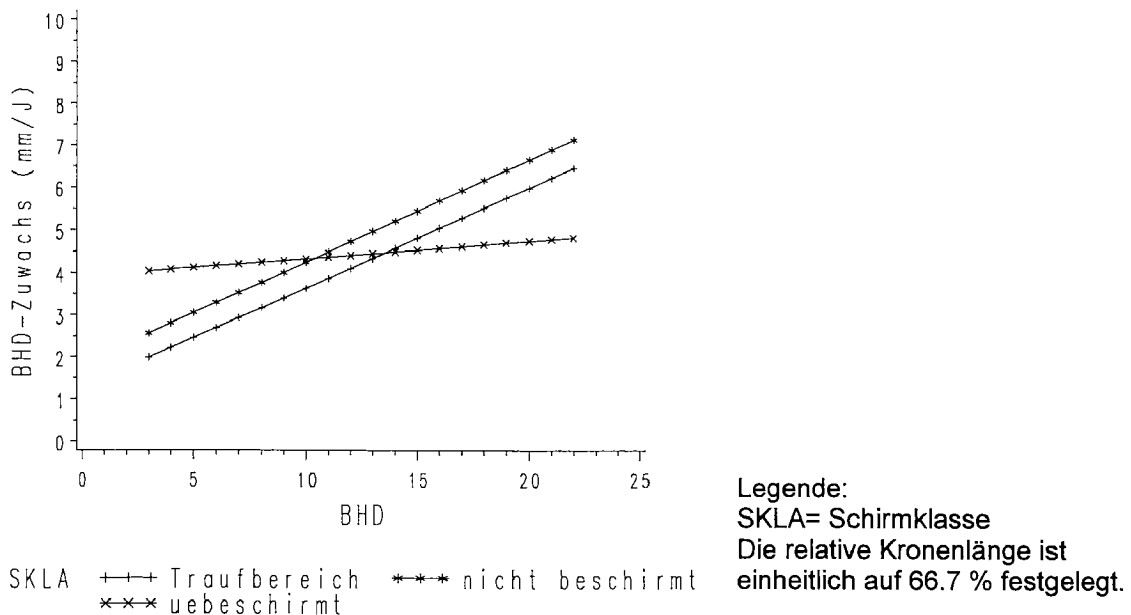


Abb. 7.1-10: Einfluss der Überschirmung auf den BHD-Zuwachs der Tanne, auf den guten Standorten in Nordexposition (n = 127).

Der Vergleich der Baumarten wurde nur für den guten Standort am Nordhang vorgenommen. Um den Einfluss der Überschirmung und der seitlichen Konkurrenz auszuschliessen, wurden nur Ausleseebäume mit kleiner bis mittlerer seitlicher Konkurrenz (1 bis 4 Konkurrenten) berücksichtigt, welche nicht überschirmt sind (Trauf oder frei). Die Regressionsgeraden von Fichte (n= 24) und Tanne (n= 69) sind für die berechneten Werte in Abb. 7.1-11 dargestellt.

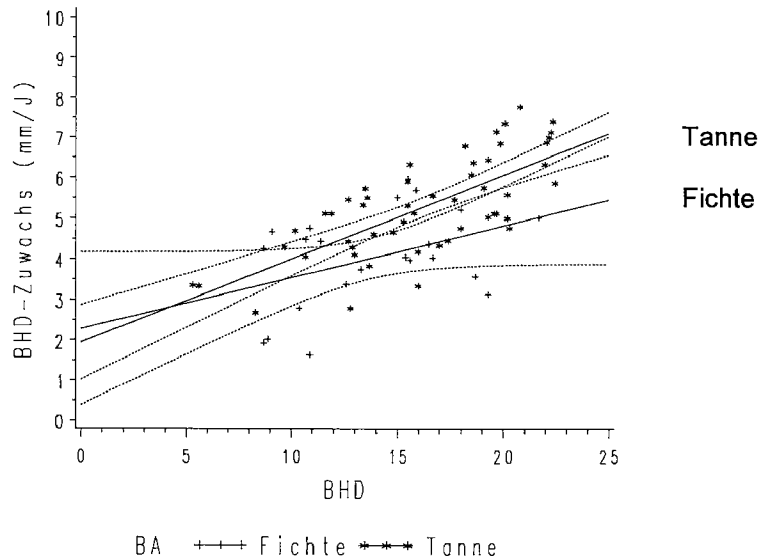


Abb. 7.1-11: Vergleich der berechneten BHD-Zuwachswerte von Tanne und Fichte, Regressionsgerade der Form $BHD\text{-Zuwachs} = a + b \cdot BHD + c \cdot RKLA$, mit 95%-VI.

Die Tanne weist tendenziell einen leicht grösseren BHD-Zuwachs bei gleichem BHD auf. Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sind jedoch auf dem 95%-Niveau nicht signifikant.

Der Einfluss der relativen Kronenlänge wurde für die nicht überschirmten oder im Traufbereich wachsenden Tannen mit kleiner bis mittlerer Konkurrenz auf guten Standorten am Nordhang überprüft (Abb. 7.1-12). Pro 10 % Zunahme der relativen Kronenlänge ergibt sich eine Zunahme des BHD-Zuwachses von rund 0.5 mm im Jahr. Ausleseebäume mit 67% relativer Kronenlänge erreichen bereits mit 20 cm BHD einen Durchmesser-Zuwachs von rund 6 mm/J.

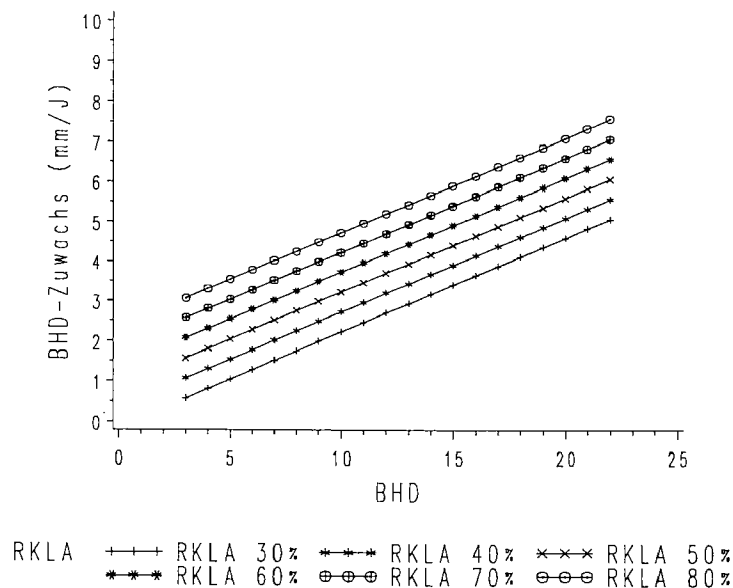


Abb. 7.1-12: Einfluss der relativen Kronenlänge auf den BHD-Zuwachs bei Tanne, auf guten Standorten am Nordhang, nicht "überschirmt".

7.2 Höhenzuwachs

7.2.1 Höhenzuwachs pro Zeitperiode und Einflussfaktoren

Der Höhenzuwachs der Auslesebäume nimmt insgesamt mit zunehmendem BHD zu (Abb. 7.2-2 bis Abb. 7.2-4). Bei der Tanne erfolgt die Zunahme des mittleren Höhenzuwachses nahezu linear, bei der Fichte ist die Zunahme nur bis 15 cm BHD linear, nachher flacht die Zuwachskurve ab. Wegen der geringen Zahl von Daten können daraus jedoch keine statistisch nachweisbaren Schlüsse gezogen werden. Zwischen den Baumarten gibt es keine grossen Unterschiede im Höhenzuwachs. Die Einzelwerte streuen in einem weiten Rahmen:

In der letzten Fünfjahresperiode von 15 cm bis 350 cm, d.h. zwischen 3 und 70 cm pro Jahr.

In den letzten 10 Jahren von 55 cm bis 725 cm, d.h. zwischen 5.5 und 72.5 cm pro Jahr.

In den letzten 20 Jahren von 140 bis 1200 cm, d.h. zwischen 7 und 60 cm pro Jahr.

Die Verteilung des Höhenzuwachses weicht signifikant von einer Normalverteilung ab. Die 382 Auslesebäume, deren Höhenzuwachs für die letzten 20 Jahre ermittelt werden konnte, weisen für die oben dargestellten Zuwachsperioden folgende statistische Kennwerte auf (Tab. 7.2-1):

Tab. 7.2-1: Statistische Kennwerte des Höhenzuwachses (cm) pro Periode.

| Periode | n | MW | STD | NVP | P<W | 5% | Q1 | MED | Q3 | 95% |
|---------|-----|-------|-------|-------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1987-91 | 382 | 168.8 | 70.6 | 0.978 | 0.0438 | 57 | 120 | 165 | 215 | 290 |
| 1982-91 | 382 | 326.6 | 128.0 | 0.970 | 0.0002 | 135 | 225 | 320 | 410 | 550 |
| 1972-91 | 382 | 580.6 | 222.5 | 0.967 | 0.0001 | 250 | 405 | 575 | 730 | 985 |

Legende:

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit.

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

Q3= 3. Quartil (75%)

Der relative Höhenzuwachs (= absoluter jährlicher Höhenzuwachs*100/Baumhöhe) liegt bei beiden Baumarten mit wenigen Ausnahmen zwischen 1 und 15 % pro Jahr (Abb. 7.2-1). Er ist nicht unabhängig von der Baumhöhe, sondern nimmt im Mittel von 10 (Ta) bis 13 % (Fi) auf 1 bis 2 % ab. Bei kleinen Nachwuchsbäumen ist also der Höhenzuwachs im Verhältnis zur Baumhöhe grösser als bei grossen Bäumen.

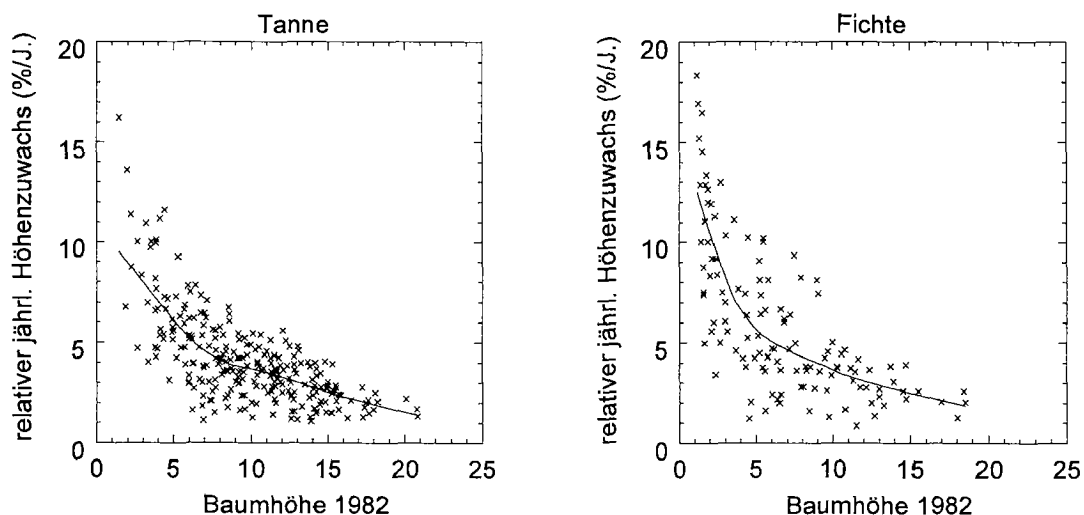


Abb. 7.2-1: Relativer jährlicher Höhenzuwachs (% pro Jahr) von Tanne und Fichte in Abhängigkeit der Baumhöhe 1982.

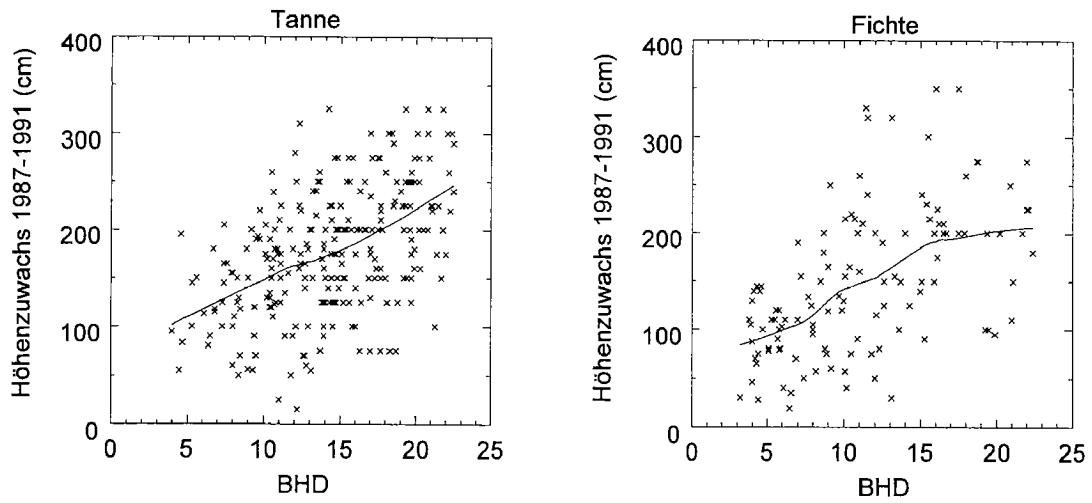


Abb. 7.2-2: Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre (1987 bis 1991) von Tanne und Fichte.

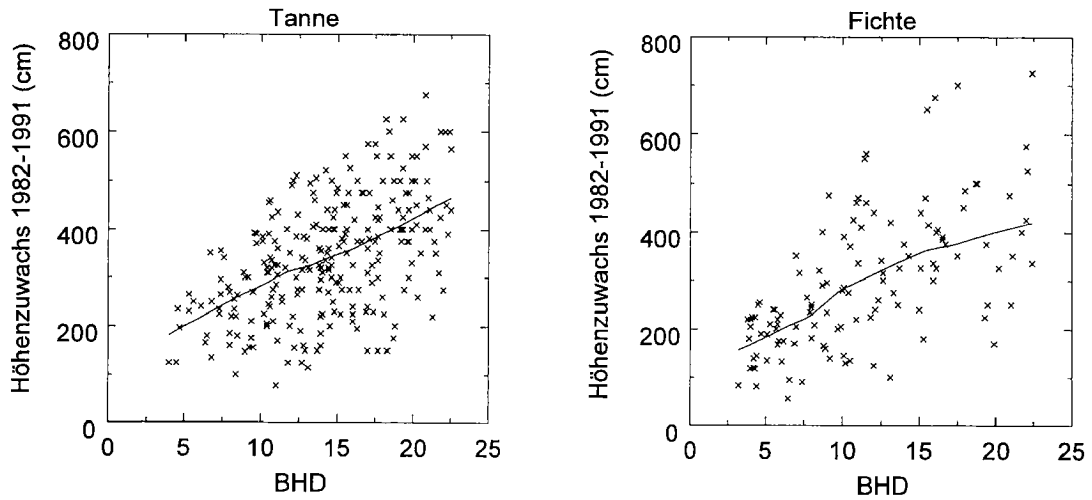


Abb. 7.2-3: Höhenzuwachs der letzten 10 Jahre (1982 bis 1991) von Tanne und Fichte.

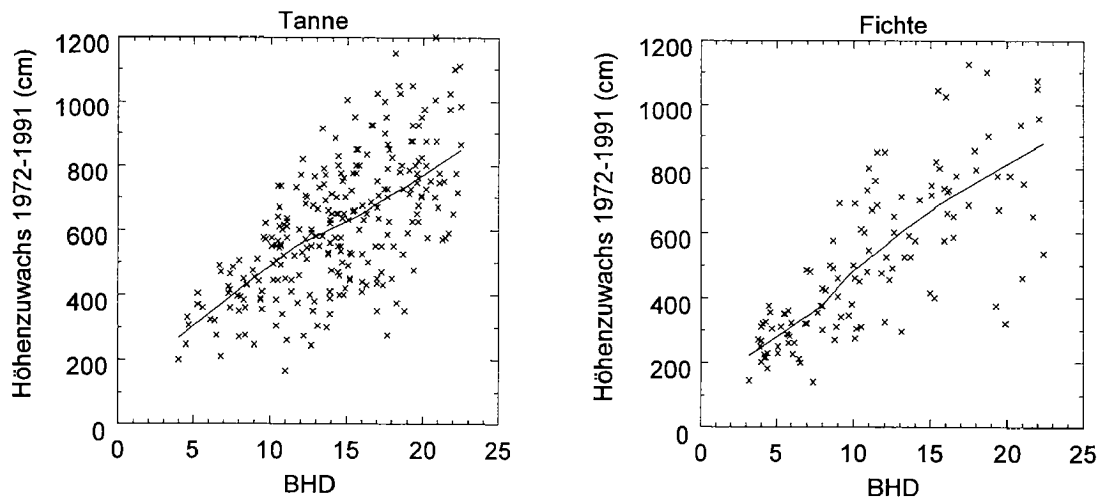


Abb. 7.2-4: Höhenzuwachs der letzten 20 Jahre (1972 bis 1991) von Tanne und Fichte.

Als Faktoren mit Einfluss auf den absoluten Höhenzuwachs der Auslesebäume wurden neben dem Durchmesser die Baumart, der Standort, die Beschattung, die Beschirmung, die seitliche Konkurrenz und die Kronenlänge vermutet. Weil die Kronenlänge mit dem BHD stark korreliert ist, wurde an dessen Stelle die relative Kronenlänge verwendet. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen Einfluss auf die Bildung eines kleinen Höhenzuwachses haben. Die Ergebnisse sind in den Tab. A.7.2-1 und Tab A.7.2-2 im Anhang dargestellt und in Tab. 7.2-2 zusammengefasst.

Tab. 7.2-2: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf den Höhenzuwachs der letzten 5 J.

| | |
|----------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 386 Beobachtungen |
| Zielvariable | kleiner absoluter Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre (< 100 cm) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA, RKLA |
| Signifikante Effekte | BHD-Stufe***, RKLA***, Standort**, Baumart * |
| Signifik. Variablen | positiv: DSTU S05***, DSTU S10*, RKLAK <60***, Fichte*, STAO=Nm*, GFK >50*, SKLA=Trauf (*) negativ: DSTU S15**, DSTU S20***, Tanne*, STAO=Na*, STAO=Ng(*), RKLA > 70*** |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]
 RKLA= relative Kronenlängen-Klasse (< 60%, 60-70%, > 70%)

Einen signifikanten Einfluss auf den Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre haben die Baumart, der Standort, die relative Kronenlänge und die BHD-Stufe. Auslesebäume der BHD-Stufen 5 und 10 mit kleiner relativer Kronenlänge (< 60%) weisen auf den mittleren Standorten am Nordhang einen geringeren Höhenzuwachs auf als die übrigen Bäume. Umgekehrt weisen Bäume mit grosser relativer Kronenlänge (> 70%) einen signifikant grösseren Höhenzuwachs auf. Zwischen den Baumarten Fichte und Tanne besteht ein signifikanter Unterschied. Von den untersuchten Einflussfaktoren auf den BHD-Zuwachs kann aufgrund des logistischen Modells die seitliche Konkurrenz und die Beschattung als unwesentlich ausgeschlossen werden.

Weil der Zusammenhang zwischen den wichtigsten Einflussfaktoren und dem Höhenzuwachs linear zu sein scheint, wurde für die vertiefte Betrachtung eine Kovarianz-Analyse durchgeführt. Vorgängig an die Modellierung wurde untersucht, welche der interessierenden metrischen Faktoren als Kovariaten in Frage kommen (Tab. 7.2-3). Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Baumdimension (BHD und Höhe) und die Kronengrösse (absolute und relative Kronenlänge, Kronenschirmfläche) als auch die Gesamtbeschattung (GFLCV) und die Überschirmung bei beiden Baumarten signifikant mit dem Höhenzuwachs korreliert sind. Die seitliche Konkurrenz dagegen, ausgedrückt mit der Konkurrenzzahl KZ, ist nicht mit dem Höhenzuwachs korreliert.

Tab. 7.2-3: Korrelationen zwischen Höhenzuwachs und metrischen Einflussfaktoren.

Spearman-Rangkorrelationskoeffizient r_s mit Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit p

| Einflussfaktor | BHD | Höhe | KLA | RKLA | KSFL | GFLCV | STV | KZ |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Höhenzuwachs | 0.59 | 0.63 | 0.76 | 0.37 | 0.54 | -0.38 | 0.45 | -0.04 |
| Fichte | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.6673 |
| Höhenzuwachs | 0.48 | 0.51 | 0.67 | 0.30 | 0.35 | -0.17 | 0.31 | 0.05 |
| Tanne | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0063 | 0.0001 | 0.3816 |

Legende:

KLA= Kronenlänge (m) RKLA= relative Kronenlänge KSFL= Kronenschirmfläche
 GFLCV= kummul. Grundfläche STV= Überschirmung vor Eingriff KZ= Konkurrenzzahl

Die Korrelation ist am engsten mit der absoluten Kronenlänge. Diese ist ihrerseits mit dem BHD korreliert, so dass nicht beide Einflussfaktoren in dasselbe lineare Modell einfließen sollten. Für die nachfolgend berechneten Modelle wurden deshalb der BHD als besser erfassbare Grösse und die BHD-unabhängige relative Kronenlänge als Kovariablen gewählt und die anderen vermuteten Einflussfaktoren klassenweise als "Behandlungen" betrachtet. In einem ersten Schritt wurde geprüft, ob das vollständige Modell für beide Baumarten und auf allen Standorten dieselben signifikanten Einflussfaktoren liefert. Da dies nicht der Fall war, wurden die Baumarten am Nordhang getrennt nach den Standorten Nord gut und Nord mittel und am Südhang, mangels genügender Daten, für die guten und schlechten Standorte gemeinsam ausgewertet (Tab. 7.2-4).

Tab. 7.2-4: Lineare Modelle zur Beschreibung des Einflusses auf den Höhenzuwachs.

| Baumart | Standort/ Exposition | n | F | P > F | R ² | signifikante (90 %) Einflussvariablen |
|---------|-------------------------|-----|-------|--------|----------------|---------------------------------------|
| Fichte | Nord gut | 35 | 24.47 | 0.0001 | 0.61 | BHD, RKLA |
| Fichte | Nord mittel | 26 | 27.23 | 0.0001 | 0.70 | BHD, RKLA |
| Fichte | Süd | 26 | 11.16 | 0.0001 | 0.68 | SKLA, BHD, RKLA |
| Tanne | Nord gut | 129 | 23.59 | 0.0001 | 0.49 | KKLA, BHD, RKLA |
| Tanne | Nord mittel | 58 | 12.15 | 0.0001 | 0.59 | GFK, BHD, RKLA |
| Tanne | Süd | 44 | 6.88 | 0.0003 | 0.41 | (SKLA, BHD), RKLA |

Legende:

n= Anzahl

P > F: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

RKLA= relative Kronenlänge

F= Test-Wert der F-Statistik

R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation)

SKLA= Schirmklasse (überschirmt, trauf, nicht ü.)

BHD und relative Kronenlänge haben, ausser bei der Tanne am Südhang, in jedem Modell einen signifikanten Einfluss auf den Höhenzuwachs. Bei der Fichte hat von den kategorialen Variablen am Nordhang keine einen signifikanten Einfluss, am Südhang die Überschirmung. Bei der Tanne ergibt sich kein einheitliches Bild. Auf den guten Standorten am Nordhang weist die seitliche Konkurrenz einen Einfluss auf, auf den mittleren die Beschattung und in Südexposition knapp nicht signifikant die Überschirmung. Zudem ist der Einfluss des Durchmessers dort gering. Die berechneten Werte des mittleren Höhenzuwachses sind in den Abb. 7.2-5 bis 7.2-10 dargestellt.

Legende zu den Abb. 7.2-5 bis 7.2-10:

+ gemessene Einzelwerte * berechnete Einzelwerte

mittlere Gerade = Regressionsgerade für berechneten BHD-Zuwachs

inneres Band = 95%-Vertrauensbereich der berechneten Regressionsgerade

äusseres Band= 95%-Vertrauensbereich der berechneten Einzelwerte.

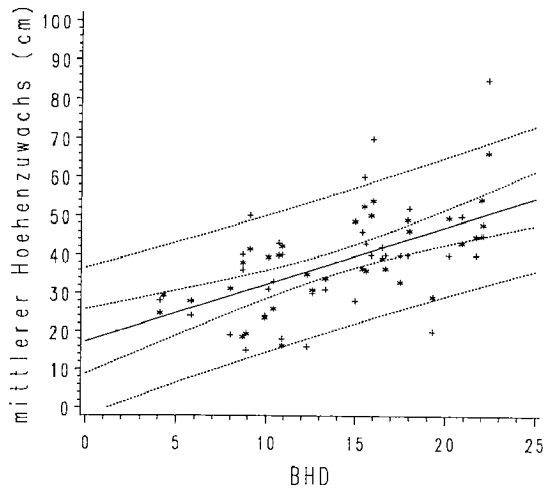


Abb. 7.2-5: Fichte, Stao= Nord gut (n = 35).

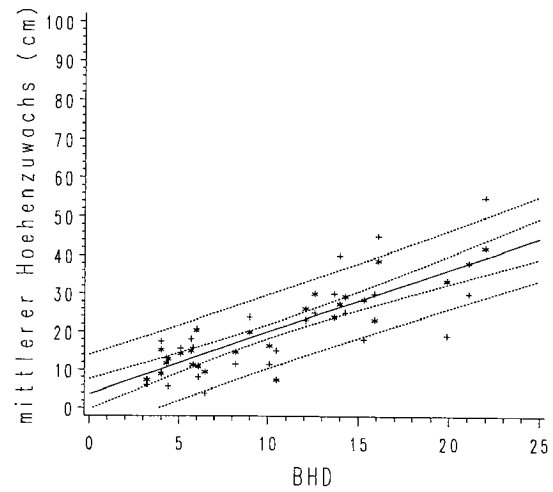


Abb. 7.2-6: Fichte, Stao= Nord mittel (n=26).

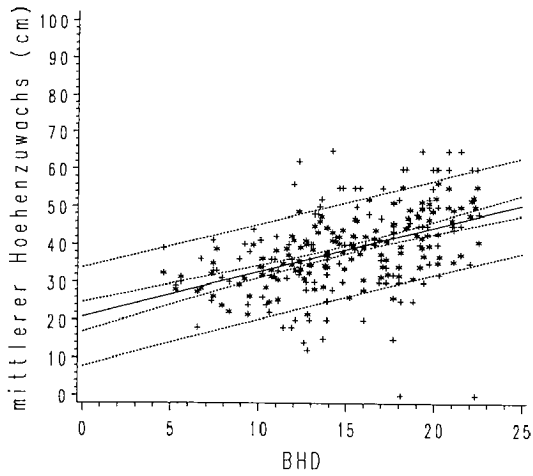


Abb. 7.2-7: Tanne, Stao= Nord gut (n = 129)

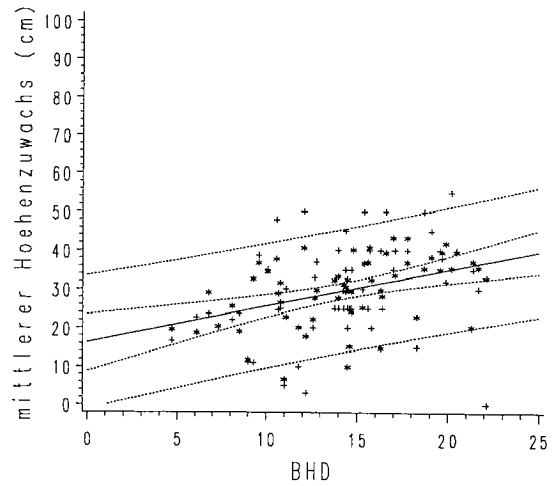


Abb. 7.2-8: Tanne, Stao= Nord mittel (n=58)

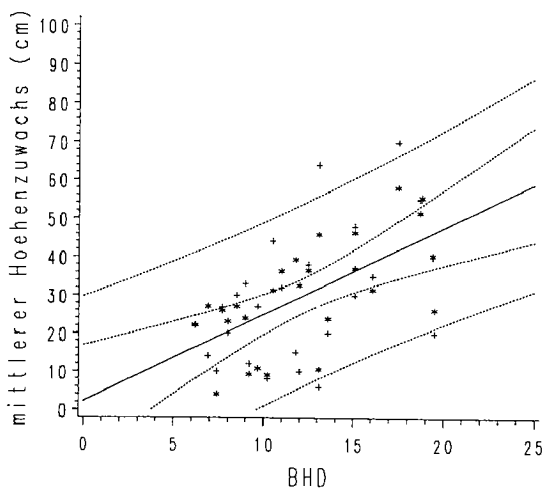


Abb. 7.2-9: Fichte, Südexposition (n= 26)

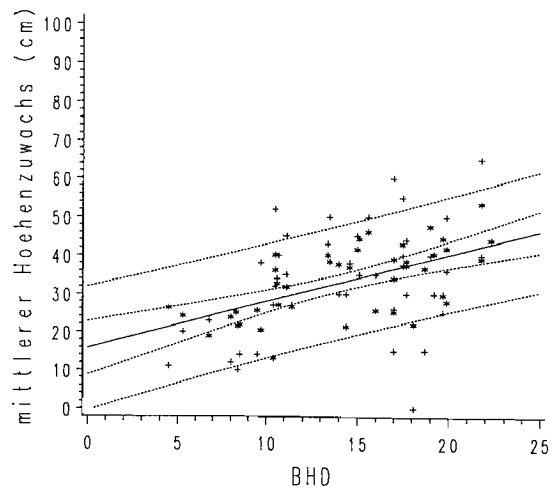


Abb. 7.2-10: Tanne, Südexposition (n= 44)

Der Einfluss der seitlichen Konkurrenz auf den Höhenzuwachs wurde für die Tanne auf guten Standorten am Nordhang berechnet. Die graphische Darstellung (Abb. 7.2-11) zeigt, dass die Unterschiede zwischen den Konkurrenzklassen trotz signifikantem Einfluss auf das Modell nicht sehr gross sind. Die Regressionsgerade verläuft bei den schwach konkurrenzierten Tannen etwas tiefer und weniger steil als bei den mittel oder stark konkurrenzierten Auslesebäumen. Die Unterschiede zwischen den Konkurrenzklassen sind jedoch nicht signifikant. Wegen der geringen Zahl und der heterogenen Verteilung der Messwerte kann das Modell den Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse in der Konkurrenzklasse gross nur ungenau berechnen.

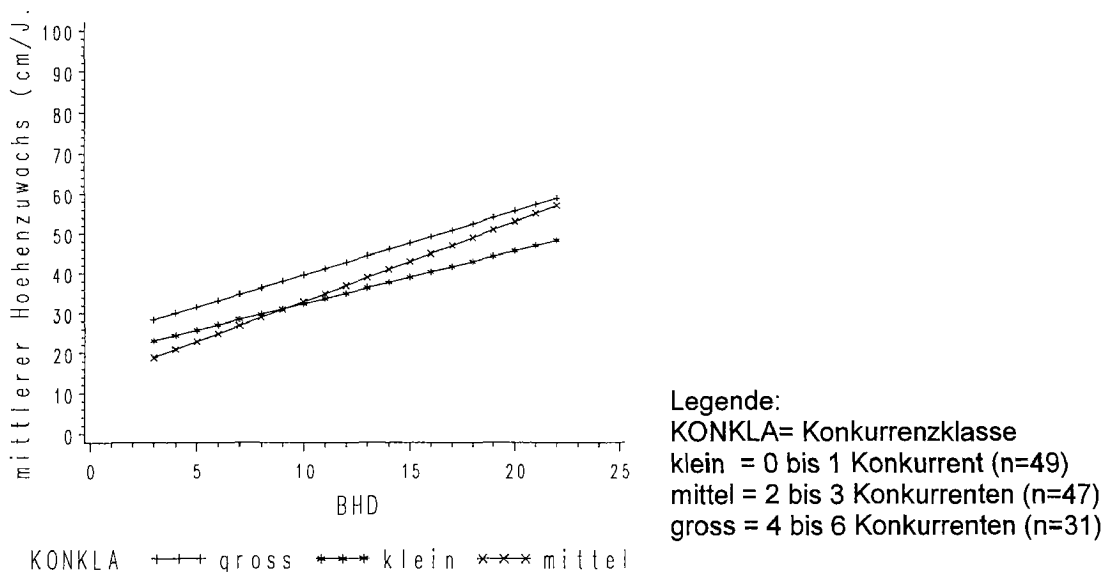


Abb. 7.2-11: Einfluss der Konkurrenz auf den Höhenzuwachs der Tanne in Nordexposition (n=127)

Die Überschirmung hat nur in Südexposition einen Einfluss auf den Höhenzuwachs (Tab. 7.2-4). Der Einfluss der Überschirmung wurde deshalb für die Baumarten Tanne und Fichte auf beiden Standorten am Südhang berechnet. Die Darstellung (Abb. 7.2-12) zeigt, dass der Höhenzuwachs der nicht überschirmten Bäume mit Zunahme des BHD deutlich schneller ansteigt als jener der überschirmten Bäume oder der Bäume im Traufbereich.

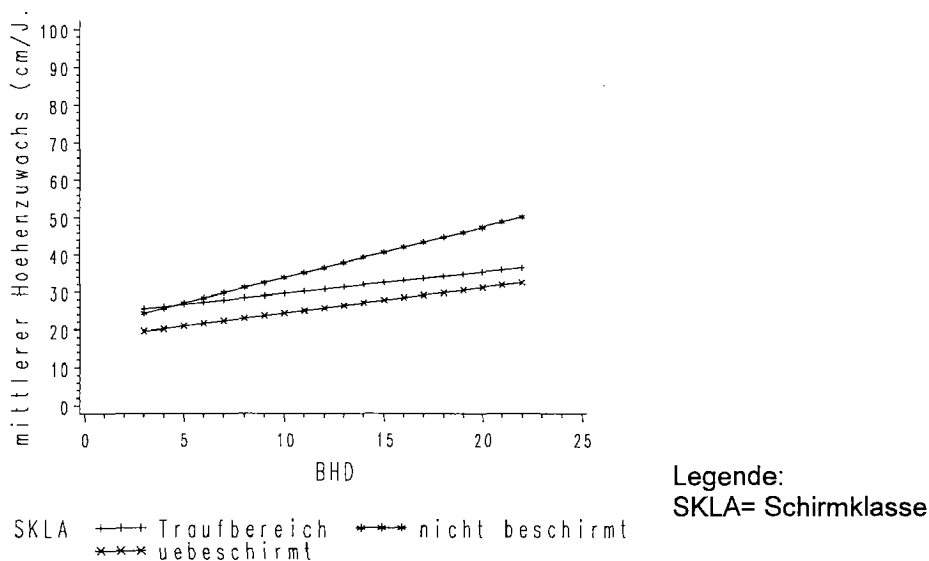


Abb. 7.2-12: Einfluss der Überschirmung auf den Höhenzuwachs von Tanne und Fichte in Südexposition (n = 70).

Der Vergleich der Baumarten wurde für den guten Standort am Nordhang und die Südexposition vorgenommen. Auf dem guten Standort in Nordexposition wurden für den Vergleich von Fichte (n= 28) und Tanne (n= 93) nur Ausleseebäume mit kleiner bis mittlerer Konkurrenz (1 bis 4 Konk.) berücksichtigt. Für den Vergleich der Baumarten in Südexposition mussten mangels genügender Datensätze alle Ausleseebäume (44 Tannen, 26 Fichten) berücksichtigt werden.

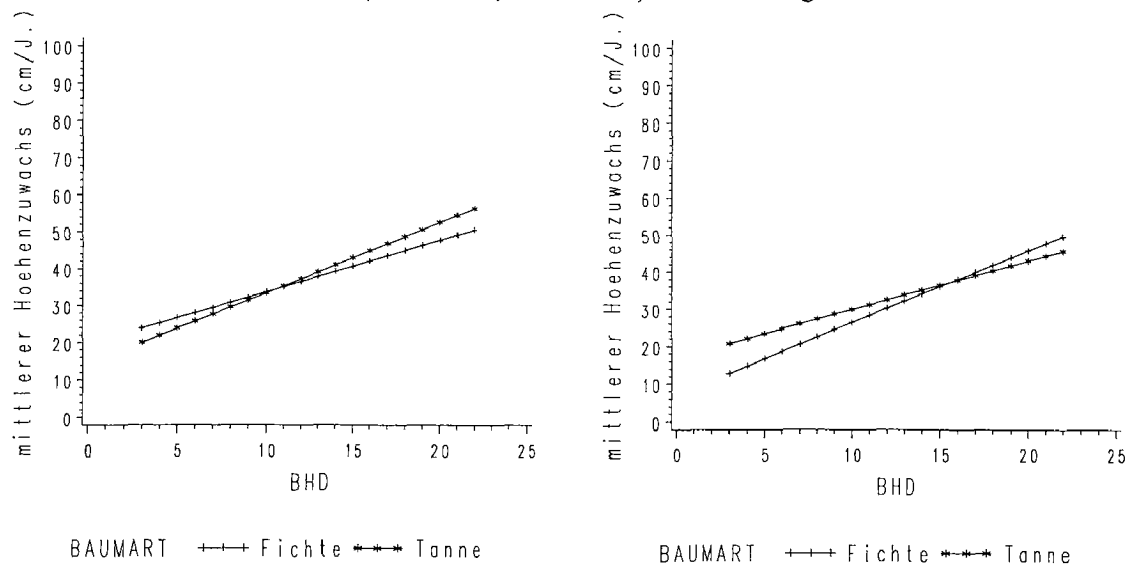


Abb. 7.2-13: Vergleich der berechneten Höhenzuwachswerte von Tanne und Fichte, Standort Nord gut (links) und Exposition Süd (rechts), relative Kronenlänge= 66.7%

Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sind sowohl auf dem guten Standort in Nordexposition als auch in Südexposition gering. Am Nordhang weist die Tanne tendenziell eine steilere Gerade auf (d.h. grössere Höhenzuwachs-Zunahme mit zunehmendem BHD), in Südexposition die Fichte. Die Unterschiede sind jedoch statistisch nicht signifikant.

Der Einfluss der relativen Kronenlänge wurde für die Tanne auf guten Standorten am Nordhang überprüft (Abb. 7.2-14). Um den Einfluss der seitlichen Konkurrenz auszuschliessen, wurden nur Bäume mit kleiner bis mittlerer Anzahl potentieller Konkurrenten berücksichtigt. Nachwuchs-bäume mit einer relativen Kronenlänge von 30% weisen im Mittel einen um 25 cm pro Jahr kleineren Höhenzuwachs auf als bäume mit einer relativen Kronenlänge von 80%.

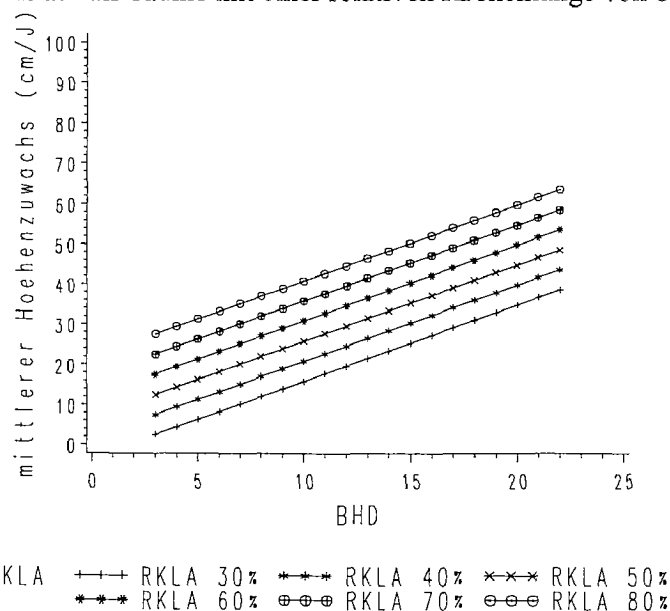


Abb. 7.2-14: Einfluss der relativen Kronenlänge auf den Höhenzuwachs bei Tanne, Standort = Nord gut (n = 93).

7.2.2 Entwicklung des Höhenzuwachses in den letzten 20 Jahren

Die durchschnittliche Entwicklung der Ausleseebäume ist aus der Abb. 7.2-15 ersichtlich. Der Median des Höhenzuwachses hat innerhalb der letzten vier Fünfjahres-Perioden von 120 auf 160 cm zugenommen, das erste Quartil von 80 auf 120, das dritte Quartil von 160 auf 210 cm. Die Unterschiede zwischen den untersuchten Fünfjahres-Perioden sind signifikant, ausser zwischen der ersten und der zweiten Periode.

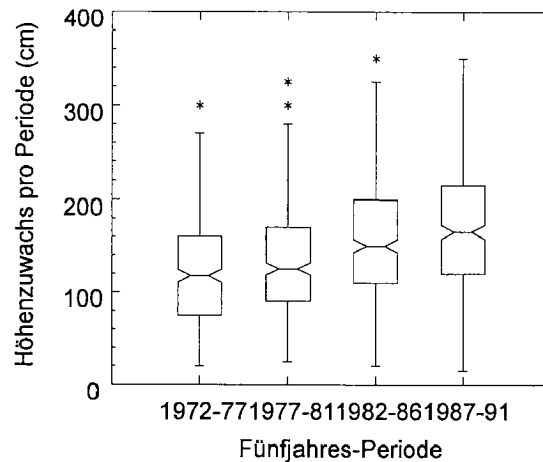


Abb. 7.2-15: Entwicklung des durchschnittlichen Höhenzuwachses von 1972 bis 1991.

Mehr als die mittlere Entwicklung interessiert die individuelle Höhenzuwachsentwicklung der 382 während der letzten 20 Jahre erfassten Ausleseebäume. Da die Variation der Höhenzuwachsgänge ausserordentlich gross ist, wurde eine gewisse Reduktion der Daten durch folgendes Vorgehen vorgenommen: Es wurden immer die Höhenzuwächse der zwei aufeinanderfolgenden Perioden miteinander verglichen und der Quotient

$$\text{HZPV}_x = \text{HZP}_{x+1} / \text{HZP}_x$$

HZPV = Höhenzuwachs-Periodenvergleich x

HZP_{x+1} = Höhenzuwachs der Periode x+1

HZP_x = Höhenzuwachs der Periode x

berechnet. Falls die Änderung weniger als 15% beträgt (Quotient 0.850 bis 1.15), wird als Wert 2 (=gleichbleibend) gesetzt, bei einer Zunahme des Höhenzuwachses von mehr als 15 % der Wert 3 (=zunehmend), bei einer Abnahme von mehr als 15 % entsprechend der Wert 1 (abnehmend). Aus den drei Vergleichen der vier Perioden lassen sich drei Werte berechnen, welche zu einer dreistelligen Zahl zusammengefügt werden können. Eine Zahl von 333 z.B. bedeutet, dass der Auslesebaum seinen Höhenzuwachs in jeder Periode gegenüber der vorangegangenen Periode um mindestens 15% steigern konnte. Theoretisch sind $3^3 = 27$ Kombinationen des Höhenzuwachsverlaufs möglich. Um diese theoretischen Möglichkeiten graphisch aufzuzeigen, wurde ein Relativwert des Höhenzuwachses (HZRW) berechnet. Als Relativwert zu Beginn (RWB) wurde null gesetzt. Bei zunehmendem Höhenzuwachs wird der Relativwert um 1 erhöht, bei gleichbleibendem unverändert belassen und bei abnehmendem Zuwachs um 1 reduziert. Die sich daraus ergebenden Zuwachsverläufe sind in der Abb. A.7.2-1 im Anhang dargestellt.

Beide Baumarten sind praktisch in allen theoretisch möglichen Entwicklungstypen vertreten (Tab. 7.2-5). Die häufigsten Typen, mit Anteilen von 4 und mehr %, sind 133, 222, 231, 232, 233, 322, 332 und 333, d.h. zum grössten Teil Typen mit einer Zunahme des Höhenzuwachses in den letzten 20 Jahren.

Tab. 7.2-5: Verteilung der Ausleseebäume von Tanne und Fichte auf Typen unterschiedlicher Höhenzuwachs-Entwicklung.

| Baumart | 111 | 112 | 113 | 121 | 122 | 123 | 131 | 132 | 133 | Total |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|
| Fichte (n) | 1 | 0 | 2 | 2 | 2 | 1 | 7 | 4 | 1 | 20 |
| Tanne (n) | 3 | 1 | 5 | 2 | 2 | 9 | 5 | 8 | 17 | 52 |
| Total % | 1.0% | 0.3% | 1.8% | 1.0% | 1.0% | 2.3% | 3.1% | 3.1% | 4.7% | 18.7% |
| Baumart | 211 | 212 | 213 | 221 | 222 | 223 | 231 | 232 | 233 | Total |
| Fichte (n) | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 4 | 11 | 9 | 7 | 45 |
| Tanne (n) | 2 | 4 | 12 | 6 | 13 | 11 | 12 | 28 | 12 | 100 |
| Total % | 1.0% | 1.6% | 3.9% | 2.3% | 4.4% | 3.9% | 6.0% | 9.6% | 4.9% | 37.6% |
| Baumart | 311 | 312 | 313 | 321 | 322 | 323 | 331 | 332 | 333 | Total |
| Fichte (n) | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 | 10 | 6 | 17 | 13 | 56 |
| Tanne (n) | 2 | 3 | 9 | 6 | 17 | 11 | 9 | 34 | 22 | 113 |
| Total % | 0.8% | 1.1% | 3.1% | 2.3% | 4.9% | 5.4% | 3.9% | 13.2% | 9.1% | 43.8% |

Die grosse Zahl von 27 Typen erlaubt noch keine klaren Aussagen zum Höhenzuwachs-Verlauf. Zusammenfassend wurde deshalb von jedem Typ die Quersumme seines Zahlenwertes berechnet. Eine Quersumme von 3 ergibt sich nur, wenn der Baum in jeder Periode im Vergleich zur Vorperiode einen kleineren Höhenzuwachs aufweist (Typ 111), eine Quersumme von 6, wenn der Baum immer gleich schnell oder einmal gleich, einmal langsamer und einmal schneller gewachsen ist als in der Vorperiode (Typen 222, 231, 213, 123, 132, 321, 312), eine Quersumme von 9 bei stetiger Zunahme des Höhenzuwachses (Typ 333). Die Verteilung der Ausleseebäume auf die Kategorien unterschiedlicher Quersummen (Tab. 7.2-6) zeigt, dass 85 % der Ausleseebäume im Untersuchungszeitraum von 20 Jahren einen mindestens gleichbleibenden Höhenzuwachs aufgewiesen haben. Bei 32 % der Ausleseebäume hat des Höhenzuwachs im selben Zeitraum stark zugenommen und nur bei 4 % stark abgenommen.

Tab. 7.2-6: Höhenzuwachs-Entwicklung der Ausleseebäume, nach Baumarten getrennt.

| Baumart | Quersumme des Typencode | | | | | | | Total |
|------------|-------------------------|------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------|---------------------|--------|
| | 3 starke Abnahme | 4 | 5 leichte Abnahme | 6 gleich- bleibend | 7 leichte Zunahme | 8 | 9 starke Zunahme | |
| Fichte (n) | 1 | 4 | 17 | 27 | 25 | 34 | 13 | 121 |
| Tanne (n) | 3 | 5 | 24 | 63 | 91 | 57 | 22 | 265 |
| Total % | 1.0% | 2.3% | 10.6% | 23.3% | 30.1% | 23.6% | 9.1% | 100.0% |

Zwischen den Baumarten besteht kein signifikanter Unterschied ($\chi^2 = 10.07$, Prob = 0.122).

8 Zustand der Aushiebe

8.1 BHD und Höhe in Abhängigkeit des Alters

Von 743 Aushieben zwischen 2.5 und 22.4 cm BHD standen Altersangaben zur Verfügung. Die geringe Anzahl der Angaben von Fichten und übrigen Laubbäumen erlauben keine getrennte statistische Auswertung für die BHD-Stufen S15 und S20. Die Altersangaben wurden deshalb pro Baumart für die BHD Stufen S05, S10 und S15/S20 analysiert (Tab. 8.1-1).

Tab. 8.1-1: Statistische Kennwerte der Altersverteilung pro Baumart und BHD-Stufe.

| STU | BA | n | MW | STD | NVP | P < W | Min. | Q1 | MED | Q3 | Max. |
|--------|---------|-----|------|------|------|-------|------|----|-----|-----|------|
| S05 | Tanne | 86 | 71.4 | 15.8 | 0.97 | 0.297 | 33 | 61 | 70 | 80 | 118 |
| S05 | Fichte | 21 | 56.7 | 17.2 | 0.93 | 0.134 | 30 | 43 | 59 | 72 | 82 |
| S05 | Buche | 90 | 43.5 | 14.6 | 0.96 | 0.015 | 19 | 34 | 42 | 52 | 79 |
| S05 | and.Lbb | 15 | 40.3 | 12.9 | 0.95 | 0.540 | 16 | 29 | 43 | 52 | 59 |
| S10 | Tanne | 97 | 82.6 | 18.3 | 0.97 | 0.095 | 44 | 70 | 82 | 92 | 135 |
| S10 | Fichte | 26 | 78.3 | 21.3 | 0.92 | 0.048 | 37 | 61 | 78 | 90 | 148 |
| S10 | Buche | 125 | 62.4 | 14.6 | 0.84 | 0.000 | 40 | 53 | 61 | 70 | 166 |
| S10 | and.Lbb | 11 | 49.3 | 8.8 | 0.93 | 0.383 | 33 | 46 | 52 | 55 | 64 |
| S15/20 | Tanne | 150 | 94.1 | 24.2 | 0.98 | 0.283 | 41 | 77 | 94 | 111 | 184 |
| S15/20 | Fichte | 19 | 77.7 | 19.8 | 0.79 | 0.001 | 54 | 68 | 72 | 82 | 144 |
| S15/20 | Buche | 89 | 75.5 | 15.4 | 0.97 | 0.099 | 41 | 64 | 76 | 84 | 129 |
| S15/20 | and.Lbb | 14 | 62.1 | 13.6 | 0.95 | 0.588 | 39 | 55 | 62 | 74 | 83 |

Legende:

STU= BHD-Stufe

BA= Baumart

and.Lbb= übrige Laubbäume

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit

Min.= Minimum

Q1= 1. Quartil (25%)

MED= Median (50%)

Q3= 3. Quartil (75%)

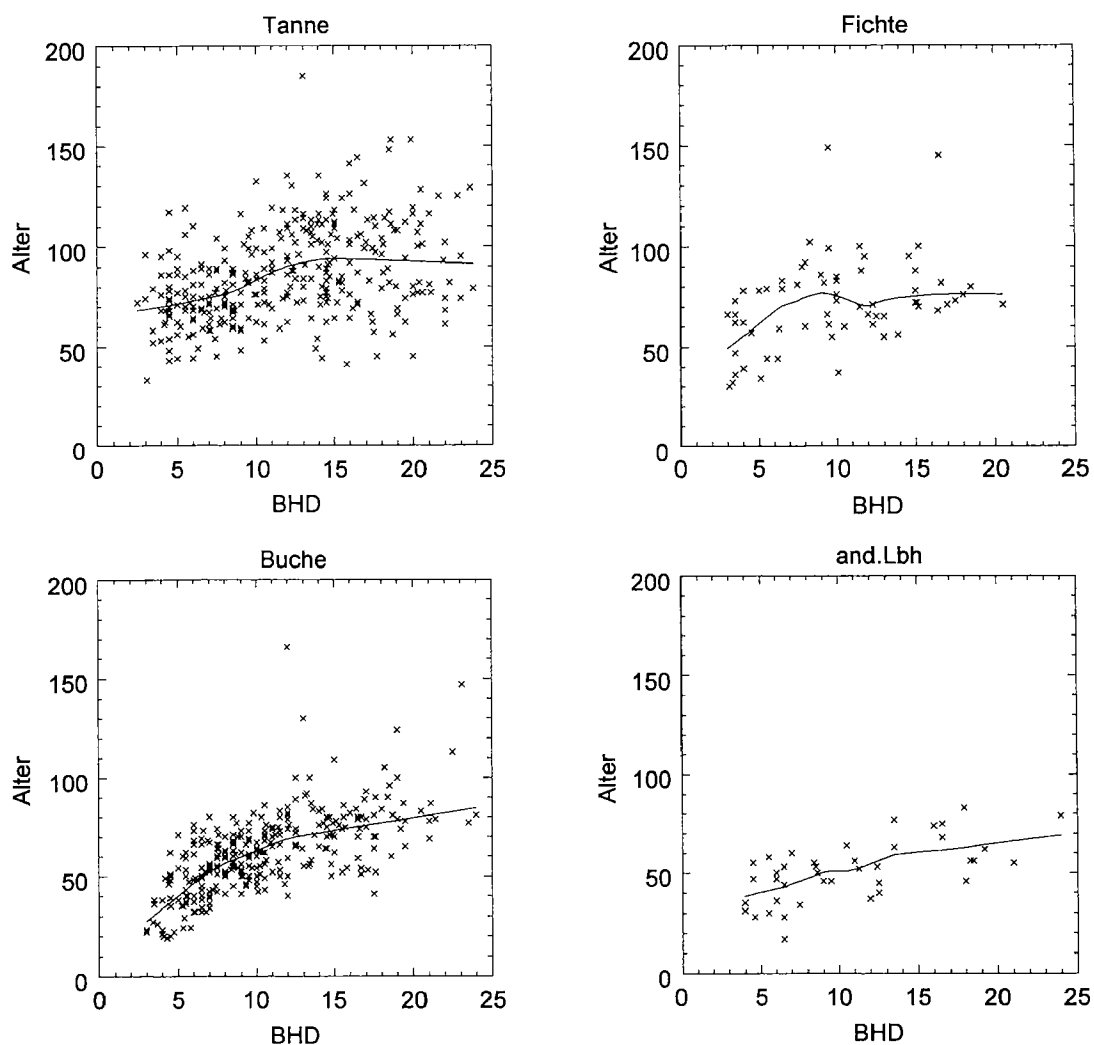
Max.= Maximum

Die Tanne weist in allen Durchmesserstufen das höchste mittlere Alter auf; in der BHD-Stufe S10 sind die Unterschiede zur Fichte jedoch gering. Bei den Stangen (Stufe S15/20) unterscheiden sich die Kennwerte der Buche kaum von jenen der Fichte. Die übrigen Laubbäume weisen in allen Stufen ein niedrigeres Alter auf als die Buchen. Das maximal festgestellte Alter betrug bei der Tanne 184 Jahre; bei der Buche übertraf es mit 166 Jahren jenes der Fichte (148 J.) um fast 20 Jahre. Allerdings handelt es sich dabei statistisch gesehen um Ausreisser.

In stufigen Wäldern ist die Durchmesser- und Höhenentwicklung weniger stark vom Baumalter abhängig als in gleichförmigen Wäldern. Aufgrund der Tab. 8.1-1 kann aber ein Zusammenhang zwischen Baumalter und Baumdimension (Höhe, BHD) vermutet werden. Die Abb. 8.1-1 a bis d zeigen, dass das Alter der Nachwuchsbäume im Aushieb nur bis zu einem BHD von ca. 12,5 cm zunimmt. Darüber besteht offensichtlich keine Abhängigkeit mehr zwischen Alter und BHD, zumindest bei den Aushieben im Nachwuchs.

Das Alter der Aushiebe ist wesentlich weniger stark mit dem BHD und der Baumhöhe korreliert als diese untereinander (Tab. 8.1-2). BHD und Höhe weisen insbesondere bei Fichte und Tanne eine sehr enge Abhängigkeit auf. Bei den Laubbäumen ist das Alter recht stark mit dem BHD, etwas schwächer auch mit der Höhe korreliert. Die geringe Korrelation zwischen Alter und Baumdimension könnte auf die Wirkung des langsamen Jugendwachstums zurückgeführt werden. Zusätzlich zu den erwähnten Grössen wurden deshalb auch die Korrelationen zwischen der Baumdimension und dem korrigierten Alter (= Gesamalter minus Engkernalter) bzw. dem korrigierten BHD (BHD minus BHD Engkern) berechnet. Das korrigierte Alter weist einen wesentlich engeren Zusammenhang zur Baumdimension auf als das physikalische Alter. Zum korrigierten Durchmesser ergibt sich bei allen Baumarten ein enger Zusammenhang mit Rangkorrelationskoeffizienten von mehr als 0,7.

Abb. 8.1-1, a bis d: Abhängigkeit zwischen BHD und Alter, nach Baumarten getrennt.



Tab. 8.1-2: Rangkorrelationen nach Spearman zwischen Alter und metrischen Grössen.

| Baumart | Variable | ALTER | BHD | HOEHE | ALTKOR |
|----------|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Tanne | BHD | 0.37 | | | |
| Tanne | HOEHE | 0.31 | 0.90 | | |
| Tanne | ALTKOR | 0.36 | 0.60 | 0.60 | |
| Tanne | BHDKOR | 0.18 | 0.88 | 0.82 | 0.80 |
| Fichte | BHD | 0.34 | | | |
| Fichte | HOEHE | 0.27 | 0.95 | | |
| Fichte | ALTKOR | 0.46 | 0.53 | 0.55 | |
| Fichte | BHDKOR | 0.18 | 0.90 | 0.89 | 0.73 |
| Buche | BHD | 0.66 | | | |
| Buche | HOEHE | 0.60 | 0.80 | | |
| Buche | ALTKOR | 0.52 | 0.51 | 0.46 | |
| Buche | BHDKOR | 0.46 | 0.87 | 0.70 | 0.75 |
| and. Lbb | BHD | 0.51 | | | |
| and. Lbb | HOEHE | 0.41 | 0.60 | | |
| and. Lbb | ALTKOR | 0.63 | 0.61 | 0.43 | |
| and. Lbb | BHDKOR | 0.40 | 0.96 | 0.59 | 0.71 |

Legende: ALTKOR= Alter - Alter Engkern BHDKOR= BHD - mittlerer BHD Engkern

Mittels logistischer Regression wurde geprüft, welche der vermuteten kategorialen Einflussfaktoren Baumart, Standort, BHD-Stufe und Aushiebsgrund den Anteil an über 70-jährigen Bäumen beeinflussen. Das Ergebnis ist in Tab. A.8.1-1 und Tab. A.8.1-2 im Anhang dargestellt und in Tab. 8.1-3 zusammengefasst.

Tab. 8.1-3: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf das Alter der Aushiebe.

| | |
|----------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 743 Beobachtungen |
| Zielvariable | hohes Alter (> 70 Jahre) |
| untersuchte Effekte | Baumart, BHD-Stufe, Standort |
| Signifikante Effekte | BHD-Stufe ***, Baumart ***, Standort *** |
| Signifik. Variablen | positiv: DSTU S15***, DSTU S20***, Tanne***, Fichte**, STAO=Nm*** negativ: DSTU S05***, DSTU S10**, Buche**, and.Lbh.***, STAO=Na*** |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
negativ= hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Zwischen den Baumarten, den Standorten und den BHD-Stufen bestehen hochsignifikante Unterschiede. Das logistische Modell ist allerdings nicht sehr geeignet ($p > \chi^2 = 0,0004$).

Auf eine detaillierte Interpretation wurde deshalb verzichtet.

In einem zweiten Schritt wurde versucht, den Einfluss verschiedener Faktoren und ihrer Interaktionen auf das Alter der Tannen zu berechnen. Dazu erfolgte eine Reduktion auf drei Standorte (Nord gut, Nord mittel und Süd) und drei Klassen von Aushiebsgründen (Konkurrenten, negative Auslese, andere Gründe. Der Standort und die BHD-Stufe haben als Haupteffekte einen signifikanten Einfluss (Tab. 8.1-4); zwischen den Klassen mit unterschiedlichem Aushiebsgrund dagegen besteht kein Unterschied. Das logistische Modell ist ebenfalls nicht sehr geeignet ($p > \chi^2 = 0,0079$), weshalb auf eine weitergehende Interpretation verzichtet wird.

Tab. 8.1-4: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf das Alter der Tannen-Aushiebe.

| | |
|-------------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 299 Beobachtungen |
| Zielvariable | hohes Alter (> 80 Jahre) |
| untersuchte Effekte | DSTU, STAO, AHG, DSTU*STAO, DSTU*AHG, STAO*AHG |
| Signifikante Haupteffekte | BHD-Stufe ***, Standort *** |
| Signifik. Interaktionseffekte | STAO*AHG * |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: Nm**, DSTU S15***, Ng*S20*, Süd*S05*, Ng*and*, Nm*neg* negativ: DSTU*S05**, Nm*S20*, Nm*and.**, Ng*neg.* |

Legende:

DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
AHG = Aushiebsgrund (Konkurrent (Konk.), negativ (neg.), andere (and.))
positiv= hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Wegen der grossen Altersstreuung und der fehlenden linearen Abhängigkeit wurde auf die Modellierung der Beziehung zwischen Alter und BHD oder Höhe verzichtet. Statt dessen wurde versucht, durch Einschränkung der Datenmenge die überlagernden Einflüsse auszuschliessen und die Wirkung der Haupteffekte auf das Alter graphisch darzustellen.

Der Unterschied zwischen den Baumarten wurde an den Bäumen mit BHD von 12.5 bis 22.4 cm (Bereich mit der kleinsten Abhängigkeit zwischen BHD und Alter) dargestellt (Abb. 8.1-2).

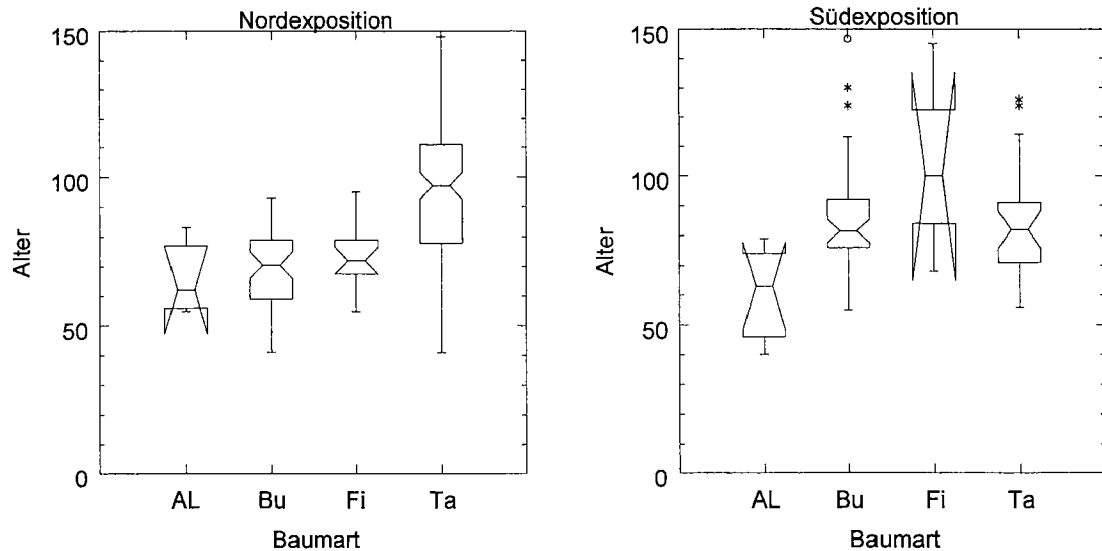


Abb. 8.1-2: Vergleich der Baumarten bezüglich des Baumalters, nach Exposition getrennt
 Legende: AL = übrige Laubbäume Bu = Buche Fi = Fichte Ta = Tanne

In Nordexposition weisen die Tannen im Bereich 12.5 bis 22.4 cm mit Abstand das höchste Alter auf, mit einem Median von rund 100 Jahren. Die Buchen, Fichten und übrige Laubbäume weisen einen Median von 60 bis 70 Jahren auf und unterscheiden sich nicht signifikant. In Südexposition sind die Fichten im Bereich 12.5 bis 22.4 cm tendenziell älter als die Tannen und Buchen; die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Die übrigen Laubbäume dagegen sind signifikant jünger als die beiden Nadelbaumarten und die Buchen.

Der Einfluss des Standortes wurde für die Baumarten Tanne und Buche an Bäumen mit einem BHD zwischen 12.5 und 22.4 cm dargestellt (Abb. 8.1-3).

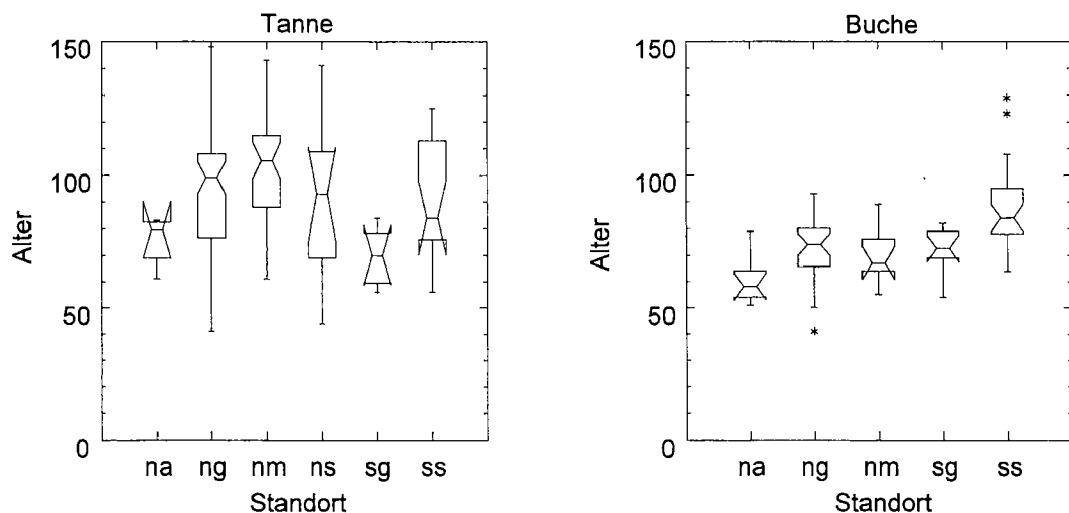


Abb. 8.1-3: Unterschiede im Alter zwischen den Standorten, für die Tanne und Buche.

Legende:

na= Nord ausgezeichn. ng= Nord gut nm= Nord mittel sg= Süd gut ss= Süd schlecht
 Die untersuchten Tannen sind auf dem besten Standort (na) in Nordexposition und auf dem guten Standort in Südexposition signifikant jünger als auf den übrigen Standorten. Die Buchen auf dem besten Standort am Nordhang weisen ebenfalls ein signifikant kleineres, jene auf geringwüchsigen Standorten am Südhang ein deutlich höheres Baumalter auf als auf den übrigen Standorten.

Die Abhängigkeit zwischen Alter und 2,5cm-BHD-Stufe wurde für die Baumarten Tanne und Buche und für die mittleren und guten Standorte am Nordhang dargestellt (Abb. 8.1-4).

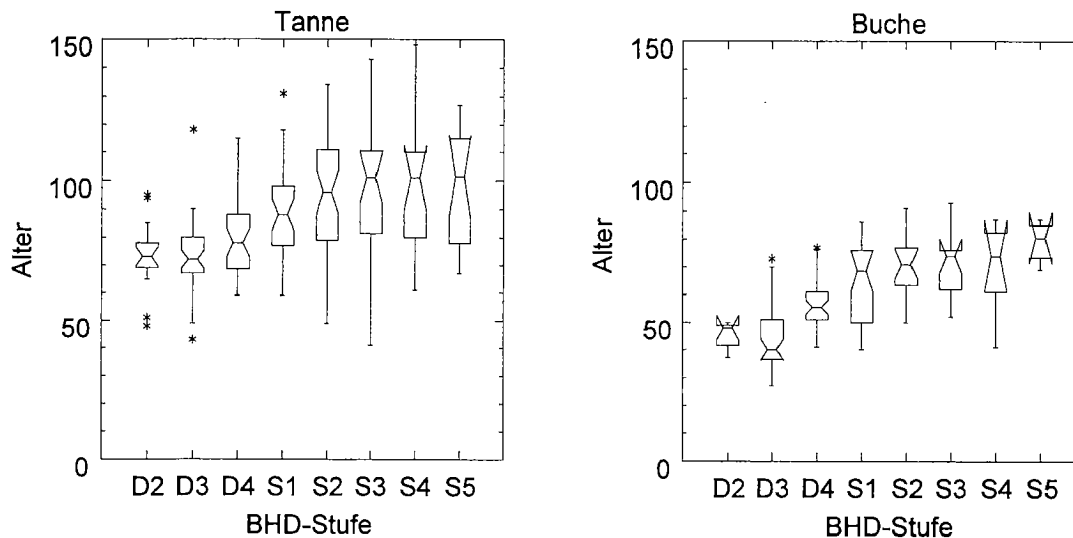


Abb. 8.1-4: Abhängigkeit zwischen BHD und Alter bei der Tanne und der Buche, auf mittleren bis guten Standorten in Nordexposition.

Das mittlere Alter der Aushiebe steigt bei der Tanne nur bis zur Stufe S2 (12,5-14,9 cm BHD) und bei der Buche bis zur Stufe S1 (10,0-12,4 cm BHD) an, darüber ist das Alter mehr oder weniger unabhängig vom BHD. Die statistischen Kennwerte der Altersverteilung pro Durchmesserstufe von Tanne und Buche auf mittleren und guten Standorten in Nordexposition sind in Tab. 8.1-5 angegeben. Bei gleichem Durchmesser weisen die Tannen durchschnittlich ein um rund 30 Jahre höheres Alter auf als die Buchen. Zwischen dem Alter der Nachwuchsbäume in BHD-Stufe 15 und 20 bestehen sowohl bei Tanne als auch bei Buche kaum Unterschiede.

Tab. 8.1-5: Statistische Kennwerte der Altersverteilung von Tanne und Buche, pro Durchmesserstufe, auf mittleren und guten Standorten in Nordexposition.

| BA | STU | n | MW | STD | NVP | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|-------|-----|----|------|------|------|-----|----|-----|-----|-----|
| Tanne | S05 | 68 | 72.5 | 14.2 | 0.99 | 49 | 64 | 72 | 80 | 95 |
| Tanne | S10 | 75 | 85.8 | 18.4 | 0.94 | 61 | 71 | 86 | 99 | 119 |
| Tanne | S15 | 81 | 95.3 | 21.9 | 0.97 | 62 | 80 | 99 | 111 | 131 |
| Tanne | S20 | 43 | 96.3 | 25.8 | 0.97 | 61 | 77 | 100 | 112 | 148 |
| Buche | S05 | 53 | 40.4 | 13.2 | 0.95 | 20 | 32 | 40 | 48 | 68 |
| Buche | S10 | 75 | 61.3 | 17.0 | 0.78 | 42 | 51 | 59 | 71 | 82 |
| Buche | S15 | 35 | 68.1 | 11.7 | 0.95 | 51 | 56 | 70 | 76 | 91 |
| Buche | S20 | 14 | 72.1 | 13.8 | 0.91 | 41 | 64 | 76 | 83 | 87 |

Legende:

n= Anzahl

NVP=Normalverteilungsprüfung

MED= Median (50%)

BA= Baumart

MW= Mittelwert

P05= 5%-Perzentil

Q3= 3. Quartil (75%)

STU=Durchmesserstufe

STD=Standardabweichung

Q1= 1.Quartil (25%)

P95= 95%-Perzentil

Im gleichförmigen Hochwald besteht die stärkste Abhängigkeit zwischen dem Alter und der Baumhöhe, indem nämlich die Höhe eine standortsabhängige Funktion des Alters ist. Im Plenterwald führt die Überschildung und Beschattung der Nachwuchspflanzen zu einem verminderten Höhenzuwachs, welcher je nach Lichtbedingungen starken Schwankungen unterliegt. Anhand der Kovarianzanalyse wurde geprüft, ob das Alter einen signifikanten Einfluss auf die erreichte Baumhöhe hat und ob diese Beziehung im Nachwuchsbereich linear verläuft (Tab. 8.1-6). Als kategoriale Einflussvariable wurde dabei nur der Standort berücksichtigt.

Tab. 8.1-6: Lineare Modelle zur Beschreibung des Alterseinflusses auf die Baumhöhe.

| Baumart | n | F | P > F | R ² | signifikante Variablen | P < W |
|---------|-----|------|-------|----------------|------------------------|-------|
| Tanne | 328 | 10.9 | 0.000 | 0.17 | Standort, Alter | 0.000 |
| Fichte | 63 | 7.6 | 0.000 | 0.45 | Standort, Alter | 0.793 |
| Buche | 237 | 34.8 | 0.000 | 0.48 | Standort, Alter | 0.252 |
| and.Lbh | 19 | 6.8 | 0.004 | 0.58 | Standort, Alter | 0.943 |

Legende:

n= Anzahl
F= Test-Wert der F-Statistik
R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation)P > F: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit
P < W: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit NVP.

Bei allen Baumarten haben Standort und Alter einen signifikanten Einfluss auf die Baumhöhe. Bei der Tanne erklären Standort und Alter nur 17 % der Baumhöhenvarianz, bei der Fichte immerhin 45 %, bei der Buche 48% und bei den übrigen Laubbäumen gar 58%. Die Residuen sind in allen Modellen ausser bei der Tanne normalverteilt (P < W grösser als 0,10)

Die Verteilung der Baumhöhen pro Altersklasse sind in den Abb. 8.1-5 bis Abb. 8.1-6 dargestellt. Charakteristisch für die Tanne ist eine sehr grosse Streuung der Höhenwerte innerhalb der Altersklassen. Die Baumhöhen der Nachwuchstannen in Südexposition sind unabhängig vom Alter, in Nordexposition und bei der Buche ist ein deutlicher Alterstrend erkennbar.

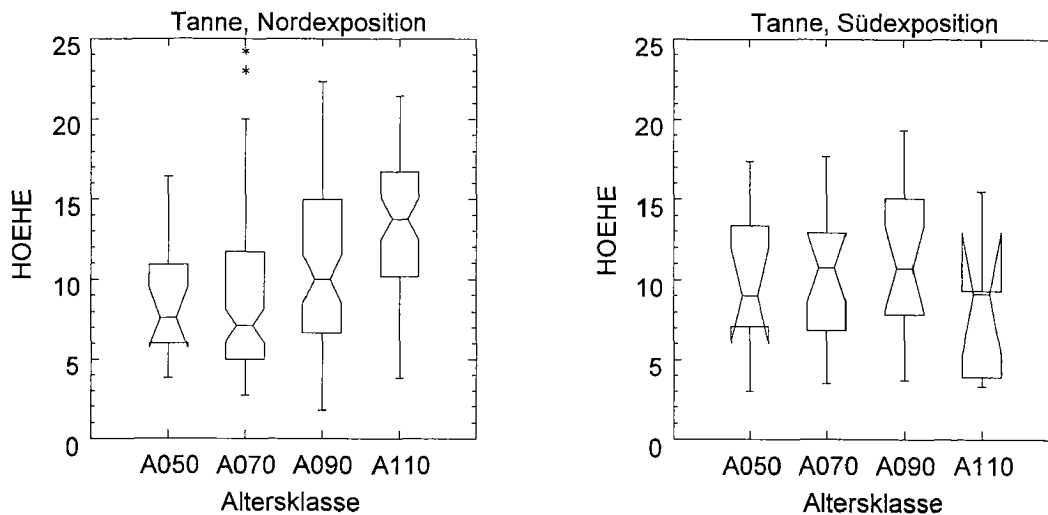


Abb. 8.1-5: Höhenverteilung pro Altersklasse für die Tanne, nach Exposition getrennt.

Leg.: A030 = 20-39 Jahre A050 = 40-59 J. A070 = 60-79 J. A090 = 80 bis 99 J. A110 = > 100 J.

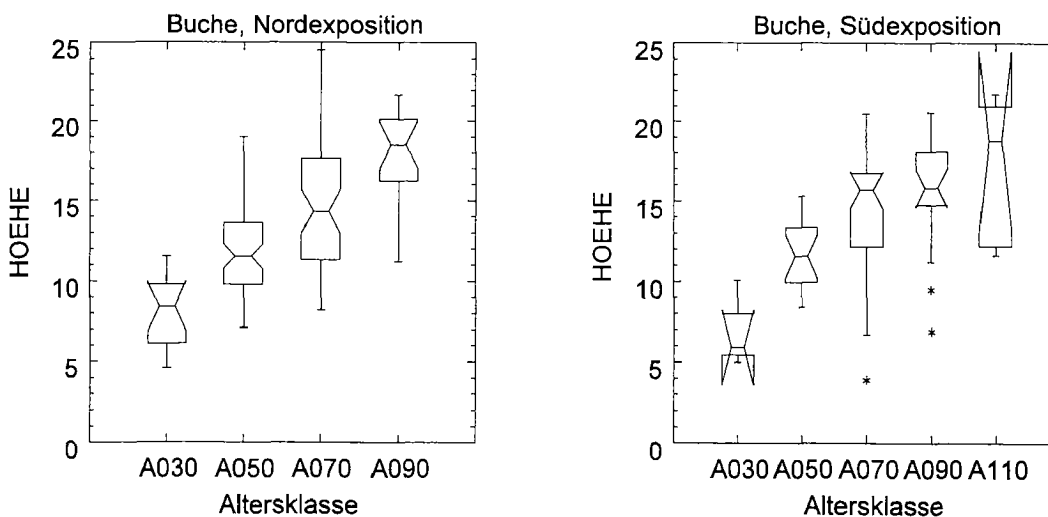


Abb. 8.1-6: Höhenverteilung pro Altersklasse für die Buche, nach Exposition getrennt.

8.2 Engkern und Unterdrückung

Im Zusammenhang mit dem Alter spielt im Plenterwald der Unterdrückungszeitraum eine wesentliche Rolle. Die geringe Lichtversorgung in der untersten Höhenklasse (bis 1/3 der Oberhöhe) führt bei vielen Nachwuchsstämmen zu einem extrem kleinen Jugendwachstum, mit Jahrringbreiten häufig unter 1 mm. Der innere Bereich der Stammscheiben mit einem solch kleinem BHD-Zuwachs wird als Engkern bezeichnet. Bei den Nadelbäumen nimmt die Jahrringbreite ab der Engkerngrenze häufig sprunghaft zu, was mit der Verbesserung der Lichtversorgung als Folge von Plentereingriffen im Hauptbestand erklärt werden kann.

8.2.1 Häufigkeit von Engkern

Von den 737 untersuchten Stammscheiben weisen mehr als 70% einen Engkern auf (Tab. 8.2-1). Aussagekräftiger sind die Angaben pro Baumart: bei den Nadelbaumarten beträgt der Anteil der Aushiebe mit Engkern je rund 90%, bei der Buche 50%, bei den übrigen Laubbäumen 41%.

Tab. 8.2-1: Anzahl und Anteil der Bäume mit und ohne Engkern, pro Baumart.

| | Tanne | | Fichte | | Buche | | übr.Laubb. | | Total | |
|---------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
| | n | % | n | % | n | % | n | % | n | % |
| Engkern EK | 302 | 91.0% | 57 | 87.7% | 150 | 49.8% | 16 | 41.0% | 525 | 71.2% |
| kein Engkern | 30 | 9.0% | 8 | 12.3% | 151 | 50.2% | 23 | 59.0% | 212 | 28.8% |
| Total | 332 | 100% | 65 | 100% | 301 | 100% | 39 | 100% | 737 | 100% |

Die Unterschiede zwischen den Baumarten sind statistisch hochsignifikant ($\chi^2 = 156.3$, Prob= 0.0001). Zwischen den Tannen und Fichten ($\chi^2 = 0.672$, Prob= 0.412) als auch zwischen den Buchen und den übrigen Laubbäumen ($\chi^2 = 1.072$, Prob= 0.412) bestehen dagegen keine Unterschiede im Anteil der Bäume mit Engkern.

Als weitere Einflussfaktoren auf die Ausbildung eines Engkerns kommen der Standort und die Gesamtbeschattung innerhalb der Untersuchungsflächen in Frage. In einem logistischen Modell wurde geprüft, ob diese vermuteten Faktoren einen Einfluss auf die Ausbildung eines Engkerns haben (Tab. A.8.2-1 und Tab. A.8.2-2 im Anhang, zusammengefasst in Tab. 8.2-2). Die grössten Unterschiede bestehen zwischen den Baumarten; aber auch zwischen den Standorten und den Grundflächen-Klassen sind die Unterschiede signifikant bis hochsignifikant. Allerdings ist das logistische Modell nicht sehr geeignet ($p > \chi^2 = 0,0000$). Immerhin stimmen die Ergebnisse bezüglich Baumarten mit Tab. 8.2-1 überein. Auf eine weitergehende Interpretation wurde trotzdem verzichtet.

Tab. 8.2-2 Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Engkernbildung.

| | |
|---------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 737 Beobachtungen |
| Zielvariable | Vorhandensein eines Engkerns |
| untersuchte Effekte | Baumart, Standort, Beschattung |
| Signifik. Effekte | Baumart ***, Standort ***, Beschattung ** |
| Signifik. Variablen | positiv: Tanne***, Fichte***, STAO=Ss***, GFK > 35 m ² ** negativ: Buche***, and.Lbh***, STAO=Ns***, STAO=Nm(*), GFK 30-35 m ² ** |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

GFK = Beschattung (20-25 m², 25-30 m², 30-35 m², >35 m²)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

In einem zweiten Schritt wurden die Einflussfaktoren auf die Engkernbildung für die detailliert beschriebenen Nadelholz-Aushiebe untersucht. Das Ergebnis der Berechnung ist in den Tab. A.8.2-3 und Tab. A.8.2-4 im Anhang dargelegt und in Tab. 8.2-3 zusammengefasst.

Tab. 8.2-3: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf die Engkernbildung bei Nadelbäumen

| | |
|-----------------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | Fichten und Tannen mit 2.5 bis 22.4 cm BHD, 299 Beobachtungen |
| Zielvariable | Vorhandensein eines Engkerns |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Effekte | Beschattung (*) |
| Signifik. Einflussvariablen | positiv: negativ: $GFK > 40 \text{ m}^2 *$ |

Legende:

BA= Baumart

DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

AHG = Aushiebsgrund (Konkurrent, negative Auslese, andere)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Zwischen den Baumarten Tanne und Fichte bestehen keine signifikanten Unterschiede, ebenso wenig wie zwischen den Standorten, den Schirmklassen oder den Konkurrenzklassen. Einzig die Grundfläche vor dem Eingriff hat einen schwach signifikanten Einfluss auf die Ausbildung eines Engkerns. Eine Grundfläche über 40 m^2 wirkt sich negativ auf die Engkernbildung aus, d.h. der Anteil der Bäume mit Engkern ist scheinbar kleiner bei grösserer Grundfläche. In diesem Modell sind aber die Interaktionen zwischen den Einflussfaktoren nicht berücksichtigt, weshalb die Ergebnisse vorsichtig interpretiert werden müssen. Da die Unterschiede zwischen den Nadelbaumarten einerseits und den Laubbaumarten andererseits statistisch nicht signifikant sind, wurden sie für die Berechnung des Engkernanteils pro Standort zusammengefasst (Tab. 8.2-4).

Tab. 8.2-4: Anzahl Stammscheiben, Anzahl und Anteil der Bäume mit Engkern für Laub- und Nadelholz, nach Standorten getrennt.

| | | Na | Ng | Nm | Ns | Sg | Ss | Total |
|-------------------|---------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|
| Nadelbäume | Anzahl (Stk.) | 20 | 133 | 132 | 28 | 49 | 35 | 397 |
| | Anzahl mit EK | 20 | 123 | 117 | 25 | 46 | 28 | 359 |
| | Anteil EK (%) | 100.0 | 92.5 | 88.6 | 89.3 | 93.9 | 80.0 | 90.4 |
| Laubbäume | Anzahl (Stk.) | 25 | 108 | 47 | 13 | 90 | 57 | 340 |
| | Anzahl mit EK | 7 | 42 | 22 | 0 | 63 | 32 | 166 |
| | Anteil EK (%) | 28.0 | 38.9 | 46.8 | 0.0 | 70.0 | 56.1 | 48.8 |

Legende:

Na = Nord ausgezeichnet

Ng = Nord gut

Nm = Nord mittel

Ns = Nord schlecht

Sg = Süd gut

Ss = Süd schlecht

EK = Engkern

Bei den Nadelbäumen beträgt der Engkernanteil auf allen Standorten mind. 80%, im Mittel 90%. Bei den Laubbäumen gibt es signifikante Unterschiede zwischen den Standorten, mit Engkernanteilen zwischen 0 und 70 % und einem Gesamtmittel von rund 49 %. Auf südexponierten Standorten weisen die Laubbäume einen deutlich grösseren Engkernanteil (> 50%) auf als auf nordexponierten Standorten.

8.2.2 Unterdrückungszeitraum

Als Unterdrückungszeitraum wird nach Schütz (1990) die Phase des verlangsamten Wachstums bezeichnet, d.h. die Zeitdauer (Anzahl Jahre) des kleinen Durchmesserzuwachses bis zum häufig abrupten Übergang zu einem normalen Wachstum ab der sog. Engkerngrenze. Die statistischen Kennwerte für den Unterdrückungszeitraum (Tab. 8.2-5) sind bei den untersuchten Baumarten nicht normalverteilt. Im Median treten deutliche Unterschiede zwischen den Baumarten hervor. Die Tannen weisen mit 44 Jahren (Median) die längste Unterdrückungsperiode auf. Fichten und Buchen sind zu 50% länger als 30 Jahre unterdrückt, und die übrigen Laubbäume bleiben mit rund 21 Jahren deutlich weniger lange unterdrückt. Die maximal festgestellte Engkern-Alter von 185 Jahren bei Tanne und 113 Jahren bei Buche wurden als extreme Ausreisser nicht berücksichtigt.

Tab. 8.2-5: Statistische Kennwerte für den Unterdrückungszeitraum, pro Baumart.

| Baumart | n | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 | Max. |
|-----------------|-----|------|------|------|-------|-----|----|-----|----|-----|------|
| Tanne | 302 | 49.7 | 27.6 | 0.93 | 0.000 | 16 | 30 | 44 | 68 | 101 | 135 |
| Fichte | 57 | 36.6 | 21.5 | 0.90 | 0.000 | 12 | 20 | 30 | 50 | 79 | 95 |
| Buche | 150 | 34.6 | 18.1 | 0.92 | 0.000 | 10 | 20 | 30 | 46 | 71 | 83 |
| übr.Lbb. | 16 | 20.6 | 6.3 | 0.95 | 0.411 | 10 | 16 | 21 | 27 | 30 | 30 |

Legende:

n= Anzahl MW= Mittelwert STD=Standardabweichung
 NVP=Normalverteilungsprüfung P<W: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit für NV.
 P05= 5%-Wert Q1= 1.Quartil (25%) MED= Median (50%) Q3= 3. Quartil (75%)
 P95= 95%-Wert Max. = Maximum (ohne Berücksichtigung von Ausreissern)

Das Alter des Engkerns ist bei der Tanne sowohl mit dem Gesamalter als auch, allerdings indirekt via Gesamalter, mit dem BHD und der Baumhöhe korreliert (Tab. 8.2-6). Bei der Fichte ist nur die Korrelation mit dem Alter statistisch signifikant, bei der Buche keine der untersuchten Korrelationen. Bei den übrigen Laubbäumen liegen zu wenig Daten vor für sichere Aussagen.

Tab. 8.2-6: Korrelation zwischen dem Engkernalter und metrischen Grössen.

| Baumart | n | Alter | BHD | Höhe |
|-------------------|-----|---------------------|----------------------|----------------------|
| Tanne | 290 | r= 0.313 (p= 0.000) | r= -0.327 (p= 0.000) | r= -0.377 (p= 0.000) |
| Fichte | 54 | r= 0.418 (p= 0.002) | r= -0.142 (p= 0.306) | r= -0.238 (p= 0.083) |
| Buche | 116 | r= 0.152 (p= 0.104) | r= -0.086 (p= 0.360) | r= -0.035 (p= 0.712) |
| (übr.Lbb.) | 7 | r= 0.811 (p= 0.027) | r= 0.667 (p= 0.102) | r= 0.306 (p= 0.504) |

Legende: r= Spearmans Rangkorrelationskoeffizient rho p= Überschreitungs-Wahrscheinlichk.

Als mögliche Einflussfaktoren auf das Engkernalter wurden die Baumart, der Standort und der Durchmesser in Betracht gezogen. Mittels logistischer Regression wurde geprüft, welche Faktoren auf einen Unterdrückungszeitraum von mehr als 40 Jahren einen Einfluss haben. Wegen der geringen Zahl von Daten mussten dabei die übrigen Laubbäume unberücksichtigt bleiben. Das Ergebnis ist in Tab. A.8.2-5 und Tab. A.8.2-6 im Anhang dargelegt und in Tab. 8.2-7 zusammengefasst. Alle vermuteten Faktoren beeinflussen das Engkernalter hochsignifikant. Das logistische Modell ist aber nicht geeignet ($p > \chi^2 = 0,0003$), weshalb auf eine weitergehende Interpretation verzichtet wurde.

Der Einfluss der Baumart wurde für den Standort Nord gut im Durchmesserbereich 2.5 bis 22.4 cm, für die Südexposition im Bereich 2.4 bis 12.5 cm BHD untersucht (Abb. 8.2-1), jener des Standortes für die Tanne und Buche im BHD-Bereich 2.5 bis 12.4 cm BHD (Abb. 8.2-2). Die Unterschiede zwischen den Durchmesserstufen schliesslich wurden für die Tanne in Nord- und die Buche in Südexposition untersucht (Abb. 8.2-3).

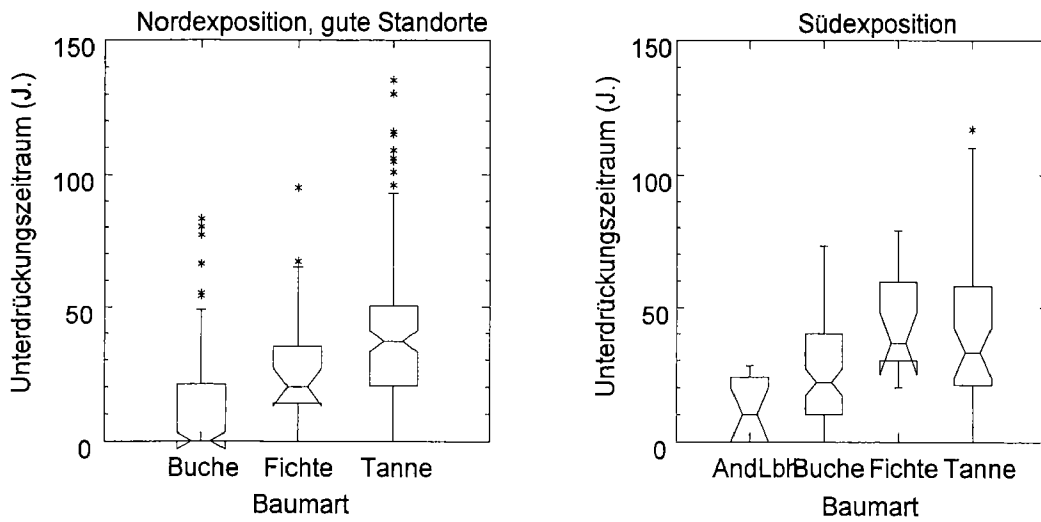


Abb. 8.2-1: Unterdrückungszeitraum pro Baumart, nach Exposition getrennt.

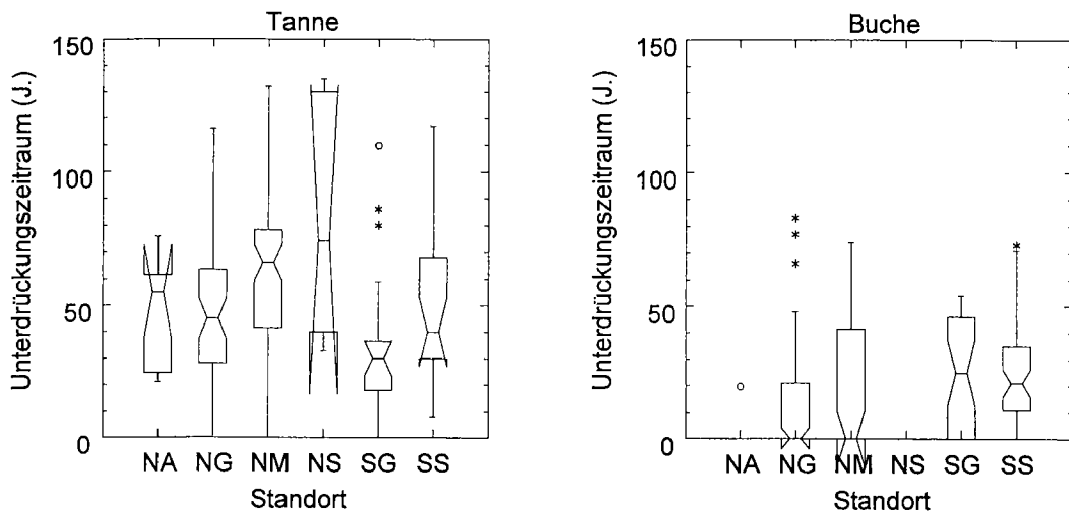


Abb. 8.2-2: Unterdrückungszeitraum pro Standort, für die Baumarten Tanne und Buche.

Legende: NA= Nord ausgezeichnet. NG= Nord gut NM= Nord mittel
 NS= Nord schlecht SG= Süd gut SS= Süd schlecht

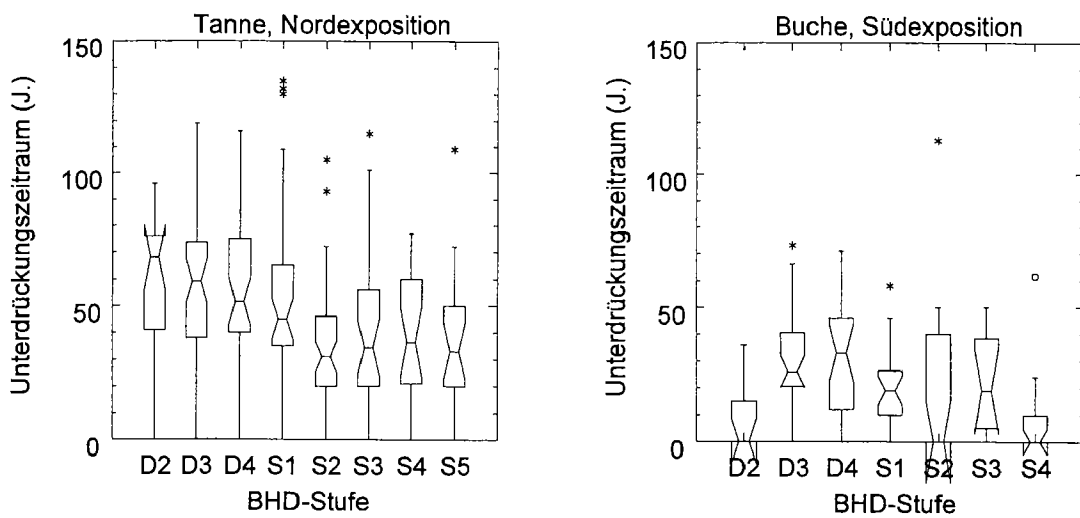


Abb. 8.2-3: Unterdrückungszeitraum pro 2,5cm-BHD-Stufe, für die Tanne und die Buche.

Tab. 8.2-7: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf den Unterdrückungszeitraum.

| | |
|----------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 509 Beobachtungen |
| Zielvariable | hohes Engkern-Alter (> 40 Jahre) |
| untersuchte Effekte | Baumart, BHD-Stufe, Standort |
| Signifikante Effekte | Baumart ***, BHD-Stufe ***, Standort *** |
| Signifik. Variablen | positiv: Tanne***, DSTU S05***, DSTU S10(*), STAO=Nm*** negativ: Fichte *, DSTU S15*, DSTU S20*, STAO=Na(*) |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

Auf den guten Standorten in Nordexposition sind die Tannen signifikant länger unterdrückt als die Fichten und diese länger als die Buchen (Abb. 8.2-1). In Südexposition dagegen weisen Fichten tendenziell längere Unterdrückungszeiträume auf als Tannen und diese als Buchen.

Tannen im Bereich 2,5 bis 12,4 cm BHD weisen auf guten Standorten in Südexposition signifikant kleinere Unterdrückungszeiträume auf als auf den übrigen Standorten (Abb. 8.2-2). Buchen dagegen sind in Nordexposition wesentlich weniger lange unterdrückt als in Südexposition. Tannenaushiebe der BHD-Stufen S05 (= D2+D3) und S10 (= D4+S1) weisen tendenziell längere Unterdrückungszeiträume auf (Abb. 8.2-3) als solche der BHD-Stufen S15 (S2+S3) und S20 (S4+S5). Ein solcher Zusammenhang ist bei der Buche nicht erkennbar.

8.2.3 Unterdrückungsintensität

Als Mass für die Unterdrückungsintensität wird die mittlere Jahrringbreite innerhalb des Engkerns verwendet. Die statistischen Kennwerte für die mittlere Jahrringbreite EK (Tab. 8.2-8) zeigen, dass sie bei den untersuchten Baumarten nicht normalverteilt ist. Die Tannen weisen im Engkern die kleinsten Jahrringbreiten auf; die Fichten unterscheidet sich nicht signifikant von den Tannen. Buchen und übrige Laubbäume dagegen weisen innerhalb des Engkerns deutlich breitere Jahrringe auf. Die schmalsten Jahrringe betragen bei den Nadelbäumen weniger als 0.2 mm/J.

Tab. 8.2-8: Statistische Kennwerte der mittleren Jahrringbreite EK (mm/J.), pro Baumart.

| BA | n | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 | Min. |
|----|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| TA | 302 | 0.41 | 0.15 | 0.95 | 0.000 | 0.20 | 0.29 | 0.38 | 0.50 | 0.68 | 0.14 |
| FI | 57 | 0.46 | 0.14 | 0.96 | 0.165 | 0.23 | 0.35 | 0.44 | 0.56 | 0.72 | 0.17 |
| BU | 150 | 0.55 | 0.15 | 0.96 | 0.041 | 0.31 | 0.43 | 0.55 | 0.65 | 0.81 | 0.27 |
| AL | 16 | 0.56 | 0.16 | 0.95 | 0.410 | 0.35 | 0.41 | 0.58 | 0.66 | 0.84 | 0.35 |

Legende:

n= Anzahl

NVP=Normalverteilungsprüfung

P05= 5%-Wert

Q3= 3. Quartil (75%)

MW= Mittelwert

P<W: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit für NV.

Q1= 1.Quartil (25%)

P95= 95%-Wert

STD=Standardabweichung

MED= Median (50%)

Min. = Minimum

Die mittlere Jahrringbreite des Engkerns ist bei der Tanne mit dem Gesamalter negativ, mit dem Engkern-Alter, wie auch bei Buche, positiv korreliert (Tab. 8.2-9). Einzig bei der Fichte ist sie mit der Baumdimension (BHD und Baumhöhe) signifikant positiv korreliert.

Tab. 8.2-9: Korrelation zwischen mittlerer Jahrringbreite EK und metrischen Grössen.

Bestimmtheitsmass rho, in Klammer Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit.

| Baumart | n | Alter | BHD | Höhe | Alter Engkern |
|---------|-----|---------------|--------------|---------------|---------------|
| Tanne | 290 | -0.18 (0.002) | 0.01 (0.825) | -0.02 (0.706) | 0.27 (0.000) |
| Fichte | 54 | -0.14 (0.326) | 0.30 (0.025) | 0.29 (0.036) | -0.06 (0.668) |
| Buche | 116 | -0.02 (0.842) | 0.10 (0.281) | 0.10 (0.312) | 0.33 (0.000) |

Als mögliche Faktoren mit Einfluss auf die Unterdrückungsintensität wurden die Baumart, der Standort und der Durchmesser in Betracht gezogen. Mittels logistischer Regression wurde geprüft, welche Faktoren einen Einfluss auf die Ausbildung einer mittleren Jahrringbreite des Engkerns von weniger als 0.5 mm (BHD-Zuwachs kleiner als 1 mm) haben. Wegen der geringen Zahl von Daten mussten dabei die übrigen Laubbäume unberücksichtigt bleiben. Das Ergebnis ist in Tab. A.8.2-7 und Tab. A.8.2-8 im Anhang dargelegt und in Tab. 8.2-10 zusammengefasst. Neben den Baumarten wirken sich nur die Standorte auf die Unterdrückungsintensität aus, nicht jedoch die Baumdimension. Weil das logistische Modell insgesamt nicht sehr geeignet ist ($p > \chi^2 = 0,0023$), wurde auf eine weitergehende Interpretation verzichtet.

Tab. 8.2-10: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf die mittlere Jahrringbreite im EK.

| | |
|----------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 509 Beobachtungen |
| Zielvariable | mittlere Jahrringbreite innerhalb des Engkerns kleiner als 0,5 mm |
| untersuchte Effekte | Baumart, BHD-Stufe, Standort |
| Signifikante Effekte | Baumart ***, Standort ** |
| Signifik. Variablen | positiv: Tanne***, Fichte(*), STAO=Ss**, STAO=Nm*, STAO=Sg(*) negativ: Buche***, STAO=Na** |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh) DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)
STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.
negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Die Unterschiede zwischen den Baumarten sind für die Nord- und Südexposition dargestellt (Abb. 8.2-4), jene zwischen den Standorten für die Tanne und die Buche (Abb. 8.2-5).

In Nordexposition weist die Tanne mit einem Median der Jahrringbreite im Engkern von 0.38 cm pro Jahr die grösste Unterdrückungsintensität auf und unterscheidet sich deutlich von der Fichte. In Südexposition sind die Unterschiede zwischen Fichte und Tanne sehr gering, die Unterschiede zu den Laubbäumen aber ebenso deutlich wie am Nordhang.

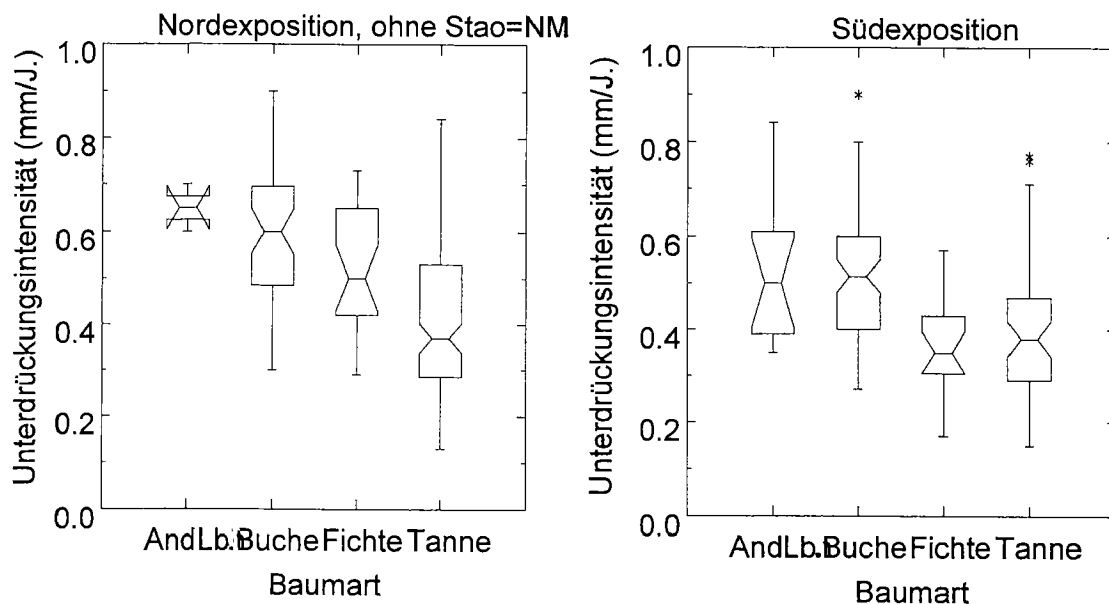


Abb. 8.2-4: Mittlere Jahrringbreite im Unterdrückungszeitraum, pro Baumart und Exposition.

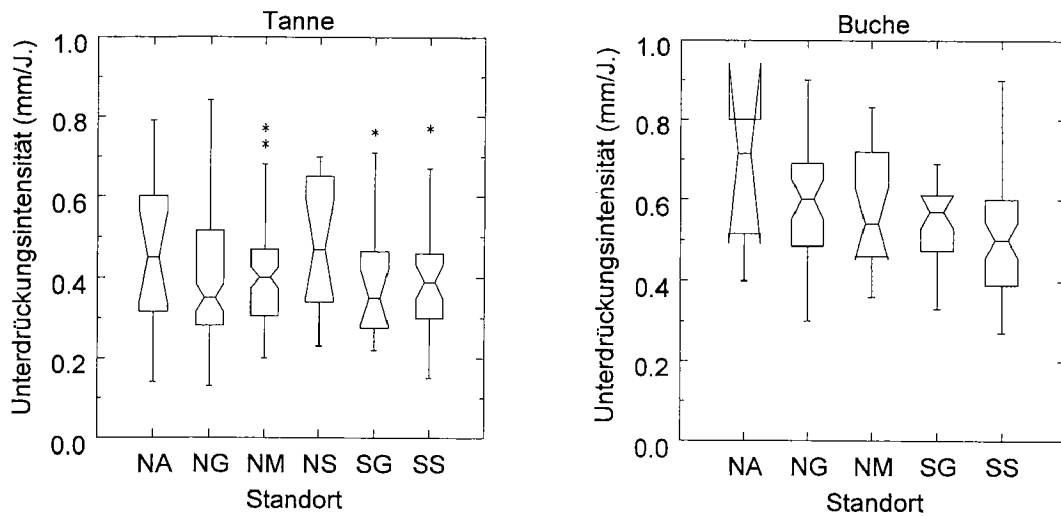


Abb. 8.2-5: Mittlere Jahrringbreite von Tanne und Buche im Unterdrückungszeitraum, pro Standorteinheit

Bei der Tanne sind die Unterschiede zwischen den Standorten recht gering: der Median der mittleren Jahrringbreite im Unterdrückungszeitraum schwankt zwischen 0.35 und 0.5 mm pro Jahr. Bei der Buche dagegen weicht der Median auf dem ausgezeichneten Standort am Nordhang und auf dem schlechten Standort am Südhang etwas von den andern Standorten ab; die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant.

8.2.4 Vertikale Ausdehnung des Engkerns

Hier interessiert uns die Frage, bis in welche Baumhöhe der Engkern beobachtet werden kann. Wegen der unterschiedlichen Schnitthöhe für die zweite Stammscheibe wurde eine Auftrennung vorgenommen. Für jede der drei Schnitthöhen ist die Anzahl der Stammscheiben insgesamt, die Anzahl Scheiben mit Engkern in Scheibe 1 (auf Bodenhöhe) und die Anzahl der Scheiben mit Engkern auf der Höhe der Scheibe 2 angegeben (Tab. 8.2-11).

Tab. 8.2-11: Anzahl Stammscheiben mit Engkern auf Schnitthöhe und zwischen 130 und 200 cm Höhe.

| Baumhöhe Scheibe 2 (cm) | Anzahl n | n mit Engkern auf Schnitthöhe | n mit Engkern in Scheibe 2 | Anteil mit EK in Scheibe 2 |
|----------------------------|----------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 130 | 180 | 158 | 7 | 4.4 % |
| 170 | 26 | 24 | 1 | 4.2 % |
| 200 | 30 | 26 | 1 | 3.8 % |

Der Engkern bleibt i.d.R. auf den untersten Meter beschränkt. Ab 1,3 m Baumhöhe weisen nur noch rund 4% der untersuchten Bäume einen Engkern auf.

8.3 Kronenform

8.3.1 Quantitative Charakterisierung der Kronenparameter

Die untersuchten Kronenparameter sind nicht normalverteilt, jedoch mit Ausnahme der Kronensymmetrie zumindest recht symmetrisch verteilt (Tab. 8.3-1).

Tab. 8.3-1: Statistische Kennwerte für die Kronenparameter im Aushieb (n = 193).

| Kronenparameter | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|----------------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Kronenindex | 1.73 | 0.66 | 0.96 | 0.002 | 0.67 | 1.19 | 1.72 | 2.21 | 2.84 |
| Lichtkronenindex | 1.14 | 0.51 | 0.97 | 0.057 | 0.37 | 0.77 | 1.13 | 1.49 | 2.04 |
| relative Kronenlänge | 54.7 | 17.7 | 0.97 | 0.025 | 26.5 | 41.4 | 56.5 | 68.2 | 82.9 |
| Lichtkronenanteil | 66.8 | 18.1 | 0.97 | 0.017 | 34.8 | 54.8 | 68.9 | 78.2 | 98.0 |
| Kronensymmetrie | 2.38 | 1.92 | 0.62 | 0.000 | 1.13 | 1.38 | 1.74 | 2.31 | 5.56 |

Legende:

N= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung P<W: Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

Q3= 3. Quartil (75%)

P95= 95%-Wert

Mehr als 75% der Aushiebe weisen einen Kronenindex über 1 auf, d.h. die Krone ist länger als breit. Beim Lichtkronenindex beträgt derselbe Wert noch etwas mehr als 50 %. 90 % der Aushiebe weisen eine relative Kronenlänge zwischen 27% und 83% auf. Der Lichtkronenanteil beträgt im Mittel rund zwei Drittel und schwankt zwischen 35% und 98 %. Die Zahlenwerte für die Kronensymmetrie sind schwieriger zu interpretieren. Wegen der völlig einseitigen Verteilung der Einzelwerte sagt der Mittelwert wenig aus. Der Median von 1.74 bedeutet, dass die Summe der größten Astlängen pro gemessenen Quirl bei 50 % der Bäume um rund 75% grösser ist als die Summe der kleinsten gemessenen Astlängen an denselben Quirlen.

8.3.2 Faktoren mit Einfluss auf die Kronenparameter

Da die untersuchten Kronenparameter nicht normalverteilt sind und ihre Beziehung zu den vermuteten Einflussfaktoren unter Umständen nicht linear, wurde zur Berechnung der signifikanten Einflussfaktoren die logistische Regression verwendet. Zusätzlich zu den bei den Ausleseebäumen berücksichtigten Faktoren Baumart, Standort, Beschattung, Übershirmung, Konkurrenz und Baumdimension (BHD) kann bei der Auswertung der Aushiebe auch der Faktor Alter einbezogen werden. Da das Alter mit dem BHD korreliert ist (Tab. 8.1-3), werden die Modelle der logistischen Regression immer entweder mit dem Durchmesser oder mit dem Alter gerechnet, nicht aber mit beiden Faktoren gemeinsam. In der Tab. 8.3-2 sind die auf dem Niveau von 90 % signifikanten Einflussvariablen pro Kronenparameter jeweils für die beiden Modelle angegeben.

Tab. 8.3-2: Faktoren mit signifikantem Einfluss auf diverse Kronenparameter (n = 139).

| Kronenparameter | logistisches Modell 1 mit BHD | logistisches Modell 2 mit Alter |
|----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Kronenindex | BA**, DSTU** | BA* |
| Lichtkronenindex | SKLA**, DSTU* | SKLA** |
| relative Kronenlänge | BA*, STAO*, GFK**, SKLA* | BA**, STAO*, GFK**, SKLA*, AKLA* |
| Lichtkronenanteil | BA*, STAO* | BA*, STAO* |
| Kronensymmetrie | BA*, SKLA*** | BA*, GFK*, SKLA*** |

Legende:

BA = Baumart

DSTU = Durchmesserstufe

SKLA = Schirmklasse (übershirmt, Trauf, n. üb.)

STAO= Standort

GFK= Grundflächenklasse

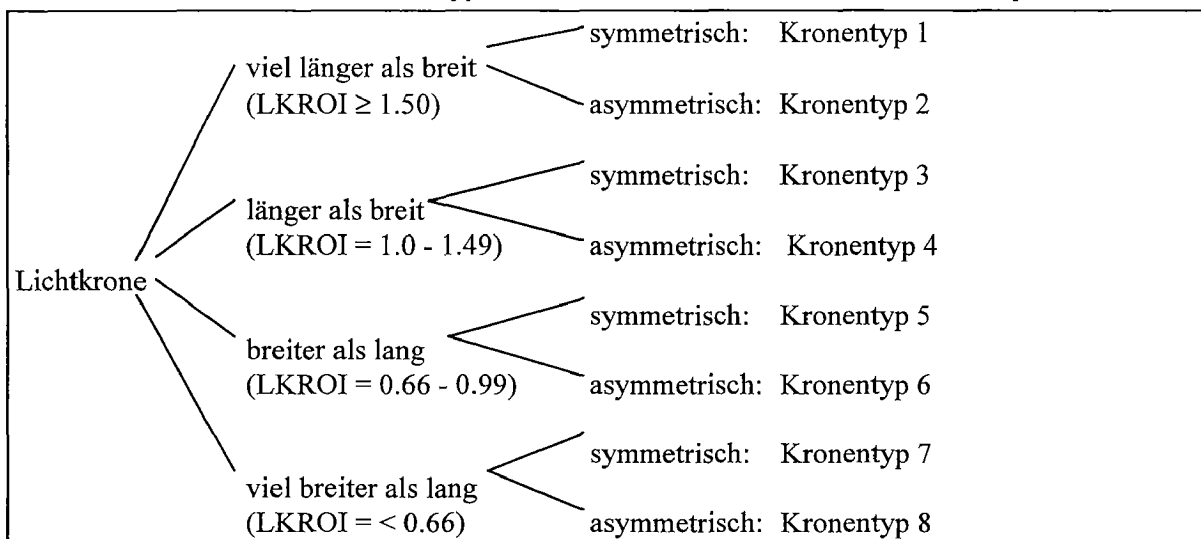
AKLA = Altersklasse (<60,60-79,80-99,≥100).

Baumart und Standort erscheinen fast bei allen Kronenparametern als signifikante Faktoren. Beim Kronenindex gibt es Unterschiede zwischen den BHD-Stufen, und der Lichtkronenindex ist von der Überschirmung beeinflusst. Auf die relative Kronenlänge wirken sich Baumart und Standort als auch Beschattung (GFK) und Überschirmung (SKLA) aus, beim Modell 2 ebenfalls das Alter. Die Kronensymmetrie ist nach beiden Modellen von der Überschirmung beeinflusst.

8.3.3 Gruppierung der Kronenformen zu Kronentypen

Statistische Methoden zur Gruppierung der individuellen Kronenformen zu Kronentypen (mittels Cluster-Analyse) führten zu teils unbefriedigenden Ergebnissen. Deshalb wurden die Kronentypen aufgrund des theoretischen Wissens über die Photosynthese und ihrer Abhängigkeit von Kronenparametern definiert. Für die Photosynthese entscheidend ist die Länge bzw. die Oberfläche der Lichtkrone, während dem die Grösse und Form der Schattenkrone nur eine untergeordnete Rolle spielt. Als Ausgangspunkt für die Aufteilung in Kronentypen dient deshalb der Lichtkronenindex, welcher das Verhältnis zwischen der Lichtkronenlänge zur Kronenbreite angibt. Der Lichtkronenanteil ist mit dem Lichtkronenindex stark korreliert ($r = 0.52$, $p = 0.0001$): je länger die Lichtkrone im Verhältnis zur Kronenbreite, umso grösser der Anteil der Lichtkrone an der Gesamtkrone. Deshalb kann der Lichtkronenanteil unberücksichtigt bleiben. Als zweiter Parameter muss dagegen die Kronensymmetrie einfließen, denn sie wirkt sich direkt auf die Kronenmantelfläche aus und lässt indirekt Rückschlüsse auf die seitliche Konkurrenz zu. Um eine gleichmässige Verteilung der Bäume auf die Kronentypen zu gewährleisten, wurde als Grenze für die Zuteilung in symmetrisch und asymmetrisch der Wert 2.0 gewählt (d.h. Summe der grössten Astlänge maximal doppelt so gross wie Summe der kleinsten Astlänge), was in etwa dem Median der Kronensymmetrie entspricht (Tab. 8.3-1). Die Kronentypen wurden dann gemäss Tab. 8.3-3 definiert.

Tab. 8.3-3: Definition der Kronentypen mittels Lichtkronenindex und Kronensymmetrie.



Die Verteilung der 165 Aushiebe auf die 8 definierten Kronentypen ist in Tab. 8.3-4 dargestellt.

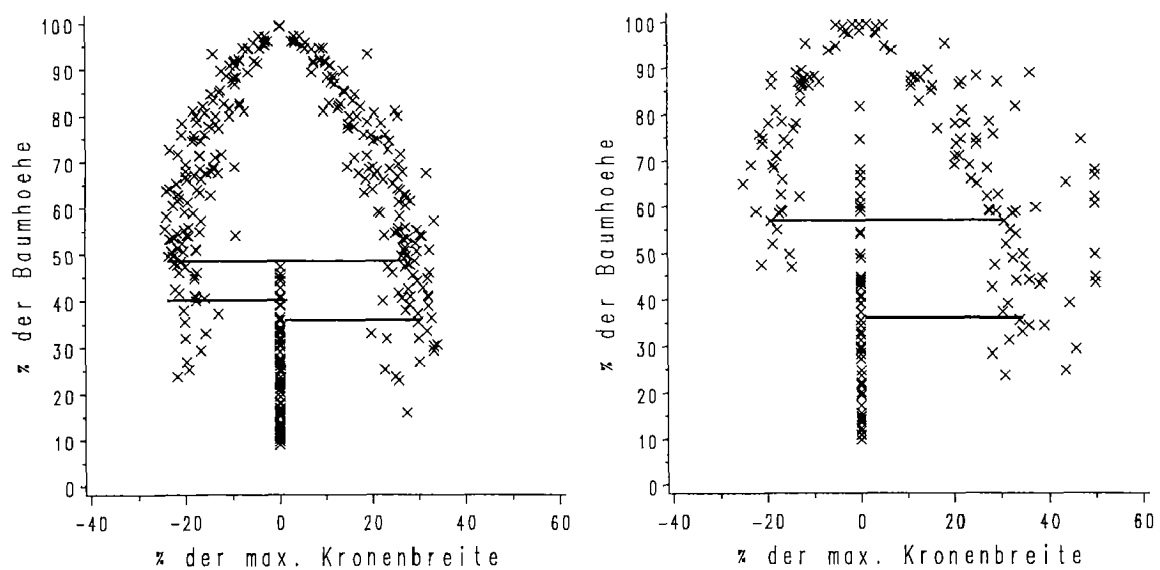
Tab. 8.3-4: Verteilung der Aushiebe auf Kronenindex- und Kronensymmetrie-Klassen.

| Baumart | Kronensym. | Kronenindex-Klasse (Lichtkrone) | | | | Total |
|---------|--------------|---------------------------------|------------|------------|----------|------------|
| | | lang | mittellang | mittelkurz | kurz | |
| Tanne | symmetrisch | 21 (16%) | 26 (20%) | 16 (12%) | 15 (11%) | 78 (59%) |
| Tanne | asymmetrisch | 14 (11%) | 16 (12%) | 13 (10%) | 11 (8%) | 54 (41%) |
| Tanne | Total | 35 (27%) | 42 (32%) | 29 (22%) | 26 (19%) | 132 (100%) |
| Fichte | symmetrisch | 8 (24%) | 7 (21%) | 2 (6%) | 1 (3%) | 18 (55%) |
| Fichte | asymmetrisch | 4 (12%) | 6 (18%) | 3 (9%) | 2 (6%) | 15 (45%) |
| Fichte | Total | 12 (36%) | 13 (39%) | 5 (15%) | 3 (9%) | 33 (100%) |

Die Unterschiede zwischen den Baumarten können wegen der schwachen Belegung mehrerer Zellen nicht mit dem χ^2 -Test getestet werden. Der Anteil der Kronentypen ist aber vergleichbar. Relativ häufig sind die Kronentypen 1 und 3, d.h. symmetrische Kronenformen mit Lichtkronen, welche länger als breit sind. Weniger häufig sind Bäume mit asymmetrischer Krone und Lichtkronen, welche breiter als lang sind (Schirmkronen).

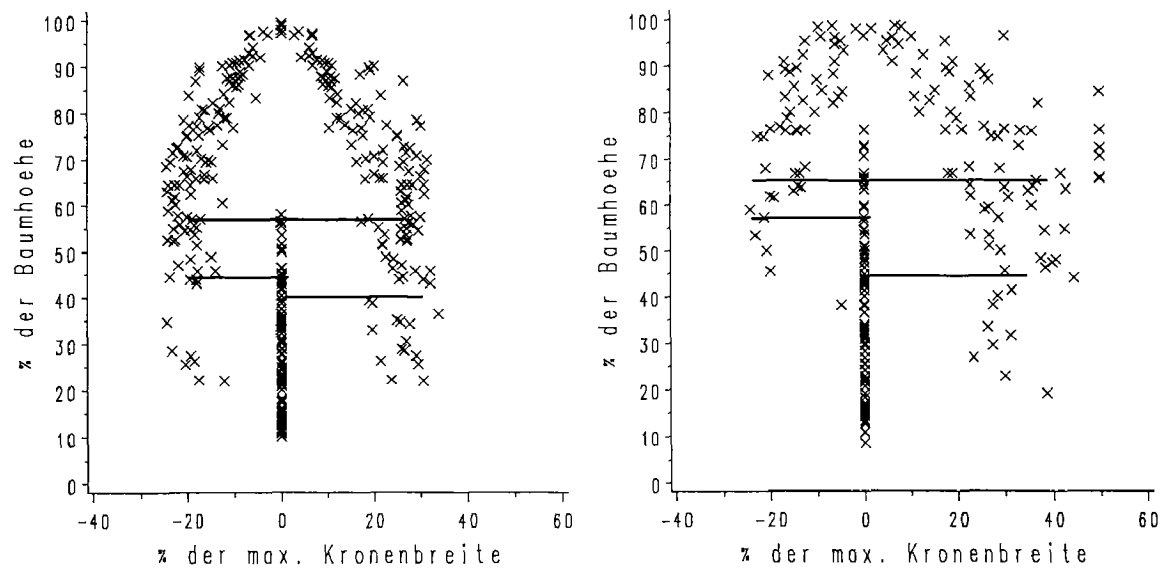
Die definierten Kronentypen können wegen der unterschiedlichen absoluten Baumgrößen nur gemeinsam graphisch dargestellt werden, wenn anstelle der absoluten Größen Prozentwerte verwendet werden. In den nachfolgenden Abbildungen sind die Höhe der grössten Kronenbreite, des untersten Grünastquirls und des untersten Grünastes jeweils in % der Baumhöhe, die grössten und kleinsten Kronenradien auf relativer Höhe in % der maximalen Kronenbreite aufgetragen. Dadurch ergibt sich eine zweidimensionale Darstellung der definierten Kronentypen (Abb. 8.3-1).

Abb. 8.3-1: Darstellung der Kronentypen der Aushiebe im Nachwuchs.



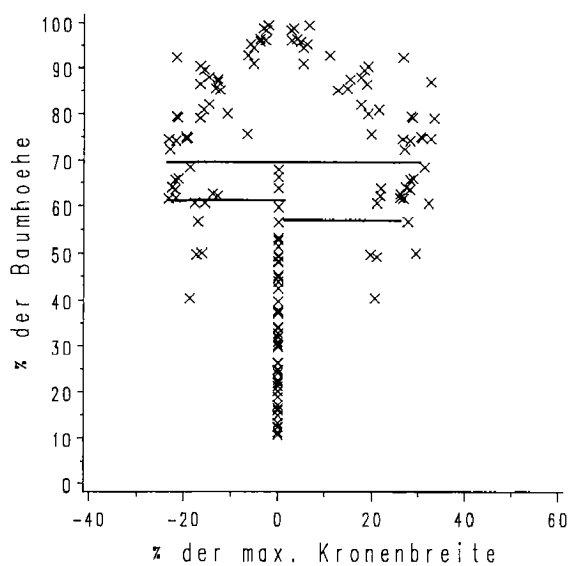
Kronentyp 1: symmetrische Spitzkrone

Kronentyp 2: asymmetrische Spitzkrone

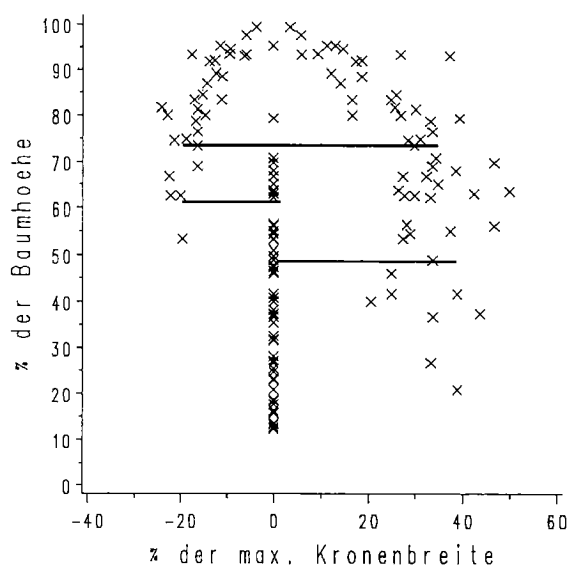


Kronentyp 3: symmetrische Langkrone

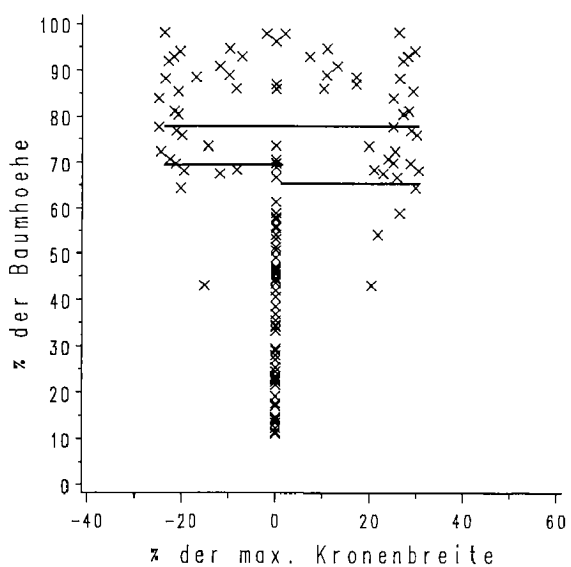
Kronentyp 4: asymmetrische Langkrone



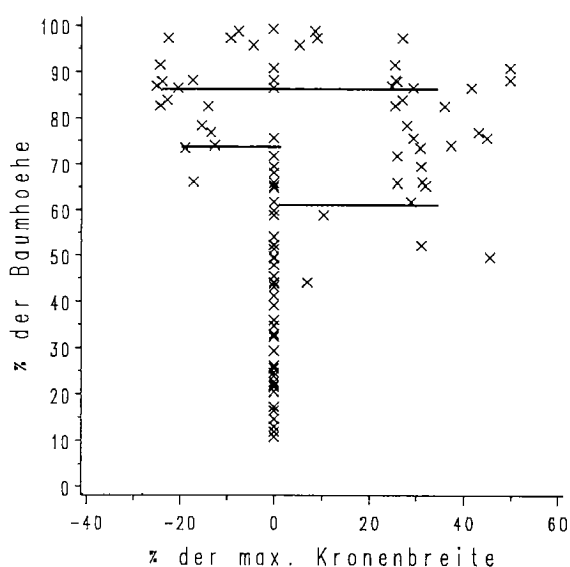
Kronentyp 5: symmetrische Kurzkronne



Kronentyp 6: asymmetrische Kurzkronne



Kronentyp 7: symmetrische Stumpfkronne



Kronentyp 8: asymmetrische Stumpfkronne

Ergänzend zur Tab. 8.3-2 wurde untersucht, welche Parameter sich auf die Ausbildung einer Stumpfkronne auswirken. Die Ergebnisse sind in Tab. A.8.3-1 und A.8.3-2 im Anhang dargestellt und in Tab. 8.3-5 zusammengefasst.

Einen signifikanten Einfluss auf die Ausbildung einer Stumpfkronne weisen die Überschirmung und die Gesamtbeschattung auf. Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Tab. 8.3-2 hat in diesem Modell der BHD insgesamt keinen Einfluss, die Variablen BHD-Stufe S05 und S20 dagegen schon.

Im Zusammenhang mit der Nachwuchspflege interessiert die Frage, ob sich die Kronentypen der verschiedenen Klassen von Ausliebsgründen signifikant voneinander unterscheiden oder nicht, d.h. ob die im Zuge der negativen Auslese entfernten Bäume einen signifikant kleineren Lichtkronenindex aufweisen als die Konkurrenten der Ausleseebäume oder die Ausleseebäume.

Tab. 8.3-5: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf die Ausbildung einer Stumpfkrone.

| | |
|----------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 172 Beobachtungen |
| Zielvariable | kleiner Lichtkronenindex (LKI < 0.8) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Effekte | Überschirmung *, Beschattung * |
| Signifik. Variablen | positiv: SKLA= ubs**, DSTU S05 (*), STAO=Ss (*), GFK 30-40 * negativ: GFK <20, SKLA= nus, DSTU S20 (*), STAO=Sg *, KKLA mittel* |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh)

DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschirmungsklasse (nus= nicht überschirmt, tra= Traufbereich (± 0.5 m), ubs= überschirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ= hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Tab. 8.3-6: Anzahl und Anteil der Lichtkronenindex-Klassen pro Aushiebsgrund-Klasse.

| Aushiebsgrund | LKI > 1.5 | 1.0 ≤ LKI < 1.5 | 0.67 ≤ LKI < 1.0 | LKI < 0.67 |
|-------------------------|-----------|-----------------|------------------|------------|
| Konkurrent | 24 (30%) | 32 (40%) | 12 (15%) | 13 (16%) |
| negative Auslese | 7 (26%) | 3 (11%) | 6 (22%) | 11 (41%) |
| andere | 4 (17%) | 7 (29%) | 11 (46%) | 2 (8%) |
| Gesamt | 35 (27%) | 42 (32%) | 29 (22%) | 26 (20%) |

Legende:

LKI = Lichtkronenindex = Lichtkronenlänge / Kronenbreite.

Die Unterschiede zwischen den Klassen mit unterschiedlichem Aushiebsgrund sind statistisch signifikant (FG = 6, $\text{Chi}^2 = 22.67$, Prob < $\text{Chi}^2 = 0.001$). Die Konkurrenten von Ausleseebäumen weisen zu 70 % Kronen auf, deren Lichtkrone länger ist als die Kronenbreite (Tab. 8.3-6).

Umgekehrt weisen Nachwuchsbäume, welche im Zuge der negativen Auslese entfernt wurden, überwiegend (zu 63 %) stumpfe Kronen auf.

8.4 Schaffform

8.4.1 Verhältnis der Stammdurchmesser in verschiedener Baumhöhe zum BHD

Die Beziehung zwischen dem BHD und dem Stammdurchmesser in verschiedenen Baumhöhen verläuft, zumindest bis zum Durchmesser auf 10 m Höhe, nahezu linear (Abb. 8.4-1).

Entsprechend wurden für die weitere Untersuchung lineare Regressionsmodelle verwendet.

Mit Hilfe der Kovarianzanalyse wurde geprüft, welche der vermuteten Faktoren (Baumart, Standort, Beschattung, Überschildung, Konkurrenz) neben dem BHD (Kovariate) einen Einfluss auf den Stammdurchmesser in 0, 2, 6, 10 und 14 m Baumhöhe haben. Tab. 8.4-1 zeigt, dass der BHD einen hochsignifikanten Einfluss auf die Durchmesser in allen Baumhöhen hat. Als weitere signifikante Einflussgrößen treten der Standort und die Baumart auf. Allerdings sind die Residuen der Modelle Schnitthöhe, 6 und 10 m nicht normalverteilt und damit die Voraussetzungen der Regressionsmodelle verletzt. Trotzdem geben sie Hinweise auf mögliche Einflussgrößen.

Tab. 8.4-1: Lineare Regressionsmodelle zur Beschreibung des Verhältnisses zwischen Stammdurchmessern in verschiedenen Baumhöhen und dem BHD.

| Baumhöhe | n | F | P > F | R ² | sign. Einflussgrösse | P < W |
|--------------------|-----|-------|--------|----------------|----------------------|-------|
| Schnitthöhe | 146 | 262.0 | 0.0001 | 0.97 | BHD***, STAO*** | 0.015 |
| 2 m | 146 | 902.1 | 0.0001 | 0.99 | BHD***, BA** | 0.804 |
| 6 m | 146 | 104.0 | 0.0001 | 0.93 | BHD***, STAO**, BA** | 0.004 |
| 10 m | 105 | 20.3 | 0.0001 | 0.79 | BHD***, STAO*** | 0.028 |
| 14 m | 59 | 4.2 | 0.0001 | 0.62 | BHD***, STAO* | 0.897 |

Legende:

n= Anzahl F= Test-Wert der F-Statistik P > F: Überschreitungswahrscheinlichkeit F-Test
 R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation) P < W: Überschreitungswahrscheinlichkeit NVP
 BA= Baumart STAO= Standort

Mittels linearer Regressionsmodelle wurde dann geprüft, ob der Durchmesser in 6 m Baumhöhe für jeden Standort mit dem BHD genügend gut erklärt werden kann (Tab. 8.4-2). Trotz des festgestellten Einflusses der Baumarten (Tab. 8.4-1) wurde die Berechnung, wegen der teilweise zu geringen Anzahl Datensätze, für Fichten und Tannen gemeinsam durchgeführt.

Tab. 8.4-2: Regressionsmodelle zur Beschreibung der Beziehung zwischen dem Stammdurchmesser in 6 m Baumhöhe und dem BHD, pro Standort.

| Standort | n | F | P > F | R ² | DM06 = a + b*BHD | P < W |
|----------------------|----|-------|--------|----------------|---------------------|-------|
| Nord ausgez. | 9 | 88.7 | 0.0001 | 0.92 | -6.062 + 1.275* BHD | 0.184 |
| Nord gut | 70 | 666.7 | 0.0001 | 0.91 | -4.989 + 1.136* BHD | 0.001 |
| Nord mittel | 46 | 465.9 | 0.0001 | 0.91 | -5.804 + 1.156* BHD | 0.154 |
| Nord schlecht | 8 | 87.8 | 0.0001 | 0.93 | -8.060 + 1.214* BHD | 0.242 |
| Süd gut | 15 | 203.1 | 0.0001 | 0.94 | -6.552 + 1.269* BHD | 0.819 |
| Süd schlecht | 17 | 317.5 | 0.0001 | 0.95 | -9.513 + 1.334* BHD | 0.940 |

Legende:

n= Anzahl F= Test-Wert der F-Statistik P > F: Überschreitenswahrscheinlichkeit F-Test
 R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation) P < W: Überschreitungswahrscheinlichkeit NVP

Für jeden Standort ergibt sich ein signifikantes Modell mit hohem Bestimmtheitsmass (> 0.90). Die Varianz des Durchmessers auf 6 m Baumhöhe kann zu über 90 % mit den BHD-Unterschieden erklärt werden. Allerdings sind die Residuen im Modell für den guten Standort am Nordhang nicht normalverteilt, was auf eine Verletzung der Voraussetzungen für die lineare Regression hinweist. Die Regressionsgeraden für die schlechten Standorte sowohl am Nord- wie am Südhang liegen deutlich unter den übrigen Geraden (Abb. 8.4-2.a). Der Vergleich der Baumarten Tanne und Fichte wurde deshalb nur für die mittleren und guten Standorte berechnet (Abb. 8.4-2.b).

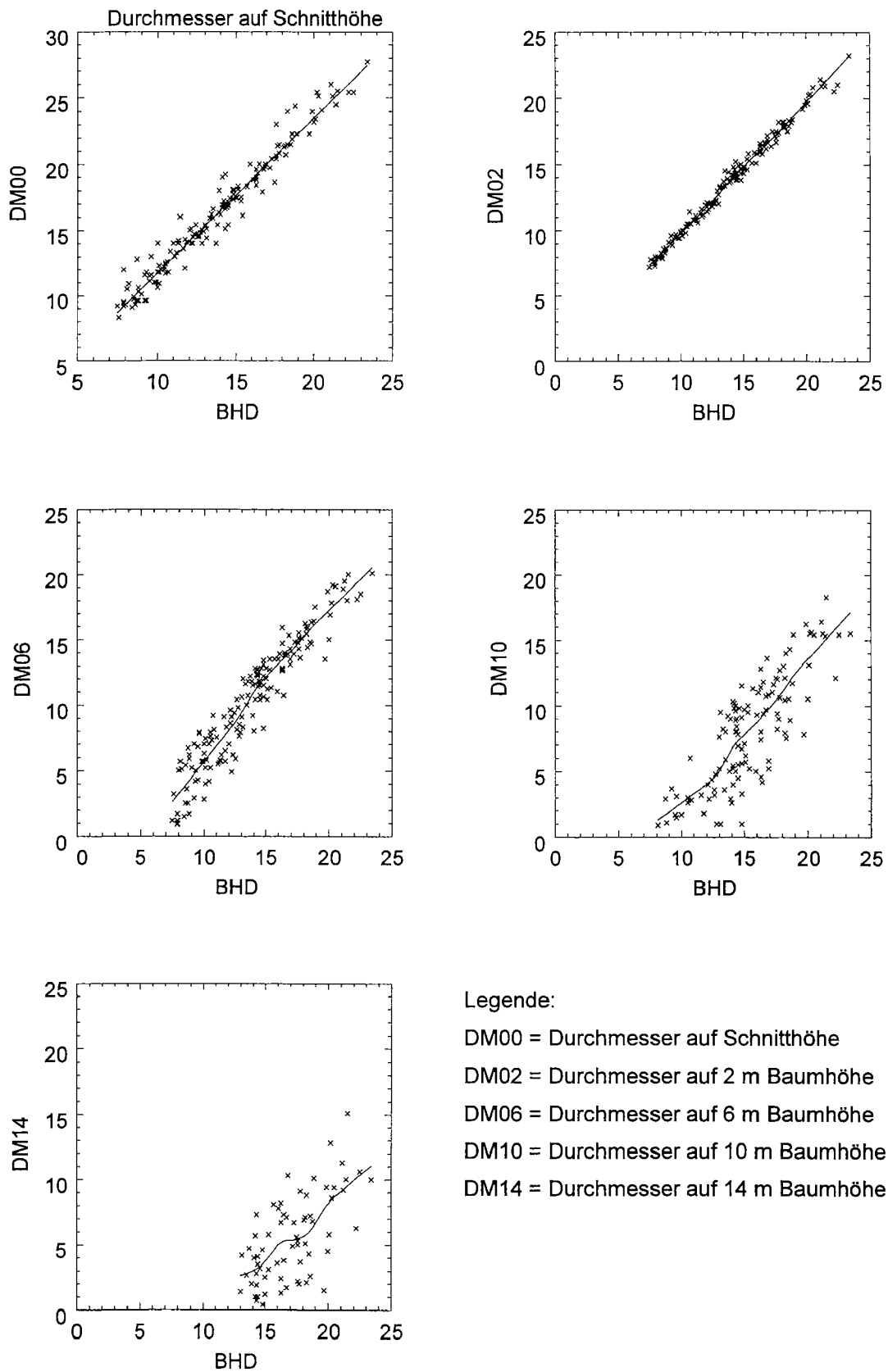


Abb. 8.4-1: Verhältnis der Stammdurchmesser in 0, 2, 6, 10 und 14 m Baumhöhe zum BHD.

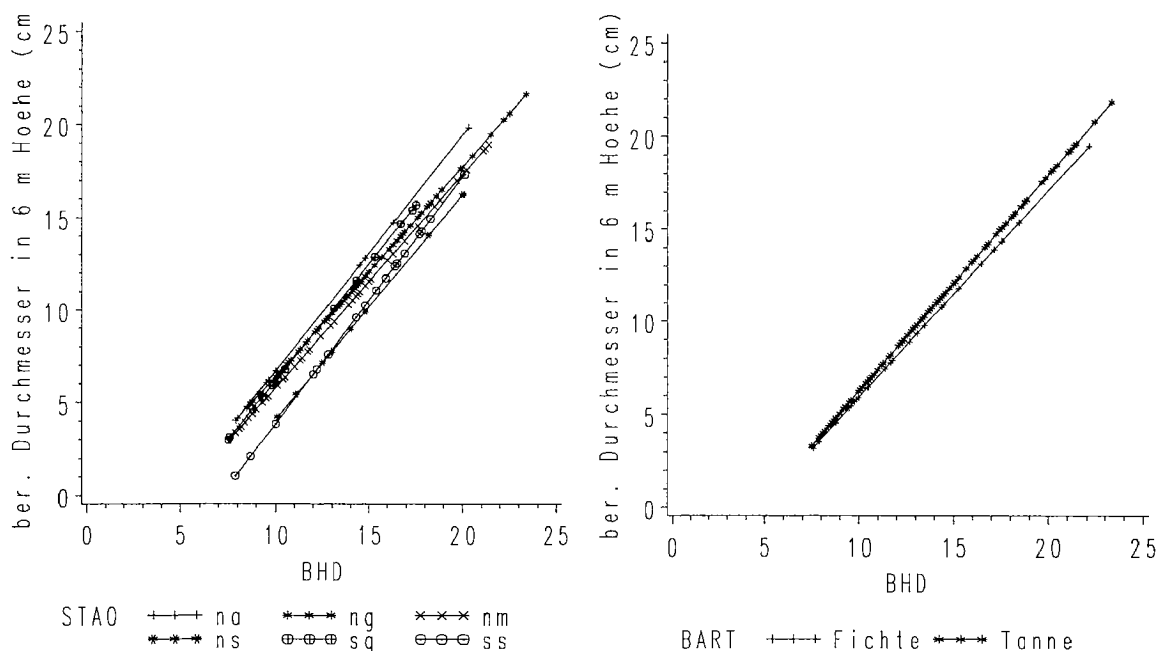


Abb. 8.4-2.a/b: Beziehung zwischen dem Durchmesser auf 6 m Baumhöhe und dem BHD, pro Standort (links) und pro Baumart (mittlere und gute Standorte, rechts).

Tab. 8.4-3: Lineare Regressionsmodelle zur Beschreibung der Beziehung zwischen dem Stammdurchmesser in 6 m Baumhöhe und dem BHD, pro Baumart.

| Baumart | n | F | P > F | R ² | DM06 = a + b*BHD | P < W |
|---------|-----|--------|--------|----------------|---------------------|-------|
| Fichte | 33 | 225.3 | 0.0001 | 0.88 | -6.027 + 1.147* BHD | 0.373 |
| Tanne | 132 | 1233.2 | 0.0001 | 0.90 | -5.635 + 1.164* BHD | 0.011 |

Legende:

n= Anzahl F= Test-Wert der F-Statistik P > F: Überschreitungswahrscheinlichkeit F-Test
 R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation) P < W: Überschreitungswahrscheinlichkeit NVP

Das lineare Regressionsmodell für die Tanne erklärt zwar 90% der Durchmesservarianz auf 6 m Baumhöhe, weist aber nicht normalverteilte Residuen auf. Deshalb wurde auf die statistische Überprüfung der Nullhypothese (kein Unterschied zwischen Fichte und Tanne) verzichtet. Für die Berechnung der Ausbauchungsreihen wurden entsprechend der Ergebnisse der Tab. 8.4-2 nur die mittleren bis guten Standorte berücksichtigt. Die Schaftform wurde getrennt nach den drei Höhenklassen 12 (10.5 bis 13.5m), 15 (13.5 bis 16.5 m) und 18 (≥ 16.5 m) für die Baumart Tanne berechnet (Tab. A. 8.4-1 im Anhang) und in Abb. 8.4-3 graphisch dargestellt. Da die Höhe des grössten Durchmesserwachstums mit zunehmender Baumhöhe nach oben wandert, verändert sich mit der Zeit die Schaftform. Die Bäume werden dabei vollholziger.

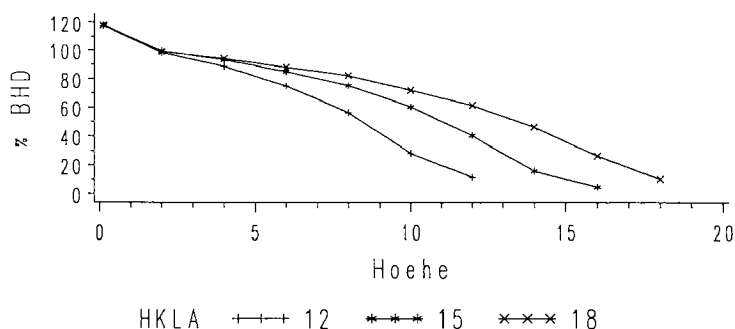


Abb. 8.4-3: Stammform der Tanne auf mittleren und guten Standorten, pro Höhenklasse.

8.4.2 Durchmesserabnahme pro Laufmeter

Für die Beurteilung der Vollholzigkeit interessiert die Durchmesserabnahme im unteren, weder durch die Wurzelanläufe noch durch den Baumwipfel beeinflussten Stammstück. Als mittlere Durchmesserabnahme wurde in einem ersten Schritt die Abnahme des Stammdurchmessers zwischen 2 und x m definiert, wobei x ein gerader Zahlenwert ist, welcher mindestens zwei Meter kleiner ist als die Baumhöhe. Die solchermassen definierte mittlere Durchmesserabnahme liegt zwischen 0.65 (5%-Wert) und 1.48 cm (95%-Wert) pro Laufmeter, mit einem Median von 0.98. Mittels logistischer Regression wurde geprüft, von welchen Faktoren die Durchmesserabnahme beeinflusst wird. Die Tab. 8.4-4 zeigt, dass von den untersuchten Faktoren der Standort, die seitliche Konkurrenz und die BHD-Stufe einen Einfluss auf die Durchmesserabnahme haben.

Tab. 8.4-4: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf die mittlere Durchmesserabnahme.

| | |
|----------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 7.5 bis 22.4 cm BHD, 164 Beobachtungen |
| Zielvariable | grosse BHD-Abnahme (> 1.2 cm pro Laufmeter) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Effekte | Standort **, BHD-Stufe **, Konkurrenz * |
| Signifik. Variablen | positiv: DSTU S10 **, STAO=Ss **, STAO=Ns *, KKLA einzel */ mittel * negativ: DSTU S20 (*), STAO=Sg *, KKLA gross (*) |

Legende:

BA= Baumart (Tanne, Fichte) DSTU= BHD-Stufe (S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, a=ausgezeichnet, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Übershirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), grosse (>4 Konk.) Konkurrenz]

Die schlechteren Standorte sowohl am Nord- wie am Südhang weisen einen grösseren Anteil an abholzigen Bäumen auf, der gute Standort in Südexposition einen kleineren (Tab. A.8.4- im Anh.). Einzelne wachsende Bäume als auch Bäume mit mittlerer Konkurrenz weisen einen höheren Anteil abholziger Bäume auf, stark konkurrenzierte einen höheren Anteil vollholziger Bäume. Dünnere, d.h. weniger hohe Bäume weisen häufiger eine grössere mittlere Durchmesserabnahme auf als dickere und damit höhere Bäume (vgl. Abb. 8.4-3). Für den statistischen Vergleich der Standorte wurden deshalb nur Bäume ab 12.5 cm BHD verwendet. Die mittlere Durchmesserabnahme wurde entsprechend für den Höhenbereich 2 bis 8 m berechnet. In diesem Bereich schwankt die mittlere Durchmesserabnahme zwischen 0.37 und 1.27 cm pro Laufmeter, mit einem Median von 0.68 und Quartilen von 0.53 respektive 0.87 cm pro Laufmeter. Die Verteilung der 98 Werte weicht deutlich von der Normalverteilung ab. Von den untersuchten Faktoren hat nur der Standort einen Einfluss. Auf den schlechteren Standorten sowohl in Nord- als auch in Südexposition weisen die Stämme eine grössere Durchmesserabnahme auf als auf den mittleren und guten Standorten (Abb. 8.4-4).

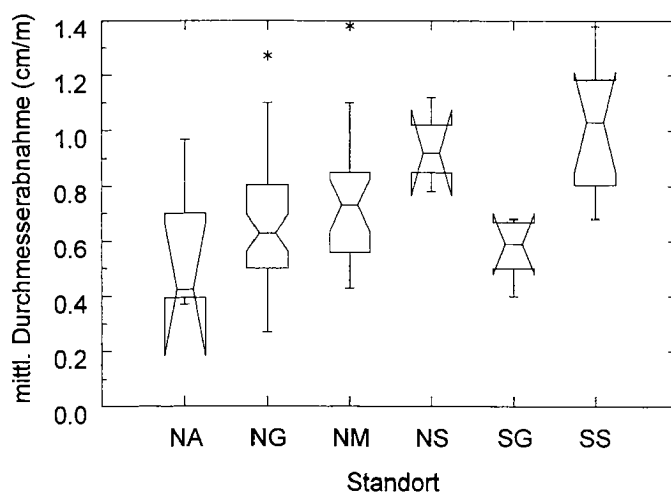


Abb. 8.4-4: Mittlere Durchmesserabnahme zwischen 2 und 8 m Baumhöhe, getrennt nach Standorten.

Legende:

NA = Nord ausgezeichnet
 NG = Nord gut
 NM = Nord mittel
 NS = Nord schlecht
 SG = Süd gut
 SS = Süd schlecht

8.4.3 Echte Formzahl nach Hohenadl

Die echte Formzahl nach Hohenadl (λ) ist der beste Weiser für die Formigkeit. Sie ist definiert als das Volumen des Baumes (v) im Vergleich zu einer Bezugswalze (w), deren Durchmesser einem Baumdurchmesser in relativer Baumhöhe (meist 10%) und deren Länge der Baumhöhe entspricht:

$$\lambda_{0,1} = v / w_{0,1} \quad (\text{Formzahl nach Hohenadl})$$

Der Durchmesser in 10% Baumhöhe wurde nicht gemessen, kann aber mit Hilfe der Messungen in Brusthöhe und in 2 m Baumhöhe wie folgt approximiert werden:

$$D_{0,1} = \text{BHD} + \{[(\text{Höhe (m)} * 10) - 130] * \{(\text{BHD} - \text{DM02}) / 70\}\}]$$

Das Baumvolumen wurde sektionsweise nach der Smalianschen Formel [$v = \{(g_u + g_o) / 2\} * l$] berechnet. Für den Neiloid-Stumpf des Stammfusses (0 bis 2 m) wurde die Formel von Newton [$v = \{(g_u + 4 * g_m + g_o) / 6\} * l$] verwendet, mit Approximation des Durchmessers auf 1 m Baumhöhe. Das oberste Stück bis zur Baumspitze wurde als Spitzkegel berechnet. Die statistischen Kennwerte der echten Formzahl nach Hohenadl gehen aus der Tab. 8.4-5 hervor.

Tab. 8.4-5: Statistische Kennwerte der echten Formzahl nach Hohenadl, pro Baumart.

| Baumart | n | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|-----------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| Tanne | 126 | 0.58 | 0.05 | 0.99 | 0.944 | 0.50 | 0.54 | 0.58 | 0.62 | 0.67 |
| Fichte | 33 | 0.57 | 0.06 | 0.98 | 0.807 | 0.49 | 0.54 | 0.57 | 0.61 | 0.68 |
| Nadelholz | 159 | 0.58 | 0.06 | 0.99 | 0.807 | 0.49 | 0.54 | 0.58 | 0.62 | 0.67 |

Legende:

N= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Wahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

Q3= 3. Quartil (75%)

P95= 95%-Wert

Max. = Maximum (ohne Ausreisser)

Zwischen den Baumarten Tanne und Fichte gibt es keinen statistisch signifikanten Unterschied in der echten Formzahl (T-Test: $F = 1.23$, $\text{Prob} > F = 0.425$), d.h., sie weisen dieselbe Formigkeit auf. Die vermuteten Einflussfaktoren auf die Formigkeit wurden mit Hilfe der logistischen Regression geprüft. Die gesamten Ergebnisse sind im Anhang in den Tab. A.8.4-4 und A.8.4-5 dargestellt. Einzig die BHD-Stufe hat einen signifikanten Einfluss auf die Formigkeit (Tab. 8.4-6). Allerdings ist das logistische Modell nicht sehr geeignet ($p > \text{Chi}^2 = 0,0205$).

Tab. 8.4-6: Prüfung des Einflusses diverser Faktoren auf die Formigkeit der Aushiebe.

| | |
|----------------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl Zielvariable | 7.5 bis 22.4 cm BHD, 158 Beobachtungen kleine Formzahl λ ($\lambda < 0.55$) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA |
| Signifikante Effekte | BHD-Stufe ** |
| Signifik. Variablen | positiv: DSTU S20 *** negativ: DSTU S10 * |

Legende:

BA= Baumart (Tanne, Fichte)

DSTU= BHD-Stufe (S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, a=ausgezeichnet, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Übershirmungsklasse (nicht übershirmt, Traufbereich (± 0.5 m), übershirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), grosse (>4 Konk.) Konkurrenz]

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten.

Der Einfluss der BHD-Stufe ist in Abb. 8.4-5 je für die Tanne und die Fichte dargestellt.

Zwischen der Formzahl der Tannen in den BHD-Stufen S10 und S15 gibt es keine signifikanten Unterschiede. Dagegen weisen die Tannen der BHD-Stufe S20 signifikant kleinere Formzahl-Werte auf. Bei der Fichte nehmen die Formzahl-Werte mit zunehmendem BHD kontinuierlich ab.

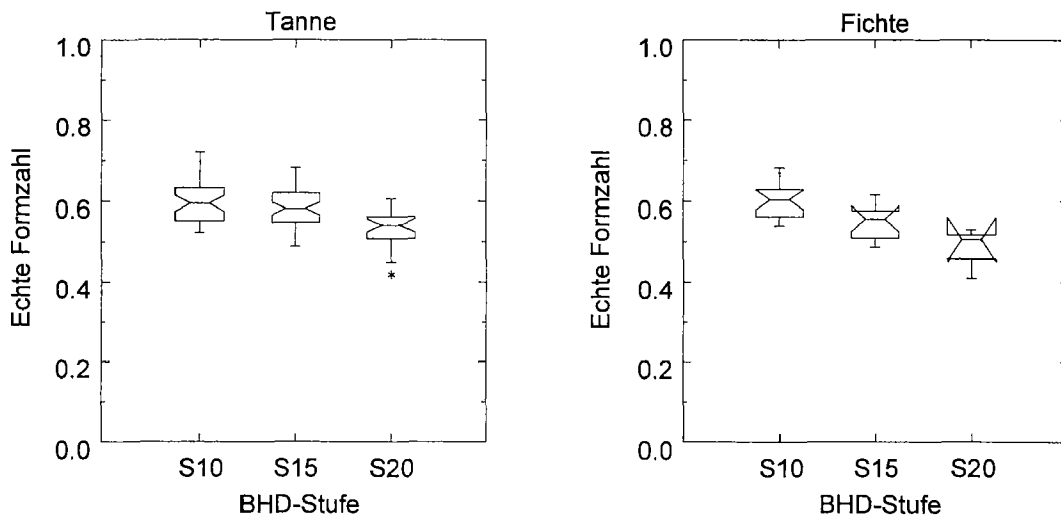


Abb. 8.4-5: Echte Formzahl nach Hohenadl pro Durchmesserstufe, nach BA getrennt.

Der Unterschied zwischen den Standorten wurde für die Tannen der BHD-Stufen S10 und S15 dargestellt (Abb. 8.4-6). Tannen auf dem ausgezeichneten Standort am Nordhang weisen eine signifikant grössere Formzahl auf als solche auf mittleren oder schlechteren Standorten; sie sind also vollformiger. Tannen auf dem schlechten Standort am Nordhang weisen zwar eine kleinere Formzahl auf, sind aber nicht signifikant abformiger als Tannen auf den übrigen Standorten.

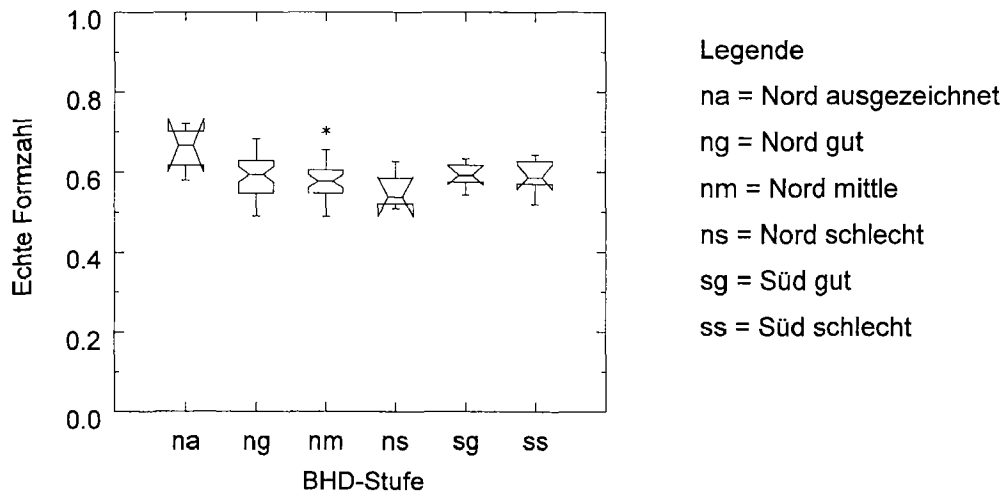


Abb. 8.4-6: Echte Formzahl nach Hohenadl pro Standort, für die Baumart Tanne.

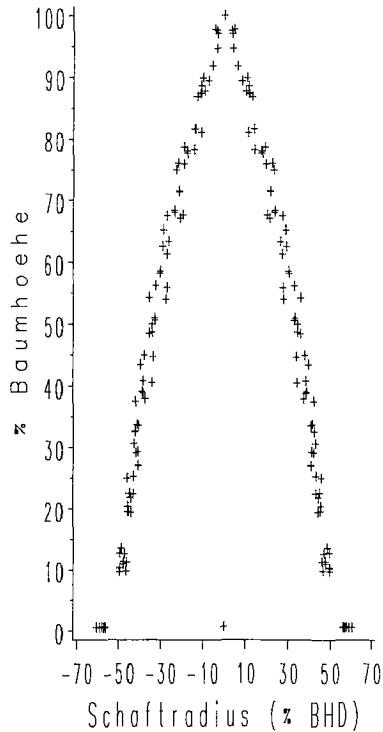
Üblicherweise werden Bäume ab einer Formzahl grösser als 0.52 als vollformig bezeichnet; hier geht es aber in erster Linie um das graphische Aufzeigen der Variation in der Formigkeit. Deshalb wurde eine Einteilung vorgenommen, welche die Nachwuchsbäume im Aushieb etwa gleichmässig auf 6 Schafttypen verteilt (Tab. 8.4-7).

Tab. 8.4-7: Definition der Schafttypen mit Hilfe der echten Formzahl nach Hohenadl.

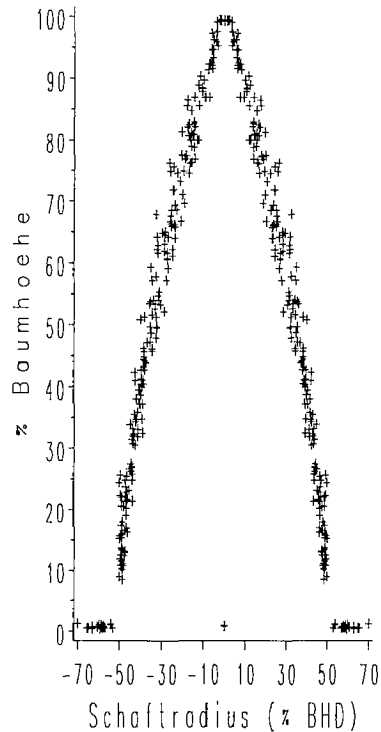
| Schafttyp | Formzahl FZ | Beschreibung |
|-----------|---------------------|--------------------|
| 1 | $FZ < 0.50$ | stark abformig |
| 2 | $0.499 < FZ < 0.54$ | abformig |
| 3 | $0.539 < FZ < 0.58$ | schwach abformig |
| 4 | $0.579 < FZ < 0.62$ | schwach vollformig |
| 5 | $0.619 < FZ < 0.66$ | vollformig |
| 6 | $0.659 < FZ$ | stark vollformig |

Diese 6 Schafttypen können graphisch dargestellt werden, indem ihre Höhen und Durchmesser in Relation zur Baumhöhe bzw. zum BHD gesetzt werden (Abb. 8.4-7.a-f).

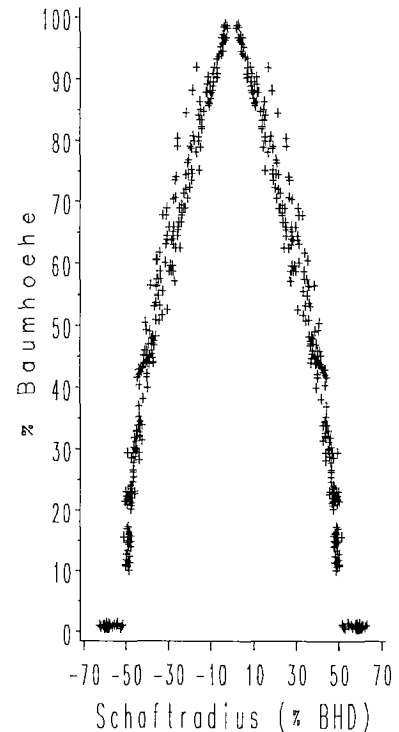
Abb. 8.4-7.a-f: Graphische Darstellung der Schafttypen 1 bis 6.



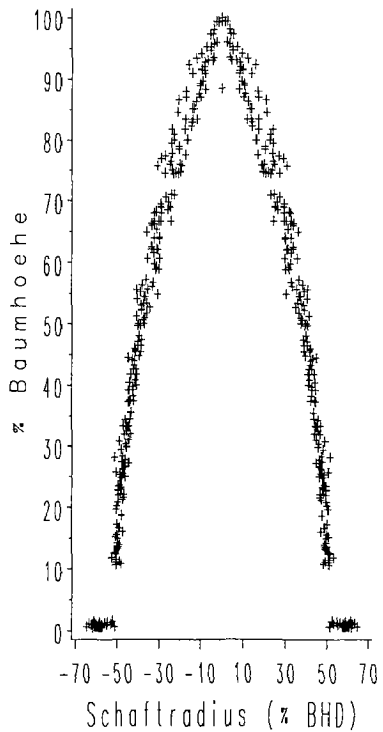
Schafttyp 1: stark abformig



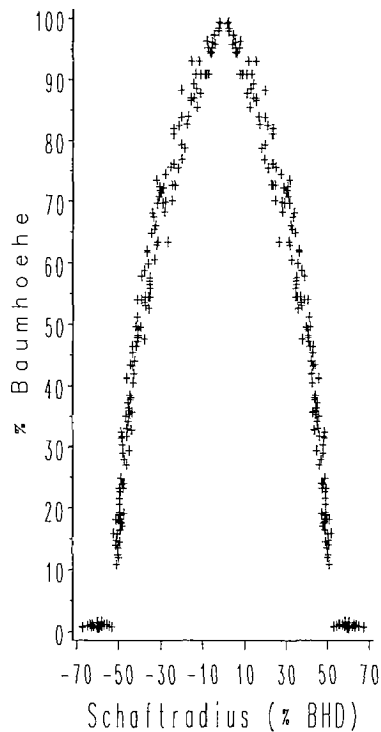
Schafttyp 2: abformig



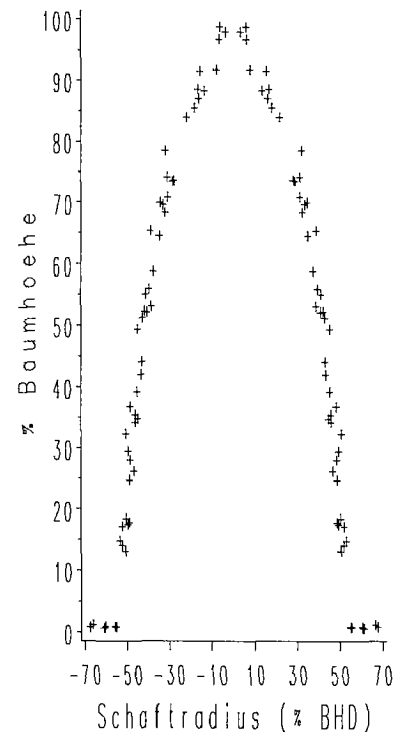
Schafttyp 3: schwach abformig



Schafttyp 4: schwach vollformig



Schafttyp 5: vollformig



Schafttyp 6: stark vollformig

8.4.4 Schaftquerschnitt

Ein kreisrunder Stammquerschnitt gilt als Holzqualitätsmerkmal. Ob der Stammquerschnitt von der Kreisform abweicht, wurde mit Hilfe der Schaftovalität und der Differenz zweier Stammdurchmesser auf 2, 6 und 10 m Baumhöhe untersucht. Als Schaftovalität wird der Quotient von grösserem zu kleinerem Durchmesser auf einer bestimmten Baumhöhe bezeichnet. Sie gibt die relative Abweichung des grösseren vom kleineren Durchmesser an, die Durchmesserdifferenz die absolute. Auf allen drei Baumhöhen ist das Merkmal Schaftovalität linkssteil verteilt und weicht signifikant von einer Normalverteilung ab (Tab. 8.4-8). Bei 50 % der Bäume weicht der grössere Durchmesser maximal 1.6 % vom kleineren ab, bei drei Viertel der Bäume maximal 4 %. Die Werte der Schaftovalität sind für die drei Baumhöhen vergleichbar. Die absolute Differenz zwischen grösserem und kleinerem Durchmesser dagegen nimmt mit zunehmender Baumhöhe ab (Tab. 8.4-9). Bei mehr als 50 % der Bäume beträgt sie höchstens 0.2 cm, bei mehr als 75 % höchstens 0.5 cm auf 2 m Höhe und 0.2 cm auf 6 und 10 m Höhe.

Tab. 8.4-8: Statistische Kennwerte der Schaftovalität.

| Baumhöhe | n | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|----------|-----|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 2 m | 165 | 1.025 | 0.025 | 0.85 | 0.000 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.04 | 1.07 |
| 6 m | 165 | 1.022 | 0.023 | 0.83 | 0.000 | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.03 | 1.07 |
| 10 m | 119 | 1.021 | 0.024 | 0.80 | 0.000 | 1.00 | 1.00 | 1.02 | 1.03 | 1.07 |

Legende:

n= Anzahl MW= Mittelwert STD=Standardabweichung
 NVP=Normalverteilungsprüfung P<W: Wahrscheinlichkeit für NV. P05= 5%-Wert
 Q1= 1.Quartil (25%) MED= Median (50%) Q3= 3. Quartil (75%) P95= 95%-Wert.

Tab. 8.4-9: Statistische Kennwerte der Durchmesserdifferenz.

| Baumhöhe | N | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|----------|-----|------|------|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2 m | 165 | 0.35 | 0.38 | 0.79 | 0.000 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1.2 |
| 6 m | 165 | 0.22 | 0.25 | 0.75 | 0.000 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.8 |
| 10 m | 119 | 0.15 | 0.16 | 0.82 | 0.000 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.4 |

Die Abweichungen von der Kreisform sind also sowohl absolut als auch relativ ziemlich gering. Die relevanten Einflussfaktoren wurden mittels logistischer Regression bestimmt. Zusätzlich zu den bisherigen Parametern wurde die Kronensymmetrie berücksichtigt (Tab. A.8.4-6 und A.8.4-7 im Anhang). Kein einziger Faktor weist einen signifikanten Einfluss auf die Schaftovalität auf (Tab. 8.4-10). Zudem ist das logistische Modell nicht besonders geeignet ($p > \chi^2 = 0,0004$)

Tab. 8.4-10: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf die Schaftovalität der Nadelbäume.

| | |
|----------------------|---|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 7.5 bis 22.4 cm BHD, 142 Beobachtungen |
| Zielvariable | fischiger Stammquerschnitt auf 6 m Höhe (> 0.2 cm Durchmesserdifferenz) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA, KSYM |
| Signifikante Effekte | |
| Signifik. Variablen | positiv: STAO= Ng *, GFK 30-40 (*), KKLA grosse Konk. (*) negativ: |

Legende:

BA= Baumart (Tanne, Fichte) DSTU= BHD-Stufe (S10,S15,S20)
 STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, a=ausgezeichnet, g=gut, m=mittel, s=schlecht)
 SKLA = Überschirmungsklasse (nicht überschirmt, Traufbereich (± 0.5 m), überschirmt)
 GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)
 KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), grosse (>4 Konk.) Konkurrenz]
 KSYM = Kronensymmetrie (symmetrisch, asymmetrisch)

8.5 Astigkeit

Ergänzend zu Kap. 6.4.4 werden hier die gemessenen Werte des kleinsten, grössten und mittleren Durchmessers der Grünäste im Bereich 4 bis 10 m Baumhöhe analysiert. Die Astdurchmesserwerte der Aushiebe über 12,4 cm BHD sind nicht normalverteilt (Tab. 8.5-1) und schwanken zwischen 1,4 und 3,8 cm. Für die Qualitätsbeurteilung ist der grösste Astdurchmesser von Bedeutung. 50 % der Bäume weisen einen maximalen Astdurchmesser von weniger 2.6 cm auf, und fast drei Viertel der Bäume einen solchen von weniger als 3 cm.

Tab. 8.5-1: Statistische Kennwerte des Grünast-Durchmessers von Fichten und Tannen, in cm (n = 84). Aushiebe mit mehr als 12,4 cm BHD.

| Durchmesser DM | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|----------------|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| kleinster DM | 2.0 | 0.5 | 0.95 | 0.004 | 1.4 | 1.7 | 2.0 | 2.2 | 3.0 |
| mittlerer DM | 2.3 | 0.5 | 0.94 | 0.002 | 1.7 | 1.9 | 2.2 | 2.6 | 3.2 |
| grösster DM | 2.7 | 0.6 | 0.96 | 0.042 | 1.9 | 2.2 | 2.5 | 3.0 | 3.8 |

Legende:

N= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

Q3= 3. Quartil (75%)

P95= 95%-Wert

Mit Hilfe der logistischen Regression wurde überprüft, welche der vermuteten Einflussfaktoren einen signifikanten Einfluss auf einen mittleren Astdurchmesser von weniger als 2 cm haben. Zwischen den Baumarten Tanne und Fichte und (auf 90%-Niveau) zwischen den BHD-Stufen 15 und 20 bestehen schwach signifikante Unterschiede im Anteil feinastiger Bäume (Tab. A.8.5-1 und Tab. A.8.5-2 im Anhang). Im Aushieb sind Fichten signifikant häufiger feinastig als Tannen. Wegen der zu geringen Zahl von Messwerten für die Fichte wurde der Zusammenhang zwischen Baumdimension und Astdurchmesser nur für die Tanne dargestellt. Bei der Tanne ist eine mehr oder weniger lineare Zunahme des mittleren Grünastdurchmessers mit zunehmendem BHD festzustellen (Abb. 8.5-1). Das lineare Regressionsmodell mit dem BHD als einzigem Faktor ist statistisch hochsignifikant ($F = 24.12$, $\text{Prob} > F = 0.0001$, Residuen normalverteilt) und erklärt rund 28 % der Varianz. Die Beziehung zwischen dem BHD und dem Grünast-Durchmesser lautet:

$$\text{mittlerer Grünastdurchmesser (Tanne)} = 0.672 + 0.105 \cdot \text{BHD}.$$

Für die Beurteilung der Qualität ist nicht der mittlere, sondern der maximale Grünastdurchmesser entscheidend. Seine Abhängigkeit vom BHD ist für die Tanne in Abb. 8.5-2 dargestellt.

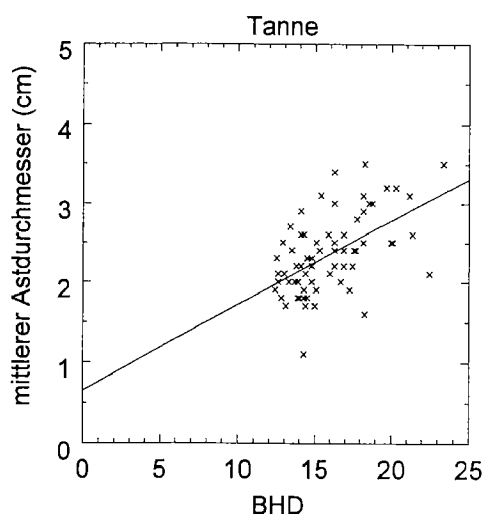


Abb. 8.5-1: Beziehung zwischen BHD und mittlerem Grünastdurchmesser.

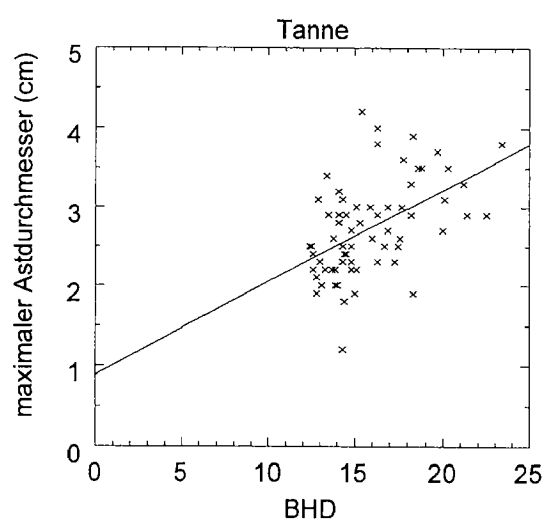


Abb. 8.5-2: Beziehung zwischen BHD und maximalem Grünastdurchmesser.

8.6 Schäden

An den 1130 Stämmen des Aushiebes mit einem Durchmesser grösser als 2,4 cm BHD wurden äusserlich erkennbare Schäden an Stamm und Krone als auch sichtbare Holzschäden erfasst.

8.6.1 Schäden im Schaft- und Kronenbereich

Im Schaft- und Kronenbereich wurden die zwei wichtigsten Schäden erfasst. Die Häufigkeit der einzelnen Schadenkategorien ist nach Baumarten getrennt wiedergegeben (Tab. 8.6-1).

Tab. 8.6-1: Anzahl geschädigter Aushiebe nach Schadenkategorie und nach Baumart.

| Schadenkategorie | Tanne | | Fichte | | Buche | | and.Lbh | |
|--------------------------------|------------|--------------|-----------|--------------|------------|--------------|-----------|--------------|
| | n | % | n | % | n | % | n | % |
| kein Schaden | 221 | 47.6 | 47 | 51.6 | 247 | 48.7 | 26 | 38.2 |
| Wipfelbruch | 34 | 7.3 | 1 | 1.1 | 15 | 3.0 | 3 | 4.4 |
| Zwiesel | 14 | 3.0 | 0 | 0.0 | 15 | 3.0 | 5 | 7.4 |
| Rindenverletzung | 39 | 8.4 | 23 | 25.3 | 17 | 3.4 | 7 | 10.3 |
| Stammkrebs | 16 | 3.4 | 0 | 0.0 | 1 | 0.2 | 0 | 0.0 |
| Schief- oder Krummwuchs | 32 | 6.9 | 3 | 3.3 | 216 | 42.6 | 24 | 35.3 |
| unvital | 123 | 26.5 | 20 | 22.0 | 10 | 2.0 | 4 | 5.9 |
| Wipfelbruch, ausgewachsen | 7 | 1.5 | 1 | 1.1 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| grobastig (Protz) | 12 | 2.6 | 3 | 3.3 | 3 | 0.6 | 0 | 0.0 |
| übrige | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 1 | 0.2 | 3 | 4.4 |
| Total Stämme im Aushieb | 464 | 100.0 | 91 | 100.0 | 507 | 100.0 | 68 | 100.0 |

Bemerkung: das Total der Stämme entspricht nicht dem Total der Bäume mit und ohne Schäden, weil es Bäume mit mehr als einem erkennbaren Schaden gibt.

Je rund die Hälfte aller Tannen, Fichten und Buchen im Aushieb waren unbeschädigt.

Wipfelbrüche kommen bei Tannen wesentlich häufiger vor als bei Fichten. Rund ein Viertel der Fichten wiesen Rindenverletzungen auf, je ein Viertel der Fichten und Tannen eine schlechte Vitalität. Beide Schadenkategorien spielen bei den Laubbäumen eine weniger wichtige Rolle. Dafür sind im Aushieb viele ein- oder unschnürige Buchen und andere Laubbäume vertreten. Stammkrebs, Grobastigkeit und übrige Schäden sind insgesamt unbedeutend.

8.6.2 Holzschäden

Die Fichte weist, trotz eines hohen Anteils überwallter Rindenverletzungen, mit fast 10% den höchsten Anteil an Holzfäule auf (Tab. 8.6-2). Der Nasskern bei Tanne und das Druckholz bei Tanne und Fichte sind wesentlich seltener. Aufgrund der bedeutenden Anteile von überwallten Rindenverletzungen kann bei allen Baumarten eine gute Regenerationsfähigkeit vermutet werden. Bei der Fichte ist dies jedoch kein genügender Schutz vor Befall durch holzabbauende Pilze. Rund 23% der Fichten mit einer überwallten oder äusserlich erkennbaren Rindenverletzung weisen nämlich eine Holzfäule auf, wogegen es bei Tannen nur 1,4% und bei Buchen 0,0 % sind.

Tab. 8.6-2: Anzahl Aushiebe mit Holzschäden, nach Schadenart und Baumart.

| Schadenart | Tanne | | Fichte | | Buche | | and.Lbh | |
|-----------------------------|------------|--------------|-----------|--------------|------------|--------------|-----------|--------------|
| | n | % | n | % | n | % | n | % |
| kein Schaden | 396 | 85.3 | 69 | 75.8 | 474 | 93.5 | 66 | 97.1 |
| Holzfäule | 5 | 1.1 | 6 | 6.6 | 5 | 1.0 | 0 | 0.0 |
| Nasskern | 16 | 3.4 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| überwallte Rindenverletzung | 36 | 7.8 | 9 | 9.9 | 26 | 5.1 | 1 | 1.5 |
| Druckholz | 10 | 2.2 | 3 | 3.3 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| Holzfäule/überw.Rindenverl. | 0 | 0.0 | 3 | 3.3 | 0 | 0.0 | 1 | 1.5 |
| andere | 1 | 0.2 | 1 | 1.1 | 2 | 0.4 | 0 | 0.0 |
| Total | 464 | 100.0 | 91 | 100.0 | 507 | 100.0 | 68 | 100.0 |

9 Entwicklung der Aushiebe

9.1 Radialzuwachs

9.1.1 Grösse, Verteilung und zeitliche Entwicklung des Radialzuwachses

Der Radialzuwachs der Nadelbäume wurde anhand von Stammscheiben aus 1.3 bis 2.0 m Höhe für 5-Jahresperioden bis zum Beginn dieses Jahrhunderts zurückverfolgt. Der mittlere periodische Radialzuwachs ist in den ersten acht Perioden normalverteilt, danach weicht die Verteilung der Daten signifikant von der Normalverteilung ab (Tab. A.9.1-1 im Anhang). Für die erste Periode stehen nur 10 Werte zur Verfügung, für die zwei letzten 149. Der Median schwankt zwischen 0.7 und 1.4 mm pro Jahr, der 5%-Wert zwischen 0.1 und 0.6, der 95%-Wert zwischen 1.2 und 2.6. Die zeitliche Entwicklung des Radialzuwachses von Periode zu Periode (Abb. 9.1-1) vermittelt den Eindruck, dass der Zuwachs bis zur Periode 1927-31 angestiegen und nachher auf mittlere Werte von rund 1 mm Jahrringbreite abgesunken sei. Da die Stichprobe von Periode zu Periode grösser wird, d.h. die Stichproben pro Periode nicht identisch sind, wurden für die Untersuchung der zeitliche Entwicklung nur jene Bäume berücksichtigt, welche über den gesamten Zeitraum von 70 Jahren in der Stichprobe vertreten sind (vgl. Abb. 9.1-4 und Abb. 9.1-5).

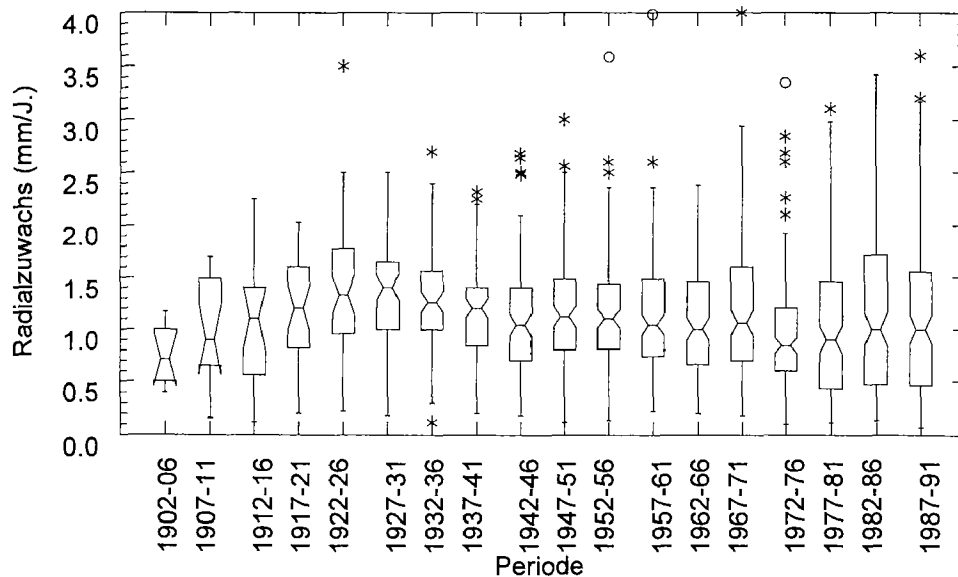


Abb. 9.1-1: Zeitliche Entwicklung des mittleren periodischen Radialzuwachses.

Als Einflussfaktoren auf den mittleren jährlichen Radialzuwachs der letzten 10 Jahre wurden neben der Baumart, dem Standort, der Beschattung, Beschirmung und seitlichen Konkurrenz und dem Durchmesser der Aushiebsgrund, die relative Kronenlänge und das Alter mit berücksichtigt. Mit Hilfe des logistischen Modelles wurde untersucht, welche von diesen Parametern einen signifikanten Einfluss auf die Bildung eines kleinen mittleren Radialzuwachses (< 1 mm/J) haben. Das Ergebnis (Tab. A.9.1-2 und Tab. A.9.1-3 im Anhang) ist in Tab. 9.1-1 zusammengefasst. Einen signifikanten Einfluss auf den Radialzuwachs haben nur die Beschattung und die relative Kronenlänge. Einzeln wachsende oder nicht überschirmte Aushiebe sowie Aushiebe mit kleiner Beschattung (< 20 m²/ha) oder grosser relativer Kronenlänge weisen einen grösseren Radialzuwachs auf als die übrigen Bäume. Umgekehrt weisen Bäume mit grosser Beschattung (> 40 m²/ha) oder kleiner relativer Kronenlänge (< 50%) einen grösseren Anteil langsamwüchsiger Bäume auf. Bei den Bäumen mit Aushebsgrund "negative Auslese" ist der Anteil mit kleinem Radialzuwachs signifikant grösser, bei solchen auf guten Standorten am Nordhang deutlich kleiner als bei den übrigen Bäumen.

Tab. 9.1-1: Prüfung des Einfluss diverser Faktoren auf den Radialzuwachs der Aushiebe.

| | |
|----------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 7.5 bis 22.4 cm BHD, 172 Beobachtungen |
| Zielvariable | kleiner Radialzuwachs (< 1 mm/Jahr) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA, GKLA, RKLA, AKLA |
| Signifikante Effekte | relative Kronenlänge *, Beschattung * |
| Signifik. Variablen | positiv: RKLA < 40%, RKLA 40-50% (*), GFK > 40 *, GKLA=neg.(*) negativ: RKLA > 70%, RKLA 60-70% (*), GFK < 20 *, GFK 30-40 *, SKLA= nus, STAO=Ng *, KKLA einzel (*), AKLA 60-80(*) |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh)

DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, a=ausgezeichnet, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschirmungsklasse (nus= nicht überschirmt, tra= Traufbereich (± 0.5 m), abs= überschirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²/ha)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), grosse (>4 Konk.) Konkurrenz]

GKLA = Aushiebsgrund-Klasse (Konk= Konkurrent, neg.= negative Auslese, and.= andere)

RKLA = relative Kronenlänge (< 40%, 40-50%, 50-60%, 60-70%, > 70%)

AKLA = Altersklasse (< 60, 60-79, 80-99, ≥ 100 Jahre)

positiv = hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

negativ = hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Die vertiefte Betrachtung der Einflussfaktoren auf den Radialzuwachs mit der Kovarianz-Analyse ergibt ein etwas anderes Bild. Ausser dem Standort sind hier alle Einflussfaktoren signifikant. Die asymmetrische Verteilung der Residuen auf die vorhergesagten Werte deutet jedoch darauf hin, dass die Beziehung zwischen den Faktoren, trotz Normalverteilung der Residuen, nicht linear ist. Die Berechnung allgemeiner linearer Modelle ist deshalb nicht sinnvoll. Stattdessen sind die Beziehungen zwischen der relativen Kronenlänge bzw. dem BHD und dem Radialzuwachs graphisch dargestellt. Es wurden dabei nur die Konkurrenten der Auslesebäume berücksichtigt, welche in einem mittleren BHD- bzw. relativen Kronenlängenbereich liegen. Die Beziehung sowohl des BHD als auch der relativen Kronenlänge verläuft im untersuchten Bereich mehr oder weniger quadratisch (Abb. 9.1-2 und Abb. 9.1-3).

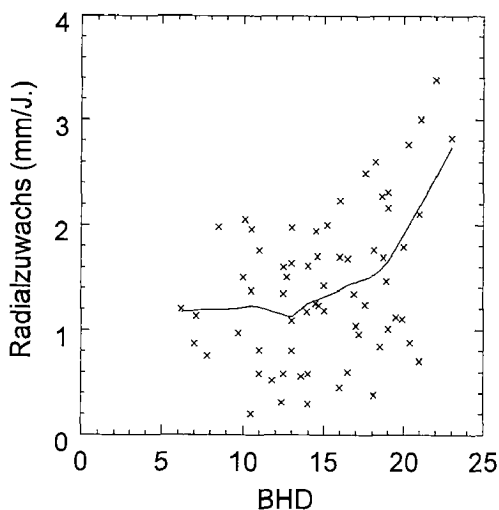


Abb. 9.1-2: Beziehung zwischen Zuwachs und BHD, für $0.35 < \text{rel. Kronenlänge} < 0.75$.

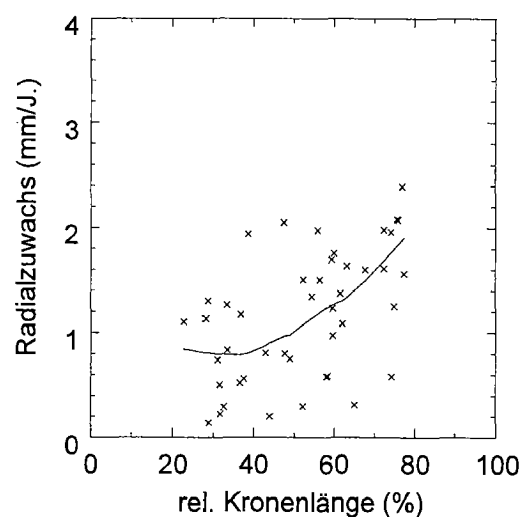


Abb. 9.1-3: Beziehung zwischen Zuwachs und rel. Kronenlänge, für $7.5 < \text{BHD} < 15.0$.

Die Entwicklung des Radialzuwachses für die Bäume des Aushiebes ist in Abb. 9.1-4 dargestellt. Es wurden nur jene Bäume berücksichtigt, für welche die Zuwachswerte über die letzten 70 Jahre vorlagen. Der Radialzuwachs aller Aushiebe hat von rund 1.3 mm pro Jahr in der Periode 1922-1926 sukzessive auf einen Tiefstwert von rund 0.6 mm/Jahr in der Periode 1977-81 abgenommen.

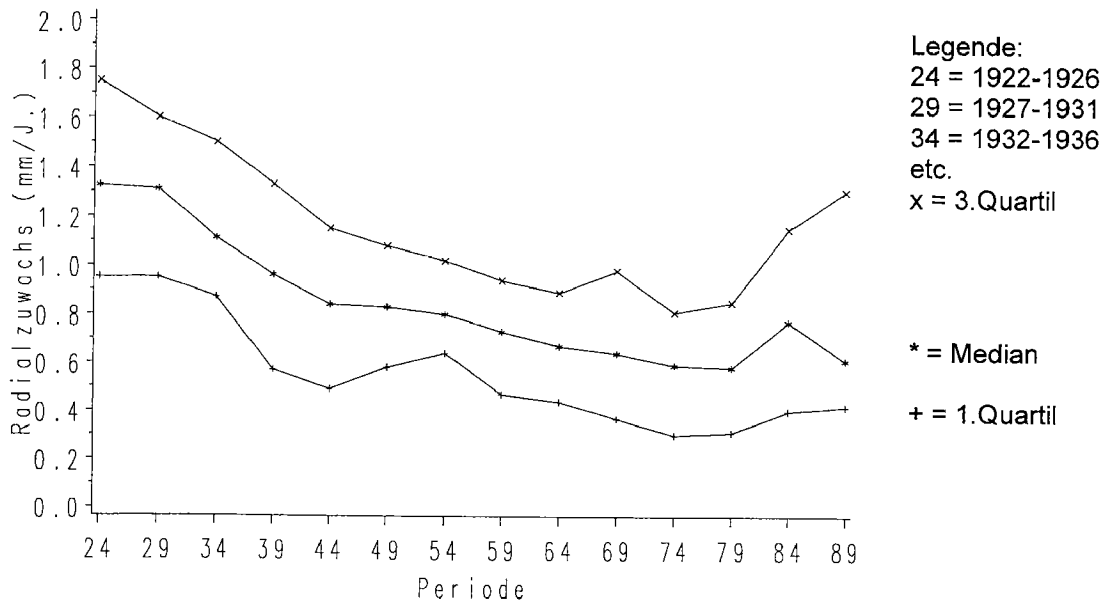


Abb. 9.1-4: Zeitliche Entwicklung des Radialzuwachses in den letzten 70 Jahren (n = 49).

Uns interessiert in diesem Zusammenhang die Frage, ob es zwischen den Gruppen mit unterschiedlichem Aushiebsgrund Unterschiede im mittleren Radialzuwachs gibt. Um für jede der drei Aushiebsgrund-Klassen "Konkurrent", "negative Auslese" und "andere" genügend Werte zur Verfügung zu haben, wurden nur die letzten 50 Jahre betrachtet (Abb. 9.1-5).

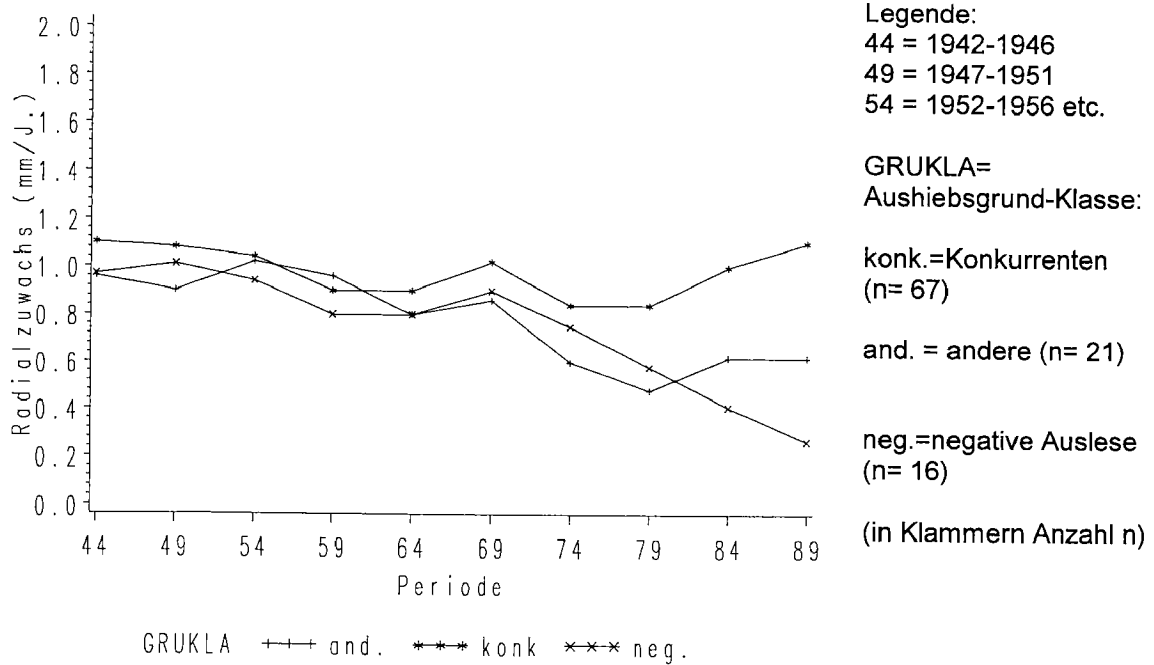


Abb. 9.1-5: Zeitliche Entwicklung des Radialzuwachses in den letzten 50 Jahren.

Die Zuwachsentwicklung der drei Klassen verläuft bis zur extrem trockenen Periode 1972 bis 1976 in etwa parallel. Die Konkurrenten der Auslesebäume haben sich relativ schnell von dieser Stress-situation erholt und ihren Radialzuwachs in den beiden letzten Perioden gesteigert. Die Bäume mit Aushiebsgrund negativ dagegen wiesen seither eine abnehmende Entwicklung auf; sie konnten sich nicht erholen und wurden wohl deshalb als unvital und waldbaulich untauglich eingestuft. Der mittlere jährliche Radialzuwachs der Bäume mit Aushiebsgrund negativ lag in den letzten fünf Jahren zwischen 0 und 1 mm und war damit bedeutend kleiner als jener der Konkurrenten (Abb. 9.1-6).

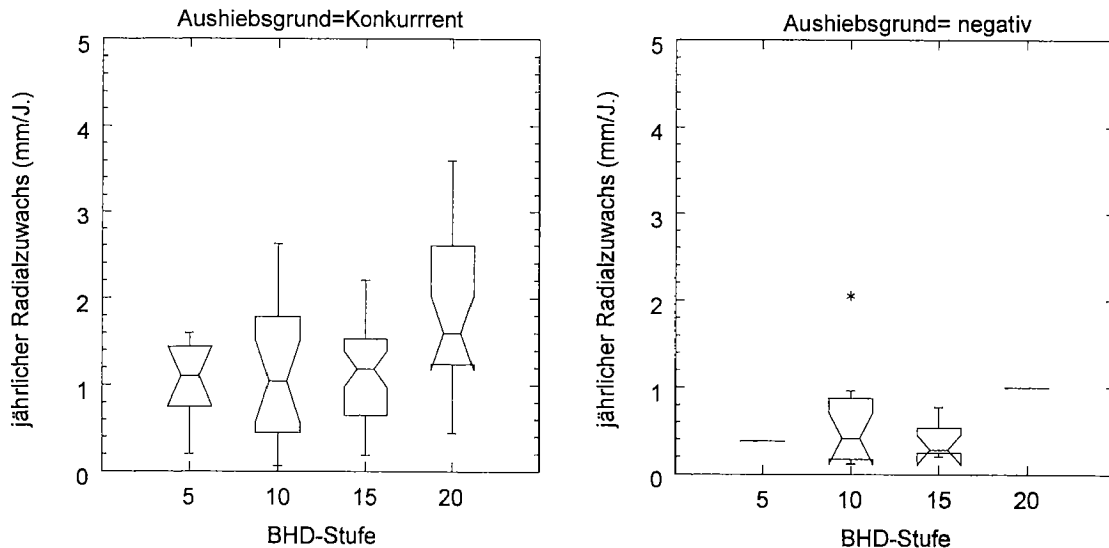


Abb. 9.1-6: Mittlerer jährlicher Radialzuwachs der Periode 1987 bis 1991 pro BHD-Stufe, Vergleich der Konkurrenten mit den Bäumen mit Aushiebsgrund negativ.

9.1.2 Durchwuchszeiten durch BHD-Stufen

Mit den Durchwuchszeiten kann angegeben werden, wie lange die Nachwuchsstämme brauchen, um eine bestimmte Durchmesserstufe zu durchwachsen. Damit die Daten für verschiedene Durchmesserstufen verwendbar sind, wurden die Durchwuchszeiten für 4cm-Stufen, für 5cm-Stufen und für die Stufen der neuenburgischen Einteilung berechnet (Tab. 9.1-2).

Tab. 9.1-2: Statistische Kennwerte der Durchwuchszeiten der Konkurrenten.

| BHD | n | MW | STD | NVP | P<W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|----------|-----|------|------|------|-------|-----|----|-----|----|-----|
| 0 - 4 | 121 | 15.6 | 7.4 | 0.74 | 0.000 | 9 | 11 | 13 | 16 | 29 |
| 4 - 8 | 110 | 17.0 | 8.1 | 0.84 | 0.000 | 9 | 12 | 14 | 20 | 32 |
| 8 -12 | 92 | 17.5 | 8.5 | 0.87 | 0.000 | 8 | 11 | 14 | 21 | 35 |
| 12-16 | 47 | 15.4 | 8.2 | 0.84 | 0.000 | 7 | 10 | 13 | 19 | 33 |
| 0 - 5 | 120 | 19.9 | 9.0 | 0.79 | 0.000 | 11 | 14 | 18 | 22 | 37 |
| 5 - 10 | 105 | 21.7 | 9.9 | 0.83 | 0.000 | 11 | 15 | 19 | 24 | 46 |
| 10-15 | 60 | 20.5 | 10.4 | 0.87 | 0.000 | 9 | 13 | 19 | 24 | 45 |
| 0 - 7.5 | 115 | 29.5 | 11.0 | 0.85 | 0.000 | 18 | 23 | 26 | 35 | 48 |
| 7.5-17.5 | 38 | 36.7 | 14.3 | 0.93 | 0.021 | 18 | 26 | 35 | 44 | 71 |

Legende:

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

P95= 95%-Wert

Q3= 3.Quartil (75%)

Die Daten sind in keiner Stufe normalverteilt. Zum Durchwachsen der 4cm-Stufen benötigen die Bäume zwischen rund 8 und rund 32 (29 bis 35) Jahre, im Mittel rund 14 Jahre. Das Durchwachsen der 5cm-Stufen erfordert im Mittel rund 19 Jahre, die Werte schwanken zwischen rund 10 und 46 Jahren. Bis zur Grenze von 7.5 cm benötigen 50 % der Bäume weniger als 26 Jahre, bis zur Kluppschwelle von 17.5 cm BHD weitere 36 Jahre, zusammen also rund 62 Jahre, mit Extremen von 36 bis 120 Jahren. In diesen Zahlen ist die Aufwuchszeit bis zum Erreichen einer Baumhöhe von 130 cm nicht inbegriffen. Sie ist abhängig vom Höhenzuwachs und wird darum im Kap. 9.2 abgehandelt.

Neben den Durchwuchszeiten kann auch die mittlere Wachstumszeit (Median) berechnet werden, die die Bäume zum Erreichen von bestimmten Durchmesserwerten benötigen, nachdem sie die BHD-Messgrenze (130 cm) überschritten haben. Die statistischen Kennwerte sind in Tab. A.9.1-3 im Anhang zusammengestellt. Der Verlauf des Medians zeigt eine straff lineare Beziehung an zwischen dem Median und dem BHD (Abb. 9.1-7). Das Regressionsmodell für den Median ist statistisch hochsignifikant ($FG=8$, $F=902.3$, $Prob > F=0.0001$, $R^2=0.9912$).

Die Regressionsgleichung lautet: Median der Wachstumszeit = $(-0.37) + 3.64 * BHD$.

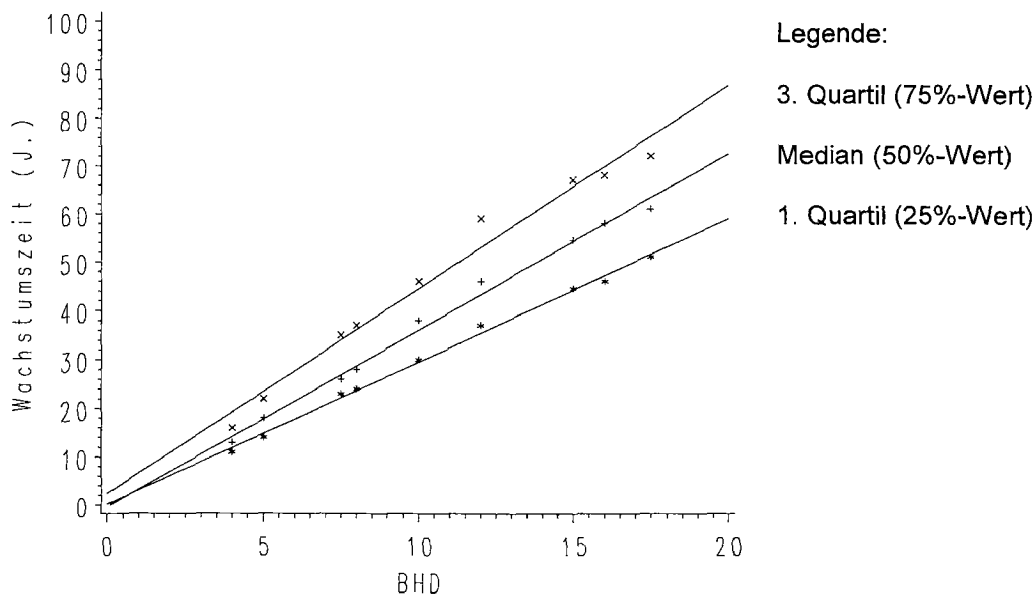


Abb. 9.1-7: Median und Quartile der Wachstumszeit zur Erreichung bestimmter BHD.

Neben der mittleren Entwicklung interessiert immer auch die Entwicklung von Einzelbäumen. Die Entwicklung der Durchwuchszeiten wurde in ähnlicher Art und Weise analysiert wie die Entwicklung des Höhenzuwachses bei den Auslesebäumen (vgl. Kap. 7.2.2). Dazu wurden die Quotienten der Durchwuchszeiten aller benachbarten 4cm-Stufen gebildet und bei mehr als 15 % Abweichung des folgenden vom vorhergehenden Wert die Ziffer 1 (Zunahme der Durchwuchszeit = Abnahme des BHD-Zuwachses) bzw. 3 (Abnahme der Durchwuchszeit = Zunahme des BHD-Zuwachses) zugewiesen, bei weniger als 15 % Abweichung die Ziffer 2 (= gleichbleibend). Aus den drei Quotienten lassen sich dreistellige Zahlen bilden, welche in knapper Weise eine Aussage über die Durchmesser-Zuwachsentwicklung erlauben.

Mit Ausnahme des Typs 333 (Zuwachssteigerung in jeder der drei Vergleichsperioden) sind alle Typen vertreten (Tab. A.9.1.4 im Anhang), allerdings keiner mit einem Anteil über 10 %. Im analysierten Datenmaterial kommen also praktisch alle denkbaren BHD-Zuwachsentwicklungen vor, und es sind keine Muster oder Tendenzen erkennbar.

9.2 Höhenzuwachs

9.2.1 Grösse, Verteilung und zeitliche Entwicklung des Höhenzuwachses

Der jährliche Höhenzuwachs der Aushiebe mit BHD > 7.4 cm ist nicht normalverteilt (Tab. A. 9.2-1 im Anhang). Die Einzelwerte liegen zwischen 1 und 75 cm, der Median zwischen rund 15 und 25 cm (Abb. 9.2-1).

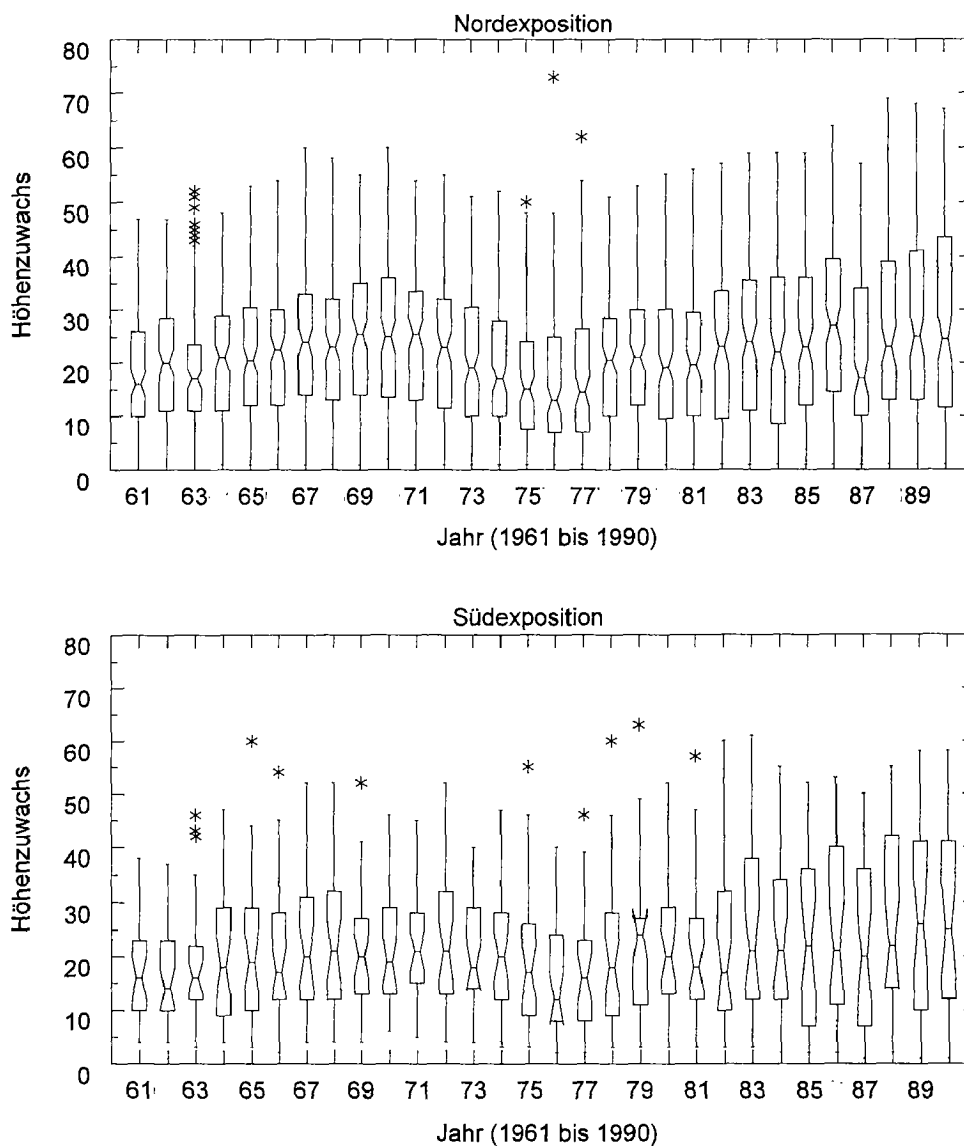


Abb. 9.2-1: Höhenzuwachsentwicklung in Nord- (n= 127) und Südexposition (n= 29).

Die Entwicklung der jährlichen Höhenzuwächse verläuft in Nord- und Südexposition grundsätzlich gleich, bei genauer Betrachtung ergeben sich aber kleine Unterschiede. Die Jahre mit kleinem Höhenzuwachs (Median < 15 cm pro Jahr) oder starkem Zuwachsrückgang einerseits und mit grossem Höhenzuwachs (Median > 25 cm) oder starkem Zuwachsanstieg andererseits sind in Tab. 9.2-1 nach Exposition getrennt angegeben.

Tab. 9.2-1: Jahre mit deutlich grösserem oder kleinerem Höhenzuwachs

| Exposition | grösserer Höhenzuwachs | kleinerer Höhenzuwachs |
|----------------|--------------------------|--|
| Nordexposition | 1969-1971, 1986, 1989/90 | 1961, 1963, 1973 - 1977, 1980/81, 1987 |
| Südexposition | 1979, 1989/90 | 1962, 1976 |

Die statistischen Kennwerte pro 5-Jahresperiode (Tab. 9.2-2) zeigen deutlich den Einfluss der trockenen siebziger Jahre auf den Höhenzuwachs. Da die je 156 Werte nicht normalverteilt sind, wird als Unterschiedstest der H-Test nach Kruskal-Wallis verwendet. Es bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Perioden im jährlichen Höhenzuwachs der Bäume mit BHD > 7.4 cm (FG= 5, $\chi^2= 18.85$, $P = 0.0021$).

Tab. 9.2-2: Statistische Kennwerte des jährlichen Höhenzuwachses, pro 5-Jahresperiode

| Periode | n | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|---------|-----|------|------|------|--------|-----|------|------|------|------|
| 1962-66 | 156 | 20.8 | 10.8 | 0.95 | 0.0001 | 6.4 | 12.8 | 19.8 | 27.2 | 43.2 |
| 1967-71 | 156 | 24.0 | 12.2 | 0.96 | 0.0009 | 6.2 | 14.7 | 23.9 | 31.9 | 46.2 |
| 1972-76 | 156 | 19.6 | 11.3 | 0.94 | 0.0001 | 4.8 | 11.2 | 17.0 | 26.9 | 42.6 |
| 1977-81 | 156 | 20.4 | 12.2 | 0.94 | 0.0001 | 3.2 | 11.1 | 18.6 | 27.6 | 42.8 |
| 1982-86 | 156 | 24.3 | 14.9 | 0.94 | 0.0001 | 3.2 | 12.9 | 22.3 | 35.2 | 49.6 |
| 1987-91 | 156 | 25.0 | 16.3 | 0.93 | 0.0001 | 2.0 | 12.0 | 22.7 | 37.5 | 54.0 |

Legende:

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

P95= 95%-Wert

Q3= 3.Quartil (75%)

Nachfolgend wird der Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre detailliert untersucht. Ergänzend zu den Ausleseebäumen kann bei den Aushieben der Einfluss des Alters und der Kronenform auf den Höhenzuwachs analysiert werden. Der Höhenzuwachs nimmt bis zu einem BHD von 15 cm linear schwach mit dem BHD zu, darüber etwas stärker (Abb. 9.2-2).

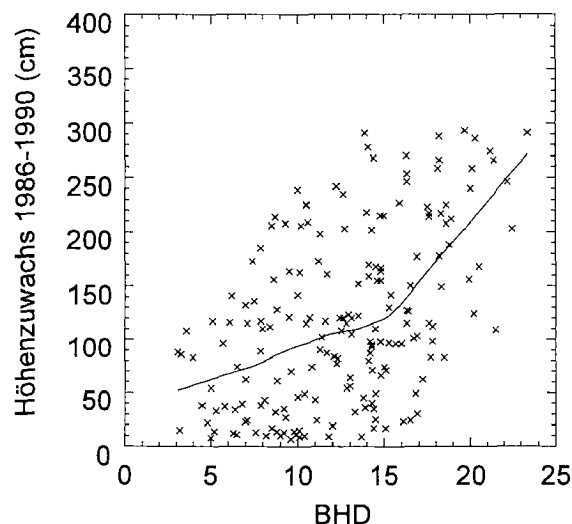


Abb. 9.2-2: Abhängigkeit des Höhenzuwachses der Jahre 1986 bis 1990 vom BHD.

Für die Auswertung der Einflussfaktoren wurde deshalb nicht auf die Kovarianzanalyse zurückgegriffen, sondern auf die logistische Regression. Im Vergleich zur Höhenzuwachs-Analyse der Ausleseebäume können bei den Aushieben als zusätzliche Einflussfaktoren das Alter und der Aushiebsgrund analysiert werden. Zudem wurde auch der Einfluss der relativen Kronenlänge auf einen kleinen Höhenzuwachs (< 100 cm pro 5 Jahre, d.h. weniger als 20 cm pro Jahr) getestet. Die Ergebnisse sind in Tab. A.9.2-2 / A.9.2-3 im Anhang zusammengestellt und in Tab. 9.2-3 zusammengefasst. Zwischen den Baumarten, den Übershirmungsklassen, den BHD-Stufen, den Altersklassen und den Klassen relativer Kronenlänge gibt es Unterschiede im Höhenzuwachs. Die Unterschiede zwischen den Aushiebsgrund-Klassen sind auf dem 90%-Niveau knapp nicht signifikant, müssen aber bei den weiteren Auswertungen mitberücksichtigt werden.

Tab. 9.2-3: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf den Höhenzuwachs der Aushiebe.

| | |
|-------------------------|--|
| Art des Modells | logistische Regression |
| BHD-Bereich, Anzahl | 2.5 bis 22.4 cm BHD, 164 Beobachtungen |
| Zielvariable | kleiner Höhenzuwachs (< 100 cm / 5 Jahre) |
| untersuchte Effekte | BA, DSTU, STAO, GFK, SKLA, KKLA, GKLA, RKLA, AKLA |
| Signifikante Effekte | SKLA ***, RKLA **, DSTU **, BA *, AKLA *, GKLA (*) |
| Signifik. Var. positiv: | SKLA=ubs***, DSTU S05***, RKLA<40%** , AKLA 80-100* , AKLA>100* |
| Signifik. Var. negativ: | SKLA=nus***, RKLA>70%***, AKLA<60** , GKLA=Konk* , DSTU S15/S20* |

Legende:

BA= Baumart (Buche, Tanne, Fichte, and.Lbh)

DSTU= BHD-Stufe (S05,S10,S15,S20)

STAO=Standort (Na, Ng, Nm, Ns, Sg, Ss; N= Nord, S= Süd, a=ausgezeichnet, g=gut, m=mittel, s=schlecht)

SKLA = Überschirmungsklasse (nus= nicht überschirmt, tra= Traufbereich (± 0.5 m), ubs= überschirmt)

GFK = Grundflächenklasse (<20, 20-30, 30-40, 40-50, >50 m²)

KKLA = Konkurrenzklasse [einzel (0), kleine (1-2), mittlere (3-4), starke (>4 Konk.) Konkurrenz]

GKLA = Aushiebsgrund-Klasse (Konk= Konkurrent, neg.= negativ, and.= andere)

RKLA = relative Kronenlänge (< 40%, 40-50%, 50-60%, 60-70%, > 70%)

AKLA = Altersklasse (< 60, 60-79, 80-99, ≥ 100)

pos.= hat positiven Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen stärker vertreten.

neg.= hat negativen Einfluss auf Zielvariable, bzw. ist im Vergleich zum Vorkommen schwächer vertreten

Überschirmte Bäume mit kleinem BHD und kleiner relativer Kronenlänge weisen einen kleineren Höhenzuwachs auf als die übrigen Bäume. Umgekehrt weisen nicht überschirmte Bäume mit grossem BHD und grosser relativer Kronenlänge (< 50%) einen höheren Anteil schnellwüchsiger Bäume auf. Aber auch in der Klasse der Konkurrenten ist der Anteil der Bäume mit grossem Höhenzuwachs signifikant höher.

Der Grund für die nicht durchgehende lineare Beziehung zwischen BHD und Höhenzuwachs wird in der Tatsache vermutet, dass verschiedene Klassen von Bäumen untersucht wurden. Tatsächlich lassen sich Konkurrenten von Ausleseebäumen und Aushiebe aus negativer Auslese in vielerlei Hinsicht nicht miteinander vergleichen. Die Berechnung linearer Beziehungen zwischen dem BHD und dem Höhenzuwachs für die Klassen 'Konkurrenten', 'negative Auslese' und 'andere Gründe' bestätigt unsere Vermutung (Abb. 9.2-3). Die Aushiebe aus negativer Auslese weisen eine signifikant flachere Regressionsgerade auf als die zwei andern Klassen. Die folgenden Auswertungen beziehen sich deshalb auf die Konkurrenten und die Bäume mit andern Aushiebsgründen.

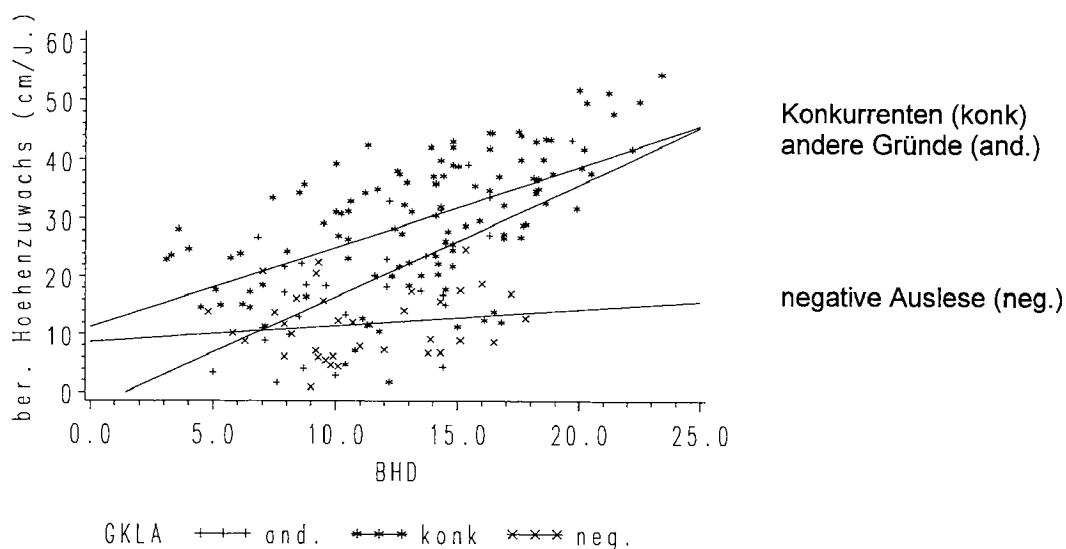


Abb. 9.2-3: Berechneter Höhenzuwachs in Abhängigkeit des BHD, Vergleich der Klassen mit unterschiedlichem Aushiebsgrund.

Das vollständige allgemeine lineare Modell für die reduzierte Stichprobe ergibt praktisch dasselbe Ergebnis wie die logistische Regression: signifikante Unterschiede zwischen den Baumarten, den Übershirmungsklassen und den Beschattungsklassen einerseits und einen signifikanten Einfluss des Durchmessers und der relativen Kronenlänge auf den Höhenzuwachs ($n = 132$, $F = 27.58$, $\text{Prob} > F = 0.0001$, $R^2 = 0.642$, alle Faktoren mindestens auf 99% -Niveau signifikant). Der Unterschied zwischen den Baumarten wird durch die Abb. 9.2-4 verdeutlicht. Wegen der kleinen Zahl von Daten bei der Fichte schneiden sich die Vertrauensintervalle der beiden Regressionsgeraden. Tendenziell weist die Tanne einen grösseren Höhenzuwachs auf als die Fichte.

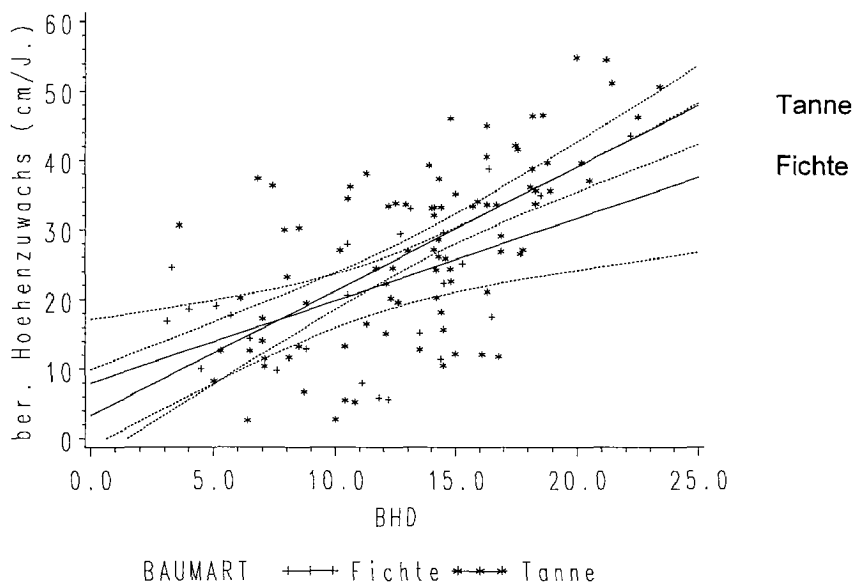


Abb. 9.2-4: Berechneter Höhenzuwachs in Abhängigkeit des BHD, Vergleich der Baumarten.

Der Einfluss der Übershirmung wurde nur für die Baumart Tanne mit mittlerer Beschattung berechnet (Tab. 9.2-4) und graphisch dargestellt (Abb. 9.2-5).

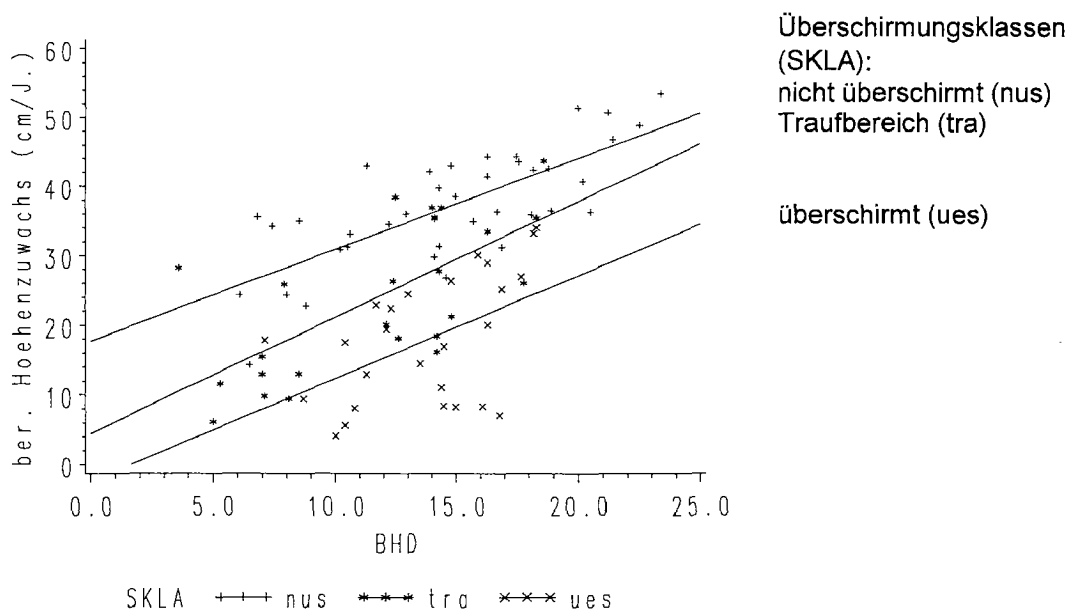


Abb. 9.2-5: Berechneter Höhenzuwachs in Abhängigkeit des BHD, Vergleich der Übershirmungsklassen.

Tab. 9.2-4: Lineare Regressionsmodelle zur Beschreibung des Einflusses von BHD und relativer Kronenlänge auf den Höhenzuwachs, nach Überschirmungsklassen getrennt.

| Schirmklasse | n | F | P > F | R ² | Modellgleichung HZUW = a + b*BHD + c*RKLA | P < W |
|----------------|----|------|--------|----------------|--|-------|
| nicht übersch. | 38 | 12.3 | 0.0001 | 0.41 | -5.37+1.19*BHD+0.42*RKLA | 0.239 |
| Traubereich | 26 | 19.5 | 0.0001 | 0.63 | -18.93+1.36*BHD+0.49*RKLA | 0.437 |
| überschirmt | 26 | 10.7 | 0.0005 | 0.48 | -12.93+0.42*BHD+0.49*RKLA | 0.635 |

Legende:

n= Anzahl

F= Test-Wert der F-Statistik

P > F: Überschreitenswahrscheinlichkeit

R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation)

P < W: Wahrscheinlichkeit für Normalverteilung

Die durchschnittliche Entwicklung der Aushiebsgrund-Klassen zeigt die Abb. 9.2-6. Auffallend ist das unterschiedliche Höhenzuwachs-niveau und die unterschiedliche Entwicklung der negativ entfernten Bäume gegenüber den Konkurrenten in den letzten 15 Jahren: Der Höhenzuwachs der Konkurrenten betrug in den letzten 30 Jahren stets mehr als 20 cm pro Jahr und erholte sich nach der zuwachsschwachen Periode 1972-76 rasch; jener der Bäume mit Ausheibgrund "negative Auslese" dagegen nahm von rund 15 cm pro Jahr auf weniger als 10 cm pro Jahr ab. Dadurch stieg der Unterschied im jährlichen Höhenzuwachs in der letzten 5-Jahresperiode auf mehr als 20 cm an.

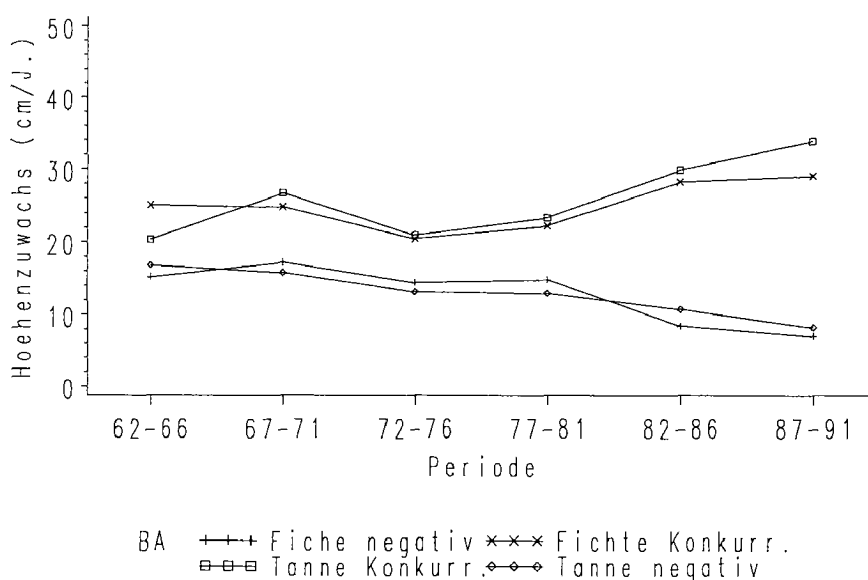


Abb. 9.2-6: Entwicklung des Höhenzuwachses von Fichte und Tanne, je für die Konkurrenten und die negativen Aushiebe.

Ein grosser Radialzuwachs vergrössert die Splintholz-Grundfläche und wirkt sich dadurch positiv auf die Wassertransport-Kapazität eines Baumes aus. Es kann vermutet werden, dass sich dies positiv auf den Höhenzuwachs auswirkt. Deshalb wurde untersucht, wie der Höhen- und der Radialzuwachs miteinander korreliert sind und durch welche Regressionsgleichung sich die Beziehung ausdrücken lässt (Tab. 9.2-5).

Der Höhenzuwachs der letzten Fünfjahresperiode ist mit dem Radialzuwachs der letzten und der vorletzten Fünfjahresperiode praktisch gleich eng verbunden. Mit den Zuwächsen der noch weiter zurückliegenden Perioden besteht immer noch eine beachtliche Korrelation; das Regressionsmodell weist aber keine normalverteilten Residuen auf, die Aussagen sind deshalb nur beschränkt gültig.

Tab. 9.2-5: Korrelation und Regression zwischen dem Radialzuwachs der vier letzten Perioden von 5 Jahren und dem Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre (1987-91).

| Radialzuwachs der Periode | n | r | F | P > F | R ² | Modellgleichung HZUW = a + b * RZUW | P < W |
|---------------------------|-----|------|-------|--------|----------------|--|-------|
| 1987 - 1991 | 144 | 0.84 | 329.8 | 0.0001 | 0.70 | 29.26 + 18.30 * RZUW | 0.119 |
| 1982 - 1986 | 144 | 0.84 | 326.5 | 0.0001 | 0.70 | 20.82 + 17.64 * RZUW | 0.119 |
| 1977 - 1981 | 143 | 0.70 | 136.7 | 0.0001 | 0.49 | 37.60 + 17.03 * RZUW | 0.018 |
| 1972 - 1976 | 141 | 0.48 | 40.9 | 0.0001 | 0.22 | 58.95 + 14.28 * RZUW | 0.014 |

Legende:

n= Anzahl

F= Test-Wert der F-Statistik

R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation)

HZUW = Höhenzuwachs

r = Korrelationskoeffizient nach Pearson

P > F: Überschreitungswahrscheinlichkeit

P < W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV

RZUW= Radialzuwachs

Der Radialzuwachs erklärt rund 70 % der Variation des Höhenzuwachses der letzten 5 Jahre. Diese enge Beziehung zwischen Höhen- und Radialzuwachs kann also dazu benutzt werden, um aus dem leicht feststellbaren durchschnittlichen Höhenzuwachs auf den nicht sichtbaren mittleren Radialzuwachs (= Jahrringbreite) zu schliessen (Tab. 9.2-6 und Abb. 9.2-7).

Tab. 9.2-6: Beziehung zwischen dem Höhenzuwachs der letzten 5 bzw. 10 Jahre (cm) und dem mittleren jährlichen Radial-Zuwachs (mm/J.) derselben Periode.

| Höhenzuwachs der Periode | n | r | F | P > F | R ² | Modellgleichung RZUW = a + b * HZUW | P < W |
|--------------------------|-----|------|-------|--------|----------------|--|-------|
| 1987 - 1991 | 144 | 0.85 | 360.6 | 0.0001 | 0.71 | 0.115 + 0.008 * HZUW | 0.045 |
| 1982 - 1991 | 144 | 0.86 | 418.4 | 0.0001 | 0.75 | 0.088 + 0.004 * HZUW | 0.045 |

Legende:

n= Anzahl

F= Test-Wert der F-Statistik

R²= Bestimmtheitsmass (erklärte Variation)

RZUW= jährlicher Radialzuwachs

r = Korrelationskoeffizient nach Pearson

P > F: Überschreitungswahrscheinlichkeit

P < W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV

HZUW= Höhenzuwachs

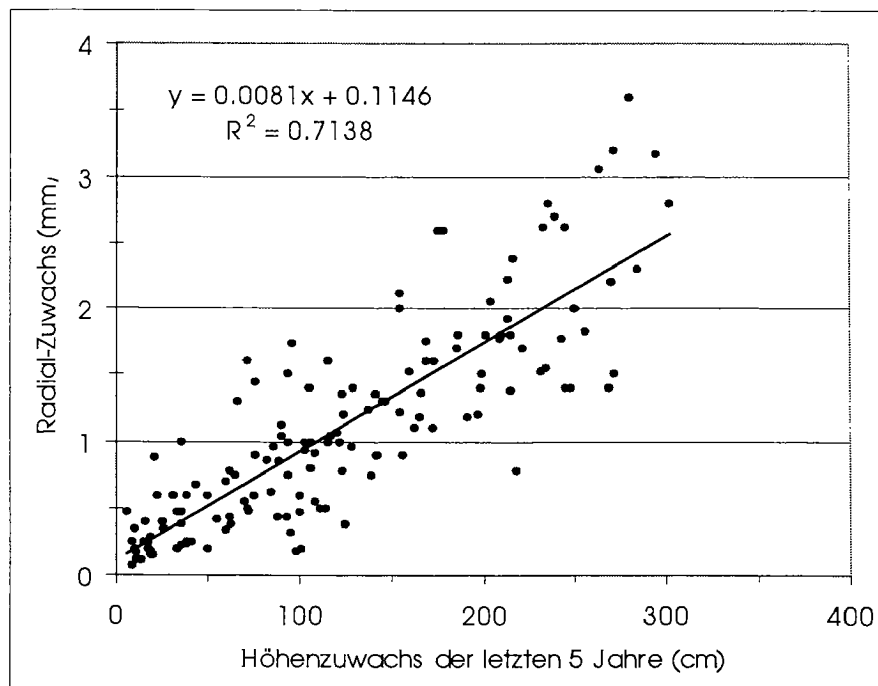


Abb. 9.2-7: Radial-Zuwachs in Abhängigkeit des Höhenzuwachses

9.2.2 Aufwuchs- und Durchwuchszeiten durch Höhenklassen

Im Zusammenhang mit dem Höhenwachstum interessiert uns die Frage, welche Zeit die jungen Bäume benötigen, um bestimmte Baumhöhen zu erreichen oder bestimmte Höhenabschnitte zu durchwachsen. Als Aufwuchszeit bezeichnen wir im folgenden die Zeit bis zum Erreichen der BHD-Messgrenze von 1,3 m Baumhöhe. Jungbäume über 1,3 m werden von einigen Autoren als gesicherte Verjüngung bezeichnet, weil sie oberhalb dieser Grenze nicht mehr dem Wildverbiss ausgesetzt sind. Die Aufwuchszeit gibt deshalb gute Hinweise auf den Gefährdungszeitraum der Jungbäume. Eine erste graphische Analyse ergab Unterschiede der Aufwuchszeit zwischen den Baumarten und den Expositionen, nicht jedoch zwischen den Aushiebsgrund- Klassen. Die Berechnung der statistischen Kennwerte erfolgte deshalb für alle Probestämme mit Stammscheiben auf Schnitthöhe und auf 1,3 m Höhe, getrennt nach Baumarten und Expositionen (Tab. 9.2-7). Die Aufwuchszeit ist länger in Süd- als in Nordexposition, obwohl die Lichtverhältnisse günstiger sind. Der Unterschied ist bei Fichte deutlicher als bei Tanne. Die Aufwuchszeit von Tanne und Fichte unterscheidet sich in Nordexposition deutlich, in Südexposition dagegen kaum.

In Nordexposition brauchen die Fichten rund 21, die Tannen rund 29 Jahre bis zum Erreichen der BHD-Messgrenze. Die Einzelwerte schwanken dabei zwischen wenigen Jahren und mehreren Jahrzehnten. Diese Zahlen gelten für den Bereich zwischen Schnitthöhe und 1,3 m. Da die Stockhöhe von genutzten Nachwuchsbäumen gering ist, muss zur Ermittlung der effektiven Aufwuchszeit nur eine geringfügige Korrektur vorgenommen werden.

Tab. 9.2-7: Statistische Kennwerte der Aufwuchszeit bis 1,3 m Baumhöhe.

| Baumart | Expos. | n | MW | STD | Std.Err. | Min. | Q1 | MED | Q3 | Max. |
|---------|--------|-----|------|------|----------|------|----|-----|----|------|
| Tanne | Nord | 129 | 29.4 | 11.8 | 1.0 | 4 | 21 | 28 | 36 | 62 |
| Tanne | Süd | 8 | 31.6 | 7.8 | 2.8 | 20 | | 34 | | 42 |
| Fichte | Nord | 35 | 20.8 | 6.8 | 1.1 | 6 | 17 | 22 | 25 | 36 |
| Fichte | Süd | 7 | 40.0 | 16.3 | 6.1 | 25 | | 34 | | 72 |

Legende:

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

P95= 95%-Wert

Q3= 3.Quartil (75%)

Unter Durchwuchszeit verstehen wir hier die Zeit, welche die Nachwuchsbäume benötigen, um von 5 auf 10 m Höhe zu wachsen. In diesem Bereich wachsen sie häufig unter Schirm oder bei starker Beschattung auf und weisen entsprechend ein langsames Höhenwachstum auf. Erst oberhalb von rund 12 m Baumhöhe beginnt dann nach Magin (1959) das freie Wachstum der Nachwuchsstangen. Die Durchwuchszeiten der Aushiebe auf mittleren und guten Standorten betragen 10 bis 37 Jahre (Tab. 9.2-8), liegen also in derselben Größenordnung wie jene der Ausleseebäume (vgl. Kap. 6.4). Der mittlere Höhenzuwachs beträgt folglich 14 bis 50 cm pro Jahr. Bei der Fichte unterscheiden sich die Durchwuchszeiten in beiden Expositionen nicht signifikant voneinander und wurden deshalb gemeinsam ausgewertet.

Tab. 9.2-8: Statistische Kennwerte der Durchwuchszeit zwischen 5 und 10 m Höhe.

| Baumart | Expos. | n | MW | STD | Std.Err | Min. | Q1 | MED | Q3 | Max. |
|---------|--------|----|------|-----|---------|------|----|-----|----|------|
| Tanne | Nord | 75 | 19.8 | 5.8 | 0.7 | 10 | 14 | 19 | 23 | 37 |
| Tanne | Süd | 13 | 18.2 | 6.7 | 1.9 | 11 | 12 | 16 | 24 | 30 |
| Fichte | N/S | 15 | 17.5 | 4.2 | 1.1 | 12 | 13 | 16 | 21 | 25 |

Legende:

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Überschreitungswahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

P95= 95%-Wert

Q3= 3.Quartil (75%)

10 Zusammenfassung der Ergebnisse und Vergleich mit der Literatur

10.1 Struktur und Textur von Hauptbestand und Nachwuchs

Die Struktur und Textur der Untersuchungsflächen wurde mit Hilfe deskriptiver und explorativer statistischer Methoden analysiert. Um die Unterschiede zwischen den Flächen zu verdeutlichen, wurde die klassische Einteilung in die drei Stärkeklassen Schwachholz (17,5-32,4 cm BHD), Mittelholz (32,5-52,4 cm BHD) und Starkholz (> 52,4 cm BHD) um eine vierte Klasse erweitert, das Super-Starkholz (> 72,4 cm BHD). Die meisten Flächen auf guten Standorten weisen in dieser Klasse mehr als 10 Stämme pro ha mit einem Volumen von mehr als 60 sv auf und unterscheiden sich diesbezüglich deutlich von den Flächen auf mittleren und schlechten Standorten.

Die Kenngrößen der Bestandesstruktur variieren stark: Die Stammzahl (BHD >17,4 cm) zwischen 190 und 310 Stämmen, die Grundfläche zwischen 21 und 37 m² und der Vorrat zwischen 240 und 430 sv pro ha (Tab. 4.1-1). Die Untersuchungsflächen sind wegen der gezielten Auswahl für das Gebiet nicht repräsentativ; ihre Kennwerte liegen aber im Rahmen der, durch Vollkluppierung ermittelten, Werte für die öffentlichen Wälder der Gemeinden Boveresse, Couvet und Môtiers (Tab. A.10.1-1). Zudem ergab eine repräsentative Stichproben-Aufnahme (Schneider 1994) in Plenterwald-Beständen des Val-de-Travers einen fast identischen Rahmen für die Grundfläche (22-36 m²/ha). Die Kennwerte unserer Flächen liegen also in einem regional normalen Streurahmen.

Auf den meisten Flächen dominiert die Tanne, auf zwei Flächen Tanne und Fichte gemeinsam und auf zwei Flächen die Fichte (Tab. 4.1-2). Der Laubholzanteil beträgt 3 bis 34%; sieben Flächen weisen einen Anteil von mehr als 20% Laubholz auf, darunter alle Flächen in Südexposition. Der überwiegende Teil der Laubbäume sind Buchen; die übrigen Laubbäume (v.a. Ahorn und Esche) nehmen nur auf einer Fläche mehr als 5 % des Vorrates ein.

Die Clusteranalyse mit den Variablen Vorratsanteil der Stärkeklassen und mit der Grundfläche ergab drei Strukturtypen (Tab. 10.1-1), welche wie folgt charakterisiert werden können:

Tab. 10.1-1: Charakterisierung der Plenterstruktur-Typen

| Typ | Beschreibung | Vol./ha | VAGTB | STZPB |
|-----|---|---------|---------|-----------|
| 1a | starkholzreiche PS mit wenig Schwachholz | > 350 | > 60 | < 110 |
| 1b | starkholzreiche PS mit viel Schwachholz | > 400 | 50 - 60 | > 150 |
| 2 | normale PS mit ausgegl. Stärkeklassenverhältnis | > 300 | 40 - 55 | 100 - 150 |
| 3 | starkholzarmer PS mit kleinem Vorrat | < 300 | < 40 | > 150 |

Legende: PS = Plenterstruktur STZPB = Stz. der Schwachholz-Klasse (BHD 17.5-32.4)
VAGTB = Volumenanteil der Klassen Stark- (GB) und Superstarkholzes (TG) (BHD > 52.4 cm)

Köstler (1956) unterscheidet in seinen Untersuchungen über Allgäuer Plenterwälder Bestände mit echtem, gefährdetem und verlorenem Plentergefüge und innerhalb der Wälder mit echtem Gefüge vorratsreiche, vorratsgute und vorratsarme Typen. Die Grundflächen und Vorräte sind in den vorratsreichen (> 650 m³) und den vorratsguten (400-600 m³) Beständen wesentlich höher, in den vorratsarmen Beständen (250-320 m³) etwas kleiner als im Val-de-Travers (vgl. Tab. A.10.1-2). Herbert & Rebeiro (1985) unterscheiden in den stufigen Wäldern des französischen Hochjura (900 bis 1300 m ü.M.) drei Typen mit Plenterstruktur und charakterisieren sie durch Stammzahlen und Grundflächen pro Stärkeklasse und durch den Gesamtvorrat (Tab. A.10.1-3). Die niedrigen Vorräte (100-330 m³) sind teilweise auf die Verwendung eines Nutzholztarifes zurückzuführen. Die Basalflächen (12-27 m²) sind wesentlich kleiner als im Untersuchungsgebiet. Wegen des rauheren Klimas müssen die Bestände im Hochjura zur Sicherung der nachhaltigen Verjüngung lichter gehalten werden und gleichen darum eher den Plenterwäldern höher gelegener Gebiete des Neuenburger Jura, namentlich jenen von Les Verrières/Les Bayards (vgl. Farron 1980). Meine Typenbildung erfolgte nach dem gleichen statistischen Verfahren (Hauptkomponenten-Analyse) und ergab ein ähnliches System mit drei typischen Plenterstrukturen wie bei Herbert & Rebeiro. Ein Vergleich der Strukturmerkmale von Plenterwäldern verschiedener Gebiete ist aber insgesamt schwierig, weil erstens die Standorte, zweitens die waldbaulichen Auffassungen (v.a. bezüglich Zieldurchmesser) und drittens die Einteilung in Stärkeklassen von Gebiet zu Gebiet variieren.

Die Dichteverteilung der Nachwuchsbäume auf die Stichprobenflächen entspricht statistisch nicht einer Normal-, sondern annähernd einer negativen Binomialverteilung (Abb. 4.2-1). Ein grosser Teil der Stichproben weist keine oder wenige Nachwuchsbäume einer bestimmten BHD-Stufe auf. Parametrische Verfahren zur Analyse der Nachwuchsstammzahlen sind darum nicht anwendbar. Eine negative Binomialverteilung der Nachwuchsbäume auf Stichproben zeigten bereits je eine Untersuchung in Plenterwäldern des Emmentals (Duc 1991) und in femelschlagartig behandelten Mischbeständen im Schwarzwald (Farrokhpur 1981).

Die Nachwuchsstammzahlen pro Untersuchungsfläche sind ebenfalls nicht normalverteilt. Sie variieren in relativ weiten Grenzen, insbesondere in BHD-Stufe 0 (Tab. 10.1-2). Die Zahl der Nachwuchspflanzen nimmt insgesamt mit zunehmendem Durchmesser ab, bei Tanne und Fichte allerdings wesentlich langsamer als bei Buche und übrigen Laubholz (vgl. Abb. 4.2-4 und 4.2-5). Die gesamte Zahl der Nachwuchsbäume über 2,4 cm BHD liegt zwischen 300 und 1100 Stk/ha.

Tab. 10.1-2: Nachwuchsstammzahlen pro BHD-Stufe von 18 Flächen.

| BHD-Stufe (cm) | Nadelbäume | | | Laubbäume | | | Gesamt | | |
|----------------------|------------|-----|-----|-----------|-------|--------|--------|-----|------|
| | P10 | MED | P90 | P10 | MED | P90 | P10 | MED | P90 |
| Stufe 0 (0,1-2,4) | 21 | 122 | 410 | (15) | (157) | (1385) | | | |
| Stufe 5 (2,5-7,4) | 97 | 203 | 381 | 17 | 78 | 265 | 130 | 320 | 674 |
| Stufe 10 (7,5-12,4) | 75 | 117 | 172 | 11 | 39 | 142 | 97 | 175 | 305 |
| Stufe 15 (12,5-17,4) | 39 | 72 | 125 | 8 | 27 | 58 | 60 | 106 | 138 |
| Gesamt (2,5-17,4) | 249 | 425 | 657 | 66 | 135 | 473 | 320 | 578 | 1129 |

Legende: MED = Median P10= 10%-Wert P90= 90%-Wert

Zwischen den Expositionen gibt es signifikante Unterschiede in der Baumartenzusammensetzung: in Nordexposition dominiert die Tanne deutlich (62%) vor der Buche (21%) und Fichte (14%), in Südexposition weisen Tanne (39%) und Buche (37%) annähernd gleiche Anteile auf (Tab. 4.2-5). Die Fichte und die übrigen Laubbäume kommen in beiden Expositionen nur beigemischt vor. Die Tanne ist am Nordhang deutlich häufiger vertreten als am Südhang, die Fichte in beiden Expositionen ungefähr gleich. Die Buche kommt in Südexposition rund doppelt, die übrigen Laubbäume drei bis vier Mal so häufig vor wie in Nordexposition. Die Fichte ist auf mehreren Flächen schwach oder nicht vertreten, Tanne und Buche dagegen kommen überall häufig vor (Abb. 4.2-4/5). Das übrige Laubholz ist insgesamt nur schwach vertreten und fehlt auf einigen Flächen.

Die Nachwuchszusammensetzung wurde von Leibundgut (1945) in Schweizer Plenterwäldern, Köstler (1956) im Allgäu, Mitscherlich (1961) im Schwarzwald, Kammerlander (1978) im Tirol, Duc (1991) im Emmental und Schneider (1994) im Neuenburger Jura untersucht (Tab.A.10.1-4). Weil fast jeder Autor andere Höhen- oder Durchmesserstufen verwendet, lassen sich die Werte kaum miteinander vergleichen. Die Flächen von Leibundgut und Köstler sind charakterisiert durch ein deutliches Vorherrschen der Tanne gegenüber der Fichte und der Nadel- gegenüber den Laubbäumen im BHD-Bereich 0 bis 10 cm. Auf den Flächen im Schwarzwald dagegen dominiert die Fichte.; Die Tanne ist nur schwach vertreten und die Laubbäume fehlen fast ganz, was mit dem starken Wilddruck erklärt wird. Mitscherlich warnt deshalb vor der drohenden "Verfichtung des Plenterwaldes". Eigene Untersuchungen (Duc 1991) zeigten für Flächen im Emmental ähnliche Verhältnisse, zumindest im Bereich unter 1,3 m Höhe. Darin zeigt sich der grosse Unterschied zum Untersuchungsgebiet im Val-de-Travers. Nach den Ergebnissen der systematischen Nachwuchsinventur von Schneider (1994) dominiert hier nämlich das Laubholz bis 2.4 cm BHD deutlich. Infolge der höheren natürlichen Ausfälle und stärkeren Aushiebe der Laubbäume sind die Nadelbäume ab BHD-Stufe 5 (2,5 bis 7,4 cm BHD) häufiger vertreten.

Der Nachwuchs auf den untersuchten Flächen weist eine ähnliche Charakteristik auf wie jener aus der Stichprobeninventur von Schneider (1994). Meine Flächen sind jedoch deutlich laubholzärmer und weisen im Mittel mehr Nadelbäume auf. Streng genommen sind also die Ergebnisse unserer Arbeit in erster Linie für Flächen mit nadelholzreichem Nachwuchs gültig.

Unter Verwendung der Nachwuchs-Stammzahlen von Laub- und Nadelbäumen im BHD-Bereich 2.5 bis 17.4 cm wurden drei Gruppen unterschiedlicher Nachwuchsdichte definiert (Kap.4.2.3):

Tab. 10.1-3: Gruppen unterschiedlicher Nachwuchsdichte im Bereich 2.5 - 17.4 cm BHD.

| Verjüngung | Anzahl Nadelbäume | Anzahl Laubbäume | Nachwuchs-Stammzahl |
|------------|-------------------|------------------|---------------------|
| reichlich | 300 bis 700 | > 300 | > 700 |
| mittel | 350 bis 550 | < 300 | 500 bis 700 |
| wenig | 200 bis 350 | < 200 | 250 bis 500 |

Legende: NWSTZ: Nachwuchs-Stammzahl

Die Nachwuchsdichte kann mit der Plenterstruktur nur ungenügend erklärt werden (Kap. 4.2.4). Offenbar spielen neben der Struktur, welche den Licht-, Wasser- und Wärmefaktor beeinflusst, noch andere Faktoren direkt oder indirekt eine Rolle für den Verjüngungs- und Anwucherfolg.

Die räumliche Verteilung des Nachwuchses ist im Plenterwald nicht regelmässig, sondern überwiegend geklumpt (Kap.4.2.5). Der berechnete Klumpungsindex ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Baumarten. Tendenziell sind Tannen und Fichten stärker geklumpt als übrige Laubbäume und Buchen (Tab. 4.2-8). Die Buche vermag sich, trotz ihrer schweren Samen, nicht nur im Bereich von Samenbäumen, sondern flächig zerstreut zu verjüngen. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Farrokhpur (1981) überein, wonach sich die Buche in Fichten-Tannen-Buchen-Mischbeständen der unteren montanen Stufe ebenso gut unter Tannenschirm oder in Lücken verjüngt wie unter ihrem eigenen Schirm.

Die Nachwuchsgruppen sind zwischen rund 30 und 350 m² gross und weisen eine Dichte von 20 bis 90 Bäumen pro Are auf (Tab. 4.2-10). Die mittlere Standfläche der Einzelbäume innerhalb der Gruppen liegt mehrheitlich zwischen 2,0 und 3,3 m². Mehr als 75% der Nachwuchsgruppen sind kleiner als 2 Aren. Die Zahl der Nachwuchsgruppen liegt zwischen 0 und 13 pro ha (im Mittel 5 Gruppen /ha) und kann weder durch die Unterschiede in der Plenterstruktur noch durch jene in der Nachwuchsstruktur erklärt werden (Tab. 4.2-11). Die Nachwuchsgruppen weisen Abstände von mehrheitlich 20 bis 50 m auf und treten teilweise örtlich konzentriert auf.

Ein Hinweis auf die klumpige Nachwuchsverteilung im Plenterwald findet sich bereits in Balsiger (1925) und Dannecker (1929). Die räumliche Verteilung des Nachwuchses ist in Mitscherlich (1961) für zwei Flächen im Schwarzwald und bei Gauchat (1968) für eine Fläche in Couvet dargestellt; beide Darstellungen verdeutlichen die Klumpung der Bäume in der Jungwuchs- als auch in der Dickungs- und Stangenholzstufe. Was ist der Grund für diese Klumpung?

Die Mischwälder der montanen Stufe sind durch ein grosses Samenangebot als auch durch günstige Ansammlungsbedingungen gekennzeichnet, so dass nicht nur in Plenterwäldern (Mayer 1959, Duc 1991), sondern auch in geschlossenen Altbeständen (Burschel et al.1985) dauernd erhebliche Mengen an Sämlingen vorhanden sind. Unterschiedliche Überschildung und Lichtverhältnisse, unterschiedlich stark entwickelte Krautvegetation und grosse Ausfälle der Sämlinge durch Pilze (Mosandl & Aas 1986), Mäusefrass (Bäumler & Hohenadl 1980) und Wildverbiss (Liss 1988) haben aber in Verjüngungen unter Schirm zur Folge, dass sich die Sämlinge nicht überall gleich gut entwickeln können. So entstehen bei günstigen Bedingungen dichte Jungwuchsflächen, bei weniger günstigen dagegen kommen häufig nur einzelne oder gar keine Jungbäume auf. Werden diese unterschiedlichen Anwuchsbedingungen nicht durch die Entfernung des Altbestandes verwischt, bleibt die klumpige Verteilung der Jungbäume erhalten. Im Plenterwald steuern ähnliche Faktoren das Überleben und Anwachsen der Verjüngung.

10.2 Nachwuchspflege

Auf den 18 Flächen wurden insgesamt 656 Ausleseebäume zwischen 1 und 33 cm BHD bezeichnet. Die Auslese erfolgte überwiegend im Bereich 5,0 bis 27,5 cm BHD, mit einem Schwergewicht zwischen 10,0 und 22,5 cm BHD (Abb. 5.1-2). Im untersuchten BHD-Bereich (2,5-22,4 cm BHD) ist die Tanne (54%) am häufigsten vertreten, gefolgt von der Fichte (23%) und der Buche (17%). Die übrigen Laubbäume, meist Bergahorne oder Eschen, weisen einen Anteil von 7% auf.

Die Wahl von Ausleseebäumen hängt von Baumart, Baumdimension und Förstergruppe (FGR) und von der Interaktion zwischen den Förstergruppen und den beiden andern Faktoren ab (Tab. 5.1-5).

Der Durchmesserbereich der Auslese, d.h. die Wahl von schwachen bzw. starken Ausleseebäumen hängt von den Parametern Baumart und Förstergruppe und ihrem Interaktionseffekt ab (Tab. 5.1-6). Die Exposition dagegen weist für sich allein als auch in Kombination keinen Einfluss auf.

Die Zahl der Ausleseebäume pro ha im BHD-Bereich 2,5-22,4 cm beträgt 10 bis 90 Stück pro ha und ist annähernd normalverteilt. Der Mittelwert beträgt 50 ± 11 Stämme/ha. Die Tanne weist am Nordhang ab Stufe 10 eine wesentlich höhere Dichte an Ausleseebäumen auf als die drei andern Baumarten, in Südexposition ist die Dichte aller Baumarten vergleichbar (Tab. 5.1-9). Die Zahl der Ausleseebäume ist bei Fichte und den übrigen Laubbäumen stark mit der Ausgangsstammzahl (Stz. vor der Pflege) korreliert, bei Buche weniger und bei Tanne relativ schwach (Tab. 5.1-7).

Die Ausleseintensität (Anteil der Ausleseebäume an der Ausgangs-Stz.) hängt stark von den Baumarten und den BHD-Stufen, aber nur schwach von den Förstergruppen ab (Tab. 5.1-8). Bei den Baumarten Fichte und übrige Laubbäume ist die Ausleseintensität sowohl in Nord- als auch in Südexposition grösser als bei Tanne und Buche (Abb. 5.1-11). Die Tanne weist in Nordexposition eine grössere, in Südexposition eine ähnlich grosse Ausleseintensität auf wie Buche. Damit kommt indirekt die Zielsetzung bezüglich der Baumartenzusammensetzung zum Ausdruck: Einerseits möchte man aus wirtschaftlichen Gründen den Anteil der Fichte und aus ökologischen Gründen (Biodiversität) jenen der übrigen Laubbäume erhöhen, andererseits werden am Nordhang eher schattenertragende Nadelbäume, am Südhang eher dürreresistentere Laubbäume gefördert.

Die Förderungsintensität (Anzahl der Aushiebe pro Auslesebaum) hängt in erster Linie von den ausführenden Personen ab (Tab. 5.1-9). Zudem gibt es Unterschiede zwischen den BHD-Stufen: In Stufe S05 (2,5-7,4 cm) werden die Ausleseebäume häufiger und stärker gefördert als in den übrigen Stufen. Insgesamt werden etwas mehr als die Hälfte der Ausleseebäume gefördert (Tab. 5.1-10), und zwar mehrheitlich durch die Entfernung eines einzigen Konkurrenten (Tab. 5.1-11).

Die räumliche Verteilung der Ausleseebäume wurde für jede Untersuchungsfläche mit Hilfe der Abstandswerte von 20 systematisch verteilten Stichprobepunkten zum nächsten Auslesebaum und des Durchmessers der zwei grössten Kreisflächen ohne Ausleseebäume analysiert (Tab. 5.1-12). Beide Grössen sind positiv miteinander und stark negativ mit der Dichte der Ausleseebäume korreliert (Tab. 5.1-15): Je kleiner die Dichte der Ausleseebäume, umso grösser der Median der Abstände zum nächsten Auslesebaum und umso grösser die grössten Kreisflächen ohne Ausleseebäume. Die kritische Grenze liegt ungefähr bei einer Dichte von 30 Ausleseebäume pro ha. Bei einer weiteren Abnahme der Dichte nimmt nämlich der Abstandsmedian exponentiell zu (Abb. A. 5.1-0). Alle Untersuchungsflächen mit weniger als 30 Ausleseebäumen pro ha weisen Teilflächen von mehr als 12 Aren ohne förderungswürdige Nachwuchsbäume auf.

Der Abstand der Ausleseebäume zueinander liegt bei 50% der Tannen zwischen 5,3 und 8,8 m (Median 7,0 m), bei 50% der Fichten zwischen 3,6 und 8,0 m (Median 5,0 m, vgl. Tab. 5.1-14). Zwischen den Baumarten bestehen insgesamt signifikante Unterschiede, welche jedoch auf die ungleiche Verteilung auf BHD-Stufen zurückzuführen sind. Tatsächlich weichen die Abstände der Ausleseebäume der BHD-Stufe 5 von jenen der andern BHD-Stufen ab (Abb. 5.1-14); unterhalb von 7,5 cm BHD werden die Ausleseebäume in kleineren Abständen gewählt als oberhalb.

Auf den 18 Flächen wurden insgesamt 1380 Aushiebe getätigt, wovon 250 mit BHD unter 2.5 cm. Die Nachwuchspflege erfolgt überwiegend im Bereich 1 bis 23 cm, mit Schwergewicht zwischen 2.5 und 17.5 cm BHD (Abb. 5.2-1 und Tab. A.5.2-1 im Anh.). Oberhalb von 2.5 cm BHD sind Buchen (45%) am häufigsten im Aushieb vertreten (Tab. 5.2-1), dicht gefolgt von Tannen (41%). Fichten machen nur 8%, die übrigen Laubbäume 6% des Aushiebes aus. Der untersuchte BHD-Bereich wurde aufgrund der Durchmesservertelung der Aushiebe auf 2.5 bis 22.4 cm festgelegt. Die Baumart weist einen hochsignifikanten, die Förstergruppe einen schwach signifikanten Einfluss auf die Wahl von Aushieben im BHD-Bereich 7,5 bis 22,4 cm auf (Tab. 5.2-5).

Die Baumarten, die Förstergruppen (FGR) und ihr Interaktionseffekt zeigen statistisch gesicherte Unterschiede bezüglich BHD-Verteilung der Aushiebe im untersuchten BHD-Bereich (Tab.5.2-6). FGR 1 greift überwiegend zwischen 0,1 und 12,4 cm BHD ein, FGR 2 zwischen 2,5 und 14,9 cm BHD und FGR 3 zwischen 5,0 und 20,0 cm BHD (Abb. 5.2-3).

Die Aushiebsmenge der 18 Flächen liegt zwischen 40 und 240 Stämmen pro ha (Abb. 5.2-4) und ist nicht normalverteilt (Abb. 5.2-5). Auf 50% der Flächen wurden zwischen 54 und 183 Stämmen pro ha entfernt (Tab. 5.2-7). Die Aushiebsmenge ist bei Buche, Fichte und übrigen Laubbäumen stark, bei Tanne etwas schwächer mit der Ausgangsstammzahl korreliert (Tab. 5.2-8). Die Unterschiede in der Aushiebsmenge sind in erster Linie auf die unterschiedliche Nachwuchsdichte und Baum-artenzusammensetzung zurückzuführen. Entsprechend nimmt die mittlere Zahl der Aushiebe mit zunehmendem BHD ab, und die häufigen Baumarten Tanne und Buche sind wesentlich zahlreicher vertreten als die Fichte und die übrigen Laubbäume (Abb. 5.2-6). Der Unterschied zwischen den Expositionen lässt sich damit ebenfalls erklären: die Stammzahldichte der Laubbäume ist in Südexposition wesentlich höher als in Nordexposition (vgl. Tab. 4.3-5).

Bei den Aushiebsgründen machen die Entfernung von Konkurrenten (23%) und die negativen Entnahmen (45%) zusammen mehr als zwei Drittel aus (Tab. 5.2-9). Das restliche Drittel entfällt auf die Kategorien Dichteregulierung (13%), Nachwuchsförderung (12%) und Mischungsregulierung (6%). Die Mischungsregulierung erfolgt vorwiegend im Bereich unter 2.5 cm BHD. Alle untersuchten Haupteffekte weisen einen signifikanten Einfluss auf die Aushiebsgründe "negativ" bzw. "Konkurrent" auf (Tab. 5.2-10). Detaillierte Auswertungen bestätigen die Abhängigkeit der Aushiebsgründe von den BHD-Stufen und Baumarten und ein stark abweichendes Verhalten von Förstergruppe 1 (Abb. 5.2-7/8). Werden nur die Förstergruppen 2 und 3 berücksichtigt, ergibt sich bezüglich der Aushiebsgründe ein etwas anderes Bild. Die Entfernung von Konkurrenten (positive Auslese) weist in diesem Fall insgesamt einen Anteil von rund 38% auf und ist ab BHD-Stufe 15 der klar dominierende Aushiebsgrund (Tab. 5.2-11). Bei allen Baumarten nimmt der Anteil der negativen Eingriffe mit zunehmendem BHD ab und jener der positiven zu (Abb. 5.2-9); die andern Aushiebsgründe (Dichte- und Mischungsregulierung, Nachwuchsförderung) weisen einen ziemlich konstanten Anteil auf. Bei der Nachwuchspflege im Plenterwald wird also bis ca. 10 cm BHD mehrheitlich negativ, darüber deutlich positiv eingegriffen (Abb. 5.2-7).

Die negative Auslese von Nachwuchsbäumen wird meist mit dem Vorhandensein von Schäden oder mit der schlechten Wuchskraft begründet (Tab. 5.2-12). So werden bei den Nadelbäumen häufig unvitale (v.a. bei Tanne) oder an der Rinde geschädigte Bäume (v.a. bei Fichte), bei den Laubbäumen schrägwüchsige (einschnürige) oder krumme (unschnürige) Bäume entfernt.

Die Eingriffsstärke wurde für jede Fläche pro BHD-Stufe und pro Baumart berechnet durch Division der Aushiebsstammzahl mit der Ausgangsstammzahl (Stammzahl vor der Pflege). Laub- und Nadelbäume unterscheiden sich deutlich (Abb. 5.2-10): Bei den Nadelbäumen liegt der Median der Eingriffsstärke zwischen 3 und 12 %, mit Maximum in Stufe S2 (12,5-15,0 BHD), bei den Laubbäumen zwischen 12 und 22 %, mit Maximum in Stufe D3 (5,0 bis 7,4 cm BHD). Den grössten Einfluss auf die Eingriffsstärke üben in beiden berechneten Modellen (Tab. 5.1-13) die Baumart und die Interaktion zwischen Förstergruppe (FGR) und BHD-Stufe aus. FGR 1 greift sowohl im Nadelholz als auch im Laubholz prozentual viel stärker in den BHD- Stufen 5 und 10 und deutlich schwächer in BHD-Stufe 20 ein als die FGR 2 und 3 (Abb. 5.1-11 bis 5.1-13).

Die Auswertung der Auslese und der Aushiebe auf unterschiedlichen Untersuchungsflächen ergibt in vielen Fällen einen signifikanten Einfluss der Förstergruppen. Daneben wirken sich aber auch die Nachwuchsdichte und -zusammensetzung auf Art und Umfang der Nachwuchspflege aus. Um den Einfluss der ausführenden Personen analysieren zu können, wurde deshalb ein Vergleich der Nachwuchspflege mehrerer Forstleute auf ein und derselben Fläche durchgeführt (vgl. Kap.5.3). Daran nahmen 12 Forstleute teil, welche für die Nachwuchspflege verantwortlich (Förster) oder in der Pflege tätig (Forstwarte) sind. Er erfolgte auf Fläche 17 (Môtiers, Abt. 13), welche eine eher zweischichtige Struktur mit viel Nadelholz-Stangen und einigen Buchen aufweist. Die Vergleichsfläche ist darum nicht unbedingt typisch für die Nachwuchs-Verhältnisse im Val-de-Travers. Auf der Vergleichsfläche wurden zwischen 75 und 110 Ausleseebäume pro ha ausgewählt, und zwar zu rund 75% in den BHD-Stufen S10 und S15 (Tab. 5.3-1). Rund 30% der Ausleseebäume wurden nicht gefördert, und mehr als die Hälfte (38 bis 68%) durch Entfernung eines einzigen Konkurrenten. Der Aushieb von mehreren Konkurrenten zugunsten eines Auslesebaumes war dagegen selten. Die Zahl der Aushiebe lag im Mittel bei 167 Stück pro ha (Tab. 5.3-2), wobei die Einzelwerte in einem weiten Rahmen (96 - 281 Stk./ha) schwankten. Die Aushiebe erfolgten überwiegend (85%) in den BHD-Stufen S05, S10 und S15, mit Unterschieden zwischen den Forstleuten (Abb. 5.3-4). Wichtigster Aushiebsgrund war in allen BHD-Stufen (Abb. 5.3-5) die Entfernung von Konkurrenten (56%). Licht- und Dichteregulierung (16%), Nachwuchsförderung (14%) und der Aushieb Schlechtgeformter (12%) waren fast bei allen Forstleuten und in allen BHD-Stufen weit weniger bedeutend. Die Aushiebsgründe unterscheiden sich damit relativ stark von jenen auf den übrigen Untersuchungsflächen (Kap. 5.2.4). Wir führen dies auf die besondere "Prüfungssituation" und auf den vergleichsweise grossen Anteil an Nadelholzstangen zurück.

Eine Cluster-Analyse ergab drei Gruppen mit unterschiedlichem Anzeichnungsverhalten:

Tab.10.2-1: Gruppierung der Testpersonen aufgrund des Anzeichnungsverhaltens.

| Gruppe | Testpersonen | Aushiebe in Stk./ha | Aushiebsgrund | BHD-Bereich der Aushiebe | Bezeichnung |
|--------|-------------------|------------------------|---------------|-----------------------------|-------------|
| 1 | A,L | < 100 | KON > 80 % | S05 < 40 % | modern |
| 2 | B,D,(E),F,G,H,I,K | 100 -200 | KON 40 - 80 % | S05 < 40 % | klassisch |
| 3 | (C), J | > 200 | KON < 40 % | S05 > 40 % | konservativ |

Legende: S05: BHD-Stufe 5 KON= Konkurrenten von Ausleseebäumen

Die konservative Pflege zeichnet sich aus durch eine grosse Aushiebsmenge, vorwiegend aus der BHD-Stufe 5. Der Anteil der Aushiebe durch negative Auslese entspricht etwa jenem der Konkurrenten. Die klassische Pflege zeichnet sich durch eine mittlere Aushiebsmenge, einen höheren Anteil an positiv motivierten Eingriffen und einen grösseren mittleren BHD der Aushiebe aus. Die moderne Pflege beschränkt sich fast ausschliesslich auf die Entfernung von Konkurrenten. Darum weist sie die geringste Aushiebsmenge auf und erfolgt vorwiegend in den BHD-Stufen 10 und 15. Der Vergleich von 12 Personen am selben Objekt erwies sich für die Analyse des Anzeichnungsverhaltens als sehr hilfreich, weil sie nicht von unterschiedlicher Ausgangssituation abhängt. Bei der Verallgemeinerung der gewonnenen Erkenntnisse sind aber gewisse Einschränkungen geboten: zum einen ist die Nachwuchs-Zusammensetzung auf der Vergleichsfläche nicht repräsentativ, zum andern zeichneten einige Testpersonen nicht gleich an, wie sie dies sonst zu tun pflegen.

Die Analyse des Pflegevergleichs erlaubt aber trotzdem interessante Einblicke in die Variation der Pflegeeingriffe und ermöglicht allgemeine Schlussfolgerungen.

Meine Ergebnisse bestätigen die meisten der bisher bekannten Literaturangaben (vgl. Kap.1.3.6). Die Auslese erfolgt heute sowohl positiv als auch negativ, wobei eine klare Tendenz zu einer vorwiegend positiven Auslese besteht. Die Mischungsregulierung spielt nur zu Beginn der Dickungsstufe eine Rolle. Dabei werden die Nadelbaumarten und die selteneren Laubbaumarten auf Kosten der Buche gefördert. Die Nachwuchsförderung erfolgt primär beim Haupteingriff im Plenterbestand und spielt darum bei der Nachwuchspflege eine geringe Rolle. Sie erfolgt meist durch Entnahme von schlechtgeformten Buchen-Stangen, nur selten durch Astung. Die Entnahme von Bäumen zur Dichteregulierung in Nachwuchsgruppen wurde bisher nirgends beschrieben.

10.3 Zustand von Auslesebäumen und Aushieben

10.3.1 Einflussfaktoren auf den Zustand der Auslesebäume

Die Definition des Standortpotentials mit Hilfe der BHD-Höhenkurven und getrennt nach Expositionen kann aufgrund der Ergebnisse in Kap. 6.2 bis 6.5 als sinnvoll angesehen werden. Dadurch konnten die Standortunterschiede innerhalb der grossen Vegetationseinheiten Fagetum (Südexposition) und Abieti-Fagetum (Nordexposition) verdeutlicht und bei den Berechnungen berücksichtigt werden. Die kleinen Baumzahlen auf den ausgezeichneten und den "schlechten" (geringen) Standorten in Nordexposition schränkten zwar gewisse Berechnungen ein. Im Hinblick auf die Berechnung der Höhenkurven im Nachwuchs erwiesen sie sich trotzdem als sinnvoll. Die Analyse der Einflussfaktoren Überschirmung, seitliche Konkurrenz und Gesamtbeschattung ergab die in Tab. 10.3-1 zusammengefassten Ergebnisse.

Tab. 10.3-1: Wichtigste Ergebnisse aus der Analyse der untersuchten Einflussfaktoren.

| Faktor | Verteilung auf Klassen (%) | | | Gleich- verteil. | Unterschiede Tanne / Fichte | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------|---------------|----------|
| | S05 | S10 | S15 | | S20 | | | |
| Überschirmung (Tab. 6.1-8/9) | nicht üb. 53 % | trauf 30 % | übersch. 17 % | nein *** | nein | ja (*) | ja (*) | ja * |
| Anzahl Begleiter (Tab. 6.1-12/13) | 0 bis 1 9 % | 2 bis 4 36 % | 5 bis 10 55 % | nein *** | nein | ja *** | nein | nein |
| Anzahl Konkurr. (Tab. 6.1-14/15) | keine 23 % | 1 bis 2 55 % | 3 bis 5 22 % | nein *** | nein | ja * | nein | nein |
| Beschattung (Tab. 6.1-19/20) | schwach 24 % | mittel 53 % | stark 23 % | nein *** | nein | ja *** | ja * | ja ** |

Legende: Gleichvert.: Chi2-Test zur Prüfung der Gleichverteilung auf Klassen.
Signifikanz auf dem Niveau von (*) 10%, * 5%, ** 1%, *** 0,1%

Die meisten Auslesebäume (83%) sind entweder nicht überschirmt oder im Traufbereich und wachsen in lockeren (2 bis 4 Begleiter) bis dichten (mehr als 4 Begleiter) Gruppen auf (Tab.6.1-8). Überschirmte oder einzeln wachsende Nachwuchsbäume werden selten als Auslesebäume ausgewählt. Dieses Ergebnis erscheint ziemlich plausibel: Einzelwüchse weisen wegen der fehlenden seitlichen Erziehung meist eine langsamere Schaftreinigung und gröbere Äste auf, und die direkte Überschirmung entzieht dem Baum viel Licht, Wasser und Nährstoffe. Zudem können Bäume der mittleren oder oberen Höhenklasse die zukünftige Höhenentwicklung der von ihnen überschirmten Auslesebäumen behindern. Da der Erntezeitpunkt dieser "Schirmbäume" ungewiss ist, sind die meisten Forstleute zurückhaltend bei der Auswahl von Auslesebäumen unter Schirm.

Mehr als drei Viertel der Auslesebäume weisen nach dem Pflegeeingriff maximal zwei direkte Konkurrenten auf, sind also nur mässig konkurrenziert (Tab. 6.1-14). Die kummulierte Grundfläche als Mass der Beschattung beträgt bei über 50% der Auslesebäume zwischen 20 und 39 m² (Tab. 6.1-19). Die Auslesebäume sind also ähnlich stark beschattet wie der Durchschnitt aller Nachwuchsbäume. Zwischen Tanne und Fichte bestehen fast in allen BHD-Stufen signifikante Unterschiede in der Überschirmung und in der Beschattung: Tannen finden sich prozentual häufiger im Traufbereich oder unter Schirm als Fichten, die Beschattung ist signifikant höher. Dafür gibt es zwei mögliche Erklärungen: einerseits entwickeln sich Tannen etwas besser bzw. länger unter Schirm als Fichten, andererseits räumen die Forstleute der Tanne auch eine grössere Schattenverträglichkeit ein.

10.3.2 Höhenkurve und Stabilität der Auslesebäume

Zwischen dem BHD und der Baumhöhe besteht im Nachwuchs eine ziemlich straffe, annähernd lineare Beziehung (Abb. 6.2-1). Der Schlankheitsgrad der Nachwuchsbäume streut im gesamten BHD-Bereich zwischen 60 und 120; die gewichtete Mittelkurve weist im Bereich von 15 bis 20 cm BHD ein Maximum auf (Abb. 6.2-2). Die Modellberechnung ergab einen hochsignifikanten Einfluss der seitlichen Konkurrenz und einen schwach signifikanten des Standortes (Tab. 6.2-1).

Der Einfluss des Standortes auf die Durchmesser-Höhenkurve ist bis 10 cm BHD gering (Abb. 6.2-3); darüber verläuft sie auf schlechteren Standorten sowohl in Nord- wie in Südexposition deutlich tiefer als auf mittleren und guten Standorten. Entsprechend verringert sich der Schlankheitsgrad der Bäume auf geringen Standorten mit zunehmendem Durchmesser. Im Gegensatz dazu steigt er auf den mittleren und guten Standorten oberhalb von 10 cm BHD noch an (Abb. 6.2-4).

Die seitliche Konkurrenz hat ebenfalls einen Einfluss auf den Schlankheitsgrad. Bäume mit grosser seitlicher Konkurrenz weisen im Mittel dauernd einen kritische Schlankheitsgrad über 90 auf, Bäume mit mittlerer und kleiner Konkurrenz erst bei rund 12 cm BHD (Abb. 6.2-6). Einzelne wachsende Nachwuchsbaume dagegen überschreiten den kritischen Schlankheitsgrad nicht.

Die Höhenkurven nach der Formel von Korsun passen sich den beobachteten Werten gut an. Auf mittleren bis guten Standorten und für nicht einzeln wachsende Nachwuchsbaume im Bereich 2.5 bis 22.5 cm BHD können folgende Beziehungen zur Berechnung der Höhe verwendet werden:

| | | |
|---------|--|--------------------------------|
| Fichte: | $\exp(-0,547 + 1,302 \cdot \ln(\text{BHD}) - 0,049 \cdot (\ln(\text{BHD})^2))$ | (n= 62, R ² = 0,95) |
| Tanne: | $\exp(-0,411 + 1,167 \cdot \ln(\text{BHD}) - 0,016 \cdot (\ln(\text{BHD})^2))$ | (n=193, R ² = 0,90) |

Die Unterschiede zwischen Tanne und Fichte sind im Nachwuchs unbedeutend (Abb. 6.2-8).

Andere Arbeiten über Höhenkurven und Schlankheitsgrade in stufigen Beständen ergaben recht ähnliche Ergebnisse (vgl. Tab. A10.4-1). Nach den Untersuchungen von Burger (1942) im Emmental (Toppwald) und von Leibundgut (1945), u.a. in Couvet, weist die Tanne bis ca. 15 cm BHD die grösseren Baumhöhen auf, wird dann aber von der Fichte übertroffen. Entsprechend weist der Schlankheitsgrad bei der Tanne ein Maximum zwischen 15 und 20 cm BHD auf, bei der Fichte zwischen 20 und 25 cm. Nach Untersuchungen von Sommer (1963) im Bayerischen Wald und von Kern (1966) im Schwarzwald verläuft die Durchmesser-Höhenkurve bei Fichte im gesamten Durchmesserbereich oberhalb jener der Tanne. Die Unterschiede betragen jedoch im Stangenholzbereich kaum einen Meter. Der Schlankheitsgrad wies im Schwarzwald ebenfalls ein Maximum im Bereich 15 bis 20 cm BHD auf.

Die Durchmesser-Höhenkurve wurde von Burger und Leibundgut noch graphisch bestimmt. Prodan (1949) formulierte für Plenterwälder eine Baumhöhen-Funktion der allgemeinen Form $H = \text{BHD}^2 / (a + b \cdot \text{BHD} + c \cdot \text{BHD}^2)$, welche als Prodan-Gleichung bekannt ist (Kramer & Akca 1987). Sommer (1963) verwendete für die Konstruktion eines Lokaltarifs für einen Plenterbetrieb im Bayerischen Wald Höhenkurven, welche nach der Formel von Korsun ausgeglichen wurden. Beide Funktionen ergaben eine gute Anpassung der berechneten Höhenkurve an die Punkteschar. Wegen der besseren Verteilung der Residuen gaben wir der Korsun-Gleichung den Vorzug.

Die Durchmesser-Höhenkurven und damit der Schlankheitsgrad verlaufen in unserer Untersuchung im Vergleich zu andern Arbeiten ausserordentlich hoch. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nur ein (gutwüchsiges) Teilkollektiv der Bäume betrachtet wurde und dass die flachgründigeren Standorte und die einzeln wachsenden Auslesebaume von der Berechnung ausgeschlossen wurden. Im Gegensatz zu andern Untersuchungen unterscheiden sich die Durchmesser-Höhenkurven der besseren von jenen der geringeren Standorte bereits im Nachwuchsbereich. Auf Kalkuntergrund ist die Wasserversorgung auf flachgründigen Standorten in regenarmen Perioden offensichtlich ungenügend. Als Folge davon lässt dort der Höhenzuwachs der Nachwuchsbaume früh nach, und die Höhenkurve flacht bedeutend früher ab als auf mittleren und guten Standorten.

Der aus dem mittleren Höhenkurven-Verlauf resultierende grosse Schlankheitsgrad stellt in Bezug auf Schneebruchschäden ein gewisses Risiko dar. Die Verbesserung der Stabilität durch frühzeitige positive Auslese ist nach meinen Ergebnissen aber nur beschränkt möglich, denn nach Abb. 6.2-5 weisen nur einzeln wachsende Bäume einen Schlankheitsgrad unterhalb der kritischen Grenze von 90 auf. Die Auslesebaume vollständig freizustellen würde sich ungünstig auf die Qualität (Astigkeit) auswirken. Bei Durchführung der Wertastung wäre eine stärkere Freistellung ab 15 cm BHD aber durchaus möglich und sinnvoll.

10.3.3 Kronenkennwerte und Vitalität der Auslesebäume

Die absolute Kronenlänge nimmt mit zunehmendem BHD ziemlich linear zu und weist ab 10 cm BHD eine grosse Streuung auf (Abb. 6.3-1). Die relative Kronenlänge nimmt im Mittel von rund 70% bei 5 cm BHD auf rund 60% bei 20 cm BHD ab und streut ebenfalls stark (Abb. 6.3-2).

Von den untersuchten Einflussfaktoren wiesen die Beschattung und die BHD-Stufe einen Einfluss auf die relative Gesamtkronenlänge auf (Tab. 6.3-1). Konkurrenz, BHD-Stufe und Baumart beeinflussten die relative Lichtkronenlänge, Baumart und Standort die relative Schattenkronenlänge (Tab. 6.3-2). Beschattung, Konkurrenz und BHD-Stufe traten aber nur auf den mittleren bis guten Standorten am Nordhang gemeinsam als signifikante Einflussvariablen auf (Tab. 6.3-3).

Die theoretische Kronenlänge von Tanne und Fichte wurde nicht direkt berechnet, sondern mit Hilfe berechneter Höhenkurven für die Baumhöhe, die maximale Kronenbreite und den untersten Grünastquirl hergeleitet. Starke und schwache Beschattung sowie starke Konkurrenz wirken sich auf die Höhenkurven aus (Abb. 6.3-3 bis 6.3-6). Bei mittlerer Beschattung und kleiner bis mittlerer Konkurrenz weisen Tannen und Fichten in Nordexposition ähnliche Kurven für die Baumhöhe und die maximale Kronenbreite auf. Die Höhenkurve des untersten Grünastquirls dagegen liegt bei den Tannen deutlich höher als bei den Fichten (Abb. 6.3-7). Die grössere relative Kronenlänge der Fichte (Abb. 6.3-8) ist also überwiegend auf die längere Schattenkrone zurückzuführen.

Der Anteil der Lichtkrone an der Gesamtkrone liegt im Nachwuchs zwischen 70 und 80%; die Unterschiede zwischen Fichte und Tanne sind in allen BHD-Stufen nicht signifikant (Tab. 6.3-6).

Die Kronenschirmfläche nimmt im Nachwuchs mit zunehmendem BHD fast linear zu (Abb. 6.3-9). Signifikante Einflussfaktoren sind die Baumart und die seitliche Konkurrenz (Tab. 6.3-7). Tannen weisen grössere Kronenschirmflächen auf als Fichten, schwach konkurrenzierte Bäume grössere als stark konkurrenzierte. Die Kronenschirmfläche lässt sich darum aus dem BHD und der Anzahl Konkurrenten näherungsweise berechnen. Der mittlere Platzbedarf in m² im Nachwuchs entspricht bei der Tanne ungefähr dem BHD in cm, bei der Fichte rund drei Viertel davon (Abb. 6.3-11).

Mit Hilfe des Lichtkronenindex (Lichtkronenlänge/Kronenbreite) wurden 4 Kronentypen definiert. Die Auslesebäume beider Nadelbaumarten sind mehrheitlich lang- bis spitzkronig, ausser in BHD-Stufe 5 (Tab. 6.3-10). Individuen mit ausgesprochen stumpfer Krone sind bei beiden Baumarten selten. Den grössten Einfluss auf die Kronenform haben die Dimension, die seitliche Konkurrenz, die Baumart und die Gesamtbeschattung (Tab. 6.3-9). Die Fichte ist im Vergleich zur Tanne etwas spitzkroniger, und grosse Beschattung führt zu stumpferen Kronenformen.

Die Entwicklungstendenz, definiert über den Triebängenquotienten, ist bei vielen Auslesebäumen günstig: fast drei Viertel der Auslesebäume sind vorwachsend, 20% mitwachsend und nur 10% zurückbleibend (Tab. 6.3-12). Zwischen Tannen und Fichten gibt es keine Unterschiede, ausser in BHD-Stufe 5. Die Dimension, die Gesamtbeschattung und der Standort beeinflussen dagegen den Triebängenquotienten signifikant (Tab. 6.3-13). Bäume der BHD-Stufe 5 und solche mit starker Beschattung weisen einen kleineren Anteil an vorwachsenden Bäumen auf. Da der Triebängenquotient stark mit dem BHD-Zuwachs der letzten 5 Jahre korreliert, stellt er ein brauchbares Mass für die Vitalität der Nachwuchsbaume dar.

Frühere Untersuchungen kamen bezüglich Kronenlänge zu unterschiedlichen Ergebnissen (Tab. A.10.4-1). Meine Ergebnisse stimmen mit jenen von Burger (1942) im Toppwald überein: Abnahme der relativen Kronenlänge mit zunehmendem BHD, grössere Kronenlänge der Fichte gegenüber der Tanne. Untersuchungen von Leibundgut (1945) in Couvet und von Badoux (1949) im Bois du Pays (Buttes) kamen dagegen zu gegenteiligen Ergebnissen. Kern (1966) weist für den Schwarzwald eine konstante relative Kronenlänge im Nachwuchs und grössere Kronenlängen bei Fichten nach. Die Ergebnisse zu Kronenansatzhöhe und relativer Kronenlänge von Tanne und Fichte sind also uneinheitlich. In der Dickungsstufe scheint die Tanne den höheren Kronenansatz zu haben, später eher die Fichte. Weil die Fichte aber bei gleichem BHD eine grössere Baumhöhe aufweist, ist ihre relative Kronenlänge ähnlich gross wie jene der Tanne. Alle bisherigen Untersuchungen zur Kronenschirmfläche (Burger 1942, Badoux 1949, Kern 1966) stimmen mit uns überein, dass Tannen bei gleichem BHD eine deutlich grössere Fläche einnehmen als Fichten.

10.3.4 Schaftmerkmale und Qualität der Ausleseebäume

Die entscheidenden Merkmale für die Qualitätsbeurteilung sind Geradschaftigkeit, Schaftform, Astigkeit und Gesundheit bzw. Fehlen von qualitätsmindernden Schäden. Rund 83 % der Tannen und 96 % der Fichten sind lotrecht und gerade, 15 % der Tannen und 4 % der Fichten weisen einen krummen Stammfuss auf und bloss 1% aller Ausleseebäume waren schief (Tab. 6.4-1).

Der Schaftquerschnitt weicht häufig kaum von der Kreisform ab: Auf Brusthöhe weichen 75 % der grösseren Durchmesser um weniger als 4 % vom rechtwinklig dazu gemessenen kleineren Durchmesser ab. Signifikante Einflussfaktoren auf die Schaftovalität sind die BHD-Stufe, die Kronensymmetrie und die seitliche Konkurrenz (Tab. 6.4-2).

Der Dürrastbereich des Baumschaftes nimmt mit zunehmendem BHD zu (Abb.6.4-2). Signifikante Einflussfaktoren sind die BHD-Stufe, die seitliche Konkurrenz und die Baumart (Tab. 6.4-3).

Die astfreie Schaftlänge nimmt mit dem Durchmesser nur schwach zu und verläuft ab rund 15 cm BHD auf ziemlich konstanter Höhe, bei Tanne auf 2 bis 3 m, bei Fichte auf 1 bis 2 m (Abb. 6.4-5). Signifikante Einflussfaktoren sind die BHD-Stufe, die Konkurrenz und die Baumart (Tab. 6.4-4). Mit Hilfe berechneter Höhenkurven je des untersten Grünastquirles und Dürrastes (Abb. 6.4-6) wurde die relative Länge der Krone, des Dürrastbereichs und des astfreien Schaftes berechnet (Abb. 6.4-7). Die relative Länge des astfreien Schaftes beträgt bei der Tanne ab 10 cm BHD rund 20 % der Baumhöhe und ist damit deutlich grösser als jene der Fichte (10 %).

Auf die Aststärke (Durchmesser der Grünäste unterhalb 10 m Höhe) haben nur die BHD-Stufe und die Baumart einen signifikanten Einfluss (Tab. 6.4-7). Die Fichte ist insgesamt schwach signifikant feinastiger als die Tanne; innerhalb der BHD-Stufen besteht aber kein signifikanter Unterschied zwischen den Baumarten (Tab. 6.4-8). Der Anteil feinastiger Bäume sinkt von 97% (Fichte) bzw. 94% (Tanne) in BHD-Stufe 5 auf 33 % (Fichte) bzw. 27% (Tanne) in BHD-Stufe 20.

Die Anzahl Astquirle zwischen 5 und 10 m Höhe (Astquirdichte) beträgt bei Tanne 10 bis 34, bei Fichte 10 bis 26 Quirle (Abb. 6.4-8). Entsprechend liegt der Höhenzuwachs der Tannen zwischen 15 und 50 cm, jener der Fichten zwischen 20 und 50 cm. Einen schwach signifikanten Einfluss auf die Astquirdichte weisen die Beschattung, der Standort und die Baumart auf (Tab. 6.4-9).

Der Zustand der Ausleseebäume ist nicht durchwegs gut. Von den 393 Ausleseebäumen waren zwar nur 30 verletzt oder krank. Wegen des hohen Anteils von Bäumen mit Holzfehlern wiesen aber nur rund zwei Drittel der Ausleseebäume keine erkennbaren Verletzungen, Krankheiten oder Holzfehler auf, und nur gut die Hälfte hatte weder einen Schaden noch ein Risiko (Tab. 6.5-2). Entsprechend häufig sind Ausleseebäume, bei denen mindestens eine der Anforderungen an die Stabilität, Vitalität oder Qualität beeinträchtigt ist (Tab. 6.5-3).

Meine Ergebnisse zur astfreien Schaftlänge stimmen gut mit jenen von Burger (1942) aus dem Toppwald überein; Flury (1933) dagegen weist dort etwas höhere Werte aus (vgl. Tab.A.10.4-2). Der grössere Anteil astfreier Schaftlänge der Tanne im Vergleich zur Fichte wird durch die Untersuchungen von Flury und Burger nicht bestätigt. Leibundgut (1945) stellt übereinstimmend mit meinen Ergebnissen fest, dass Schattenfichten auffallend lange eine sehr lichte, diffuse, weit hinunterreichende Krone behalten. Aufgrund seiner Untersuchungen postuliert er, dass die Länge des astreinen Schaftes nicht von der Standortsgüte, sondern vom Bestandesaufbau abhängt. Diese Hypothese wird durch unsere Ergebnisse nur teilweise bestätigt: wir konnten weder einen Einfluss des Standortes noch einen solchen der Überschildung oder Beschattung auf die astfreie Schaftlänge nachweisen. Einzig die seitliche Konkurrenz hatte, in Übereinstimmung mit Safar (1954), einen schwach signifikanten Einfluss. Überschildung und Beschattung hatten ebenfalls keinen Einfluss auf die Aststärke. Im Gegensatz dazu konnten Mitscherlich und Weihe (1952) sowie Groualle und Minot (1989) günstige Auswirkungen des Druckstandes auf die Aststärke der Nachwuchsbäume im Plenterwald nachweisen. Selbst die oft erwähnte grössere Feinastigkeit der Fichten (Köstler 1956) liess sich mit unserem Datenmaterial nicht nachweisen. Der insgesamt höhere Anteil feinastiger Fichten resultierte aus ihrer stärkeren Vertretung in den unteren BHD-Stufen. Bei vergleichbarem BHD gibt es im Nachwuchs jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen der mittleren Aststärke von Tanne und Fichte.

10.3.5 Physikalisches Baumalter der Aushiebe

Alterszählungen wurden an Stammscheiben von total 743 Bäumen im Aushieb durchgeführt. Das Alter der Nachwuchsstämme streut im gesamten Durchmesserbereich stark und weist nur bis ca. 12,5 cm BHD eine schwache Abhängigkeit zur Baumdimension auf (Abb. 8.1-1). In den BHD-Stufen 15 und 20 weisen die Hälfte der Tannen ein Alter von 77 bis 111 Jahren auf; bei den Fichten sind es 68 bis 82 Jahre, bei den Buchen von 64 bis 84 Jahre und bei den übrigen Laubbäumen 55 bis 74 Jahre. Zwischen den Fichten und den Buchen in Stangenholzdimension gibt es also keinen Altersunterschied. Die Tannen weisen die höchsten, die übrigen Laubbäume die niedrigsten Alterswerte auf. Das maximal festgestellte Alter beträgt bei der Tanne 184 Jahre; bei der Buche (166 Jahre) übertrifft es dasjenige der Fichte (148 Jahre) um fast 20 Jahre.

Das Alter ist wesentlich weniger stark mit den Baumdimensionen BHD und Baumhöhe korreliert als diese miteinander (Tab. 8.1-2). Die Korrelation von Alter und BHD bzw. Alter und Höhe ist bei den Nadelbäumen nur schwach, bei den Laubbäumen (v.a. Buche) dagegen deutlich stärker. Wesentlich enger ist die Korrelation zwischen dem sog. Wachstumsalter (Gesamalter abzüglich Engkernalter, Sommer 1962), und dem korrigierten BHD (BHD minus Engkerndurchmesser).

Die Altersunterschiede zwischen den Baumarten, zwischen den BHD-Stufen und zwischen den Standorten sind signifikant (Tab. 8.1-3). In Nordexposition weisen Tannenstangen ein deutlich höheres Alter auf als Buchen- und Fichtenstangen (Abb. 8.1-2). In Südexposition sind die Fichten tendenziell älter, zwischen Tannen und Buchen dagegen besteht altersmässig kein Unterschied. Auf dem sehr guten Standort am Nordhang und dem guten Standort am Südhang weist das Alter der untersuchten Tannenstangen nur eine geringe Streuung auf und ist deutlich kleiner als auf den anderen Standorten (Abb. 8.1-3). Die Buchenstangen sind auf dem guten Standort in Nordexposition ebenfalls jünger, auf dem schlechten Standort in Südexposition dagegen älter als auf den anderen Standorten. Diese Ergebnisse weisen auf den Einfluss von Standort und Exposition auf das Wachstum hin und werden an anderer Stelle (Kap. 10.5) besprochen. Auf mittleren und guten Standorten am Nordhang steigt das Alter von Tanne und Buche mit zunehmendem Durchmesser bis zu einem BHD von rund 12.5 cm an (Abb. 8.1-4), darüber streut das Alter stark und ist nicht mehr mit dem BHD korreliert. Daraus kann geschlossen werden, dass bei der Pflege ab rund 12.5 cm BHD häufig langsamwüchsige, physikalisch alte Nachwuchsstangen entfernt werden.

Das mittlere Baumalter kann mit Hilfe der Aufwuchszeit bis zum Erreichen der BHD-Messgrenze (130 cm Höhe) und der mittleren Durchwuchszeit geschätzt werden. Nach Modellrechnungen in Kap 9.2 kann der Median des Baumalters von Nadelbäumen wie folgt geschätzt werden:

Median des Baumalters = Median der Aufwuchszeit + 3,6 x BHD.

Bei einer Aufwuchszeit von rund 25 Jahren in Nord- und 34 Jahren in Südexposition (Tab. 9.2-7) beträgt der Median des Alters von Nadelbäumen mit 10 cm BHD rund 60 bis 70 Jahre, mit 15 cm BHD 80 Jahre und mit 20 cm BHD rund 100 Jahre.

Auf die extrem grosse Streuung der Gesamt-Alterswerte weist bereits Balsiger (1925) für das Emmental hin. Die Ergebnisse von Mitscherlich (1952) im Schwarzwald und von Sommer (1962) im Bayerischen Wald bestätigen diesen Befund (Tab.A.10.4-3 im Anhang). Bezüglich des maximalen Alters der Tannen und Fichten im Nachwuchs sind meine Werte mit jenen von Balsiger, Sommer und Kern (1966) vergleichbar, Mitscherlich (1952) dagegen fand deutlich kleinere Werte. Ein höheres Maximalalter der Tanne im Vergleich zur Fichte stellen alle Autoren fest ausser Flury (1929), dessen Angaben allerdings nicht von Nachwuchsbaumen stammen. Dass die Buchen im Plenterwald bei gleichem Durchmesser ein ähnlich hohes mittleres Alter aufweisen kann wie Tannen und Fichten, ist seit den Untersuchungen von Kern (1966) bekannt. Im maximalen Alter bleibt sie in der Regel hinter den beiden Nadelbaumarten zurück. Das festgestellte Maximalalter von 166 Jahren bei einer Buche von 11 cm BHD scheint im Vergleich zu den Angaben von Kern einen absoluten Höchstwert darzustellen. Er kann durch den flachgründigen, wenig wüchsigen Standort (Blockschutt aus dem Creux-du-Van) der Fläche 14 erklärt werden.

10.3.6 Unterdrückungszeitraum und Engkern

Als Engkern wurde der Bereich im Zentrum der Stammscheiben bezeichnet, welcher eine Jahrringbreite von weniger als 1 mm aufweist. Dies entspricht der Definition von Indermühle (1978), weicht aber von jener nach Schütz (1969) ab, welcher eine Grenze von 0.5 mm verwendet.

Nach obiger Definition weisen rund 90% der Nadelbäume und 50% der Laubbäume einen Engkern auf (Tab. 8.2-1). Im Gesamtmodell wirken sich neben der Baumart auch der Standort und die Beschattung auf die Engkernbildung aus (Tab. 8.2-2). Bei den Aushieben von Tanne und Fichte weist ausser der Beschattung keiner der Effekte einen Einfluss auf die Engkernbildung auf (Tab. 8.2-3). Tatsächlich sind die Unterschiede im Engkernanteil zwischen den Standorten bei den Nadelbäumen sehr gering, im Gegensatz zu den Laubbäumen (Tab. 8.2-4).

Die Engkernbildung im Plenterwald ist also ein baumartenspezifisches Phänomen, welches vermutlich bei starker Beschattung verstärkt auftritt. Die Analyse der Engkerne wird durch die Tatsache erschwert, dass die Bildung enger Jahrringe in der Vergangenheit stattgefunden hat, die erfassten Merkmale aber den momentanen Zustand wiedergeben.

Der Unterdrückungszeitraum schwankt bei Tanne zwischen 16 und 101 Jahren (Median 44 J.), bei Fichte zwischen 12 und 79 Jahren und bei Buche zwischen 10 und 71 Jahren (Median je 30 J., Tab. 8.2-5). Es gibt signifikante Unterschiede je zwischen den Baumarten, den BHD-Stufen und den Standorten (Tab.8.2-7). Tannen weisen in Nordexposition längere Unterdrückungszeiträume auf als Fichten; in Südexposition gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen Tannen und Fichten (Abb. 8.2-1). Auf guten Standorten sind Tannen am Südhang weniger lang unterdrückt als am Nordhang (Abb. 8.2-2); Buchen dagegen sind in Südexposition längere Zeit unterdrückt. Dieses Ergebnis ist für die Tanne plausibel, da sie bei gleicher Beschirmung am Südhang mehr diffuses Licht erhält und zudem im Winter noch assimilieren kann. Das Ergebnis für die Buche kann physiologisch nicht erklärt werden. Unterhalb von 12,5 cm BHD weisen Tannen im Mittel längere Unterdrückungszeiträume auf als oberhalb (Abb. 8.2-3). Ob dies auf das Verschwinden der lange unterdrückten Bäume zurückzuführen ist, kann nicht schlüssig beantwortet werden.

Die mittlere Jahrringbreite innerhalb des Engkerns beträgt bei Tannen und Fichten rund 0.2 bis 0.7 mm, bei Buchen und anderen Laubbäumen rund 0.3 bis 0.8 mm pro Jahr (Tab. 8.2-8). Sie ist bei Tanne und Buche mit dem Engkern-Alter korreliert (Tab. 8.2-9). Die Unterschiede zwischen den Baumarten, den BHD-Stufen und den Standorten sind hochsignifikant (Tab. 8.2-10).

In Nordexposition weisen Tannen innerhalb des Engkerns eine signifikant kleinere Jahrringbreite auf als Fichten. In Südexposition besteht kein Unterschied zwischen Tannen und Fichten, zu den Laubbäumen dagegen schon (Abb. 8.2-4). Die Unterschiede zwischen den Standorten sind bei Tanne gering, bei Buche weicht die Unterdrückungsintensität auf dem besten Standort am Nordhang und auf dem schlechten Standort am Südhang von den andern ab (Abb. 8.2-5).

Der Engkern ist auf den untersten Meter des Stammes beschränkt, denn nur rund 4 % der Bäume mit Engkern auf Stockhöhe weisen auf 1.3 bis 2.0 m Höhe noch einen Engkern auf (Tab. 8.2-11). Schütz (1969) stellte in montanen Plenterwäldern Unterdrückungszeiträume fest, welche deutlich über meinen Werten lagen. Der Unterschied zwischen Tanne und Fichte fiel im Objekt Les Joux überaus deutlich aus. Schütz führte dies darauf zurück, dass sich die beiden Baumarten nicht innerhalb derselben Zeitspanne verjüngen konnten. In einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe betrug der Anteil von Bäumen mit Engkern 74 % (Indermühle 1978). Der Unterdrückungszeitraum schwankte zwischen 5 und 90 Jahren und lag im Mittel bei 20 bis 30 Jahren. In Plenterwäldern des französischen Hochjura wies je einen Drittel der Probestämme einen Unterdrückungszeitraum von 0 bis 20, 21 bis 50 und über 50 Jahren auf; er hatte nur einen geringen Einfluss auf die weitere Entwicklung der Bäume (Groualle und Minot (1989). Alle Ergebnisse zeigen übereinstimmend, dass Nachwuchsbäume in Plenterwäldern oft sehr lang unterdrückt sind und während dieser Zeit nur einen sehr kleinen Durchmesserzuwachs aufweisen. Da der Engkern in den meisten Fällen auf den untersten Meter beschränkt bleibt, stellt er holztechnologisch kein grosses Problem dar (Schütz 1989).

10.3.7 Schaft- und Kronenform im Aushieb

Die untersuchten Kronenparameter Kronenindex, Lichtkronenindex, relative Kronenlänge, Lichtkronenanteil und Kronensymmetrie sind nicht normalverteilt, mit Ausnahme der Kronensymmetrie jedoch ziemlich symmetrisch verteilt (Tab. 8.3-1). Als Einflussfaktoren wurden die Baumart, der Standort, die BHD-Stufe, die Überschirmung und die Beschattung ermittelt (Tab. 8.3-2). Das Alter hatte nur einen schwachen Einfluss auf die relative Kronenlänge, die seitliche Konkurrenz wirkt sich auf keinen der untersuchten Kronenparameter aus.

Zur Beschreibung der Kronenformen wurden 8 Kronentypen mit Hilfe des Lichtkronenindex und der Kronensymmetrie definiert (Tab. 8.3-3) und graphisch dargestellt (Abb. 8.3-1). Im Nachwuchs kommt die ganze Palette möglicher Kronenformen vor, von der Spitzkrone bis zur Stumpfkronen je in symmetrischer und asymmetrischer Ausprägung (Tab. 8.3-4). Starke Überschirmung und grosse Beschattung führen häufiger zur Bildung von Schirmkronen (Tab. 8.3-5). Die definierten Kronentypen sind in den Aushiebskategorien "Konkurrent" und "negative Auslese" verschieden stark vertreten (Tab. 8.3-6): Konkurrenten weisen, wie die Ausleseebäume (Kap. 6.3), überwiegend lange bis spitze Kronen auf. Im Zug der negativen Auslese entfernte Bäume dagegen weisen deutlich häufiger kurze bis stumpfe Kronen auf. Offenbar schliessen die Forstleute aufgrund der Form der Lichtkrone auf die Wuchspotenz der Nachwuchsbaume.

Mitscherlich & Weihe (1952) weisen in ihren Untersuchungen an Tannenjungwüchsen ebenfalls auf die unterschiedliche Kronenform von Bäumen im Druckstand und solchen im Freistand hin. Druckstandtannen weisen einen ausgeprägten Schattenhabitus mit ausgreifenden Seitenästen auf. Nach Safar (1954) ändert sich die Kronenform von 4 bis 5 m hohen Bäumen mit dem Alter: sie gleicht zuerst einem bauchigen Kegel, später ist sie glockenförmig, dann regenschirmartig und manchmal sogar tellerförmig. Er führt diese Entwicklung auf Lichtmangel zurück, schliesst aber andere Faktoren nicht aus. Mitscherlich (1961) stellt fest, dass die meisten Bäume im Plenterwald einseitig eingeengte Kronen aufweisen und sich ihre Form häufig von einer schirmartigen Krone zu einer Spitzkrone entwickelt. Nach Sommer (1961) wird die Kronenform der Tanne in der Unterschicht von der Licht und Schatten regulierenden Mittel- und Oberschicht und von der Reaktionsfähigkeit der jungen Tannen bestimmt. In der Unterschicht kommen in Abhängigkeit der Überschirmung alle Uebergänge zwischen einer Spitzkegelform und einer Storchennestform vor. Dabei kann sich die Storchennestform bei stärkerem Lichtgenuss wieder in Richtung Spitzkegelform entwickeln, was die ausserordentliche Plastizität der Tannenkronen in der Jugend belegt. Groualle & Minot (1989) schliesslich definieren fünf Kronenformen (schmale Langkrone, breite Langkrone, breite Mittelkrone, breite Kurzkrone, sehr breite Mittelkrone in Glockenform) und charakterisieren damit die Wachstumsbedingungen der Nachwuchsbaume (freies Wachstum, Unterdrückung, freies Wachstum mit nachfolgender Unterdrückung, Unterdrückung mit nachfolgendem freien Wachstum). Alle Arbeiten bestätigen also die von uns festgestellte Vielfalt der Kronenformen, welche auf die ausserordentliche Plastizität der Tanne hinweist. Übereinstimmend wird auch der grosse Einfluss der Beschattung oder Überschirmung auf die Kronenbildung festgestellt. Bei den Nachwuchsbaumen wechseln sich also Phasen besserer mit solchen schlechterer Lichtversorgung ab, was sich über das Höhenwachstum auf die Kronenform auswirkt.

Für die Beschreibung der Schaftform wurden unechte Ausbauchungsreihen, die Vollholzigkeit, die Formigkeit (echte Formzahl nach Hohenadl) und die Schaftovalität analysiert.

Das Verhältnis der Stammdurchmesser in Baumhöhen von 0, 2, 6 und 10 m Höhe zum BHD verläuft nahezu linear (Abb. 8.4-1). Ausser dem BHD beeinflussen Standort und/oder Baumart die oberen Durchmesser (Tab. 8.4-1). Auf den schlechteren Standorten sind die Nachwuchsbaume abholziger als auf den mittleren und guten Standorten (Tab. 8.4-2 und Abb. 8.4-2a). Die Tanne ist im Nachwuchs nur unwesentlich vollholziger als die Fichte (Tab. 8.4-3 und Abb. 8.4-2b).

Da die Höhe des grössten Durchmesserwachstums mit zunehmender Baumhöhe nach oben wandert (Kramer 1988), verändert sich die Stammform: die Bäume werden vollholziger (Abb. 8.4-3). Die Durchmesserabnahme wurde deshalb nur für Bäume mit mehr als 12,5 cm BHD im Bereich 2 bis 8 m Baumhöhe berechnet. Die Einzelwerte schwanken zwischen 0,37 und 1,27 cm pro Laufmeter,

wobei 50% der Werte zwischen 0,53 und 0,87 cm/m' liegen. Nachwuchsbäume auf mittleren und guten Standorten weisen eine Durchmesserabnahme von weniger als 1 cm pro Laufmeter auf, solche auf "schlechten" Standorten häufig mehr als einen cm (Abb. 8.4-4).

Zwischen den Baumarten Tanne und Fichte gibt es keinen Unterschied in der echten Formzahl (Tab. 8.4-5). Mehr als drei Viertel der Stangen weisen eine Formzahl über 0.52 auf und können damit als vollformig bezeichnet werden (Kramer und Akca 1987). Einzig die BHD-Stufe hat einen Einfluss auf die Formigkeit: mit zunehmendem BHD werden die Bäume abformiger (Abb. 8.4-5). Die Unterschiede zwischen den Standorten dagegen sind nicht signifikant (Abb. 8.4-6). Aufgrund der Formzahl wurden 6 Schafttypen definiert (Tab. 8.4-7) und graphisch dargestellt (Abb. 8.4-7). Die Schaftovalität wurde auf 2, 6 und 10 m Höhe analysiert. Bei 50 % der Bäume weicht der grössere Durchmesser maximal 1,6% vom kleineren Durchmesser ab, bei drei Viertel der Bäume maximal 4,0 % (Tab. 8.4-8). Die Abweichungen von der Kreisform sind also minim. Ausser der Beschattung weist keiner der untersuchten Faktoren einen signifikanten Einfluss auf (Tab. 8.4-10). Obwohl die Schaftform ein wichtiges Qualitätsmerkmal von Bäumen ist (vgl. Kap. 6.4.1), beziehen sich Aussagen über die Qualität meist auf die Astigkeit, während Untersuchungen über die Schaftform selten sind. Eine Ausnahme stellt die vergleichende Untersuchung von Zimmerle (1950/51) zwischen Tannen und Fichten des gleichförmigen Hochwaldes und des Plenterwaldes dar. Seine Ausbauchungsreihen basieren auf den Durchmessern auf ungeraden Baumhöhen, sie stimmen aber in der Grössenordnung und im allgemeinen Kurvenverlauf gut mit meinen Werten überein. Zimmerle stellt fest, dass die Formigkeit der Tanne mit steigender Höhe weniger schnell abnimmt als jene der Fichte und dass sie im oberen Schaftteil viel gedrungener und massiger ist. In den unteren Höhenklassen weist die Tanne im Plenterwald ganz ähnliche Formquotienten auf wie im gleichförmigen Hochwald. In der Höhenklasse 18 (16.6 - 19.5 m) unterschied sich die laufende Durchmesserabnahme im unteren Schaftteil von 0.65 bis 1.30 cm pro Laufmeter bei Tanne und von 0.75 und 1.20 bei Fichte nicht von jener im Hochwald. Meine Werte liegen in einem ähnlichen Bereich, so dass seine Schlussfolgerungen übernommen werden können: Die Nachwuchsstämme von Plenterwäldern unterscheiden sich bezüglich Formigkeit nicht von jenen gleichförmiger Stangenhölzer. Entscheidend für die Beurteilung der Holzqualität ist allerdings nicht die Schaftform der Nachwuchsstangen, sondern jene der hiebsreifen Stämme. Nach Literaturangaben (z.B. Kern 1966) ist sie im Plenterwald eher ungünstiger (abformiger) als im gleichförmigen Hochwald. Daraus ergeben sich aber Vorteile für die Stabilität der Einzelbäume.

10.3.8 Astigkeit im Aushieb

Zusätzlich zu den bei den Ausleseebäumen durchgeführten Aufnahmen wurden am Aushieb die Astdurchmesser auf mm genau erfasst. Die Einzelwerte des Grünast-Durchmessers schwanken zwischen 1,4 und 3,8 cm, die Mittelwerte zwischen 1,7 und 3,2 cm (Tab. 8.5-1). Bei etwas mehr als 25 % der Aushiebe betrug der grösste Astdurchmesser über 3 cm. Der mittlere Grünast-Durchmesser nimmt mit zunehmendem BHD fast linear zu (Abb. 8.5-1). Der holztechnologisch bedeutendere maximale Grünast-Durchmesser ist rund 4 bis 5 mm dicker als der mittlere Astdurchmesser (Abb. 8.5-2).

Groualle & Minot (1989) verglichen die Durchmesser von Dürr- und Grünästen von 8 bis 12 cm dicken Stangen aus Plenterwäldern und aus gleichförmigen Stangenhölzern. Der mittlere Grünast-Durchmesser betrug im Plenterwald 1.3 bis 1.7 cm, im gleichförmigen Hochwald 1.6 bis 2.1 cm. Daraus folgerten sie, dass die Nachwuchsstangen im Plenterwald selbst bei freiem Wachstum feinere Äste aufweisen als die herrschenden Bäume gleichförmiger Stangenhölzer. Ihre Werte sind mit den meinen vergleichbar, so dass meine Beurteilung ähnlich ausfällt. Der für die Beurteilung der Holzqualität massgebende maximale Astdurchmesser erreicht die kritische Grenze von 2 cm allerdings bereits bei einem BHD von 10 cm. Eine allfällige Wertastung müsste also zu Beginn des Stangenholzes erfolgen.

10.4 Entwicklung von Auslesebäumen und Aushieben

10.4.1 Durchmesser- und Radialzuwachs

Der Durchmesserzuwachs der Auslesebäume im Nachwuchs liegt zwischen 1 und 10 mm/Jahr und nimmt im Mittel mit zunehmendem BHD zu. Neben der BHD-Stufe weisen die Beschattung, der Standort, die seitliche Konkurrenz und die Überschirmung einen signifikanten Einfluss auf den Durchmesserzuwachs auf (Tab. 7.1-1). Positiv wirken sich eine kleine Beschattung, fehlende Überschirmung und fehlende Konkurrenz auf den BHD-Zuwachs aus, negativ mittlere bis grosse Konkurrenz. Auf guten Standorten in Nordexposition weisen die Nachwuchsstangen einen signifikant grösseren, auf mittleren Standorten einen kleineren Zuwachs auf als im Mittel.

Die engste Korrelation mit dem Durchmesserzuwachs weist die Kronenlänge auf, gefolgt vom BHD (Tab. 7.1-2). Da diese beiden Parameter ebenfalls miteinander korreliert sind, wurde für die Modellbildung die BHD-unabhängige relative Kronenlänge verwendet. Die Kovarianz-Analyse mit dem BHD und der relativen Kronenlänge als Kovariate und den Variablen Beschattung, Überschirmung und seitliche Konkurrenz ergab fast in allen Fällen hochsignifikante Ergebnisse (Tab. 7.1-3). Mit dem linearen Modell konnten zwischen 26 und 70 % der Gesamtvarianz des BHD-Zuwachses erklärt werden. BHD und relative Kronenlänge haben fast auf allen Standorten einen signifikanten Einfluss auf den Zuwachs. Von den andern Variablen wirken sich die seitliche Konkurrenz (bei Fichten und Tannen in Südexposition) bzw. die Überschirmung (bei Tannen in Nordexposition) signifikant auf den BHD-Zuwachs aus. Auf mittleren und guten Standorten in Nordexposition hat eine grosse seitliche Konkurrenz sowohl bei Fichte als auch bei Tanne einen negativen Einfluss auf den BHD-Zuwachs (Abb. 7.1-9). Auf guten Standorten am Nordhang weisen überschirmte Tannen einen deutlich kleineren Zuwachs auf als solche im Traufbereich oder in Lücken (Abb. 7.1-10). Auf identischen Standorten weisen Tannen einen höheren BHD-Zuwachs auf als Fichten, die Unterschiede sind aber im untersuchten BHD-Bereich nicht signifikant (Abb. 7.1-11). Pro 10 % Zunahme der relativen Kronenlänge nimmt der BHD-Zuwachs um rund 0.5 mm pro Jahr zu (Abb. 7.1-12). Bei 10 cm BHD beträgt der berechnete BHD-Zuwachs 2 bis 4,5 mm pro Jahr, bei 20 cm BHD 4,5 bis 7 mm pro Jahr.

Der Radialzuwachs der Aushiebe wurde an 149 Stammscheiben jeweils für Perioden von fünf Jahren analysiert. Der Median des mittleren jährlichen Radialzuwachses schwankt zwischen 0,7 und 1,4 mm pro Jahr (Abb. 9.1-1). Einen signifikanten Einfluss auf den Radialzuwachs hatten einzig die Beschattung und die relative Kronenlänge (Tab. 9.1-1). Insbesondere wiesen einzeln wachsende, nicht überschirmte Bäume mit kleiner Beschattung und grosser relativer Kronenlänge einen grösseren, stark beschattete Bäume mit kleiner relativer Kronenlänge einen kleineren Radialzuwachs auf. In den letzten 70 Jahren hat der Radialzuwachs der Aushiebe kontinuierlich von rund 1,3 auf 0,6 mm pro Jahr abgenommen (Abb. 9.1-4). Dieser Zuwachsrückgang ist zu einem guten Teil auf die ungünstige Entwicklung der Klasse "negative Auslese" in den letzten 20 Jahren zurückzuführen (Abb. 9.1-5). Die Konkurrenten der Auslesebäume wiesen dagegen seit 1944 einen praktisch gleichbleibenden mittleren Radialzuwachs von rund 1 mm pro Jahr auf und haben sich nach der Trockenperiode 1971 bis 1976 schnell vom Tiefstwert erholt. Entsprechend weisen die entnommenen Konkurrenten einen ähnlich grossen jährlichen BHD-Zuwachs (1 bis 4 mm) auf wie die Auslesebäume (2 bis 6 mm), die Bäume mit Aushiebsgrund "negativ" (0 bis 2 mm) dagegen einen wesentlich kleineren (Abb. 9.1-6).

Die Durchwuchszeiten der Konkurrenten schwanken im Nachwuchsbereich zwischen 7 und 35 Jahren (Median 14 J.) für eine 4cm-Stufe und zwischen 10 und 46 Jahren (Med. 19 J.) für eine 5cm-Stufe (Tab. 9.1-2). Die Nachwuchsbäume benötigen ab Brusthöhe bis zum Erreichen der Kluppschwelle von 17,5 cm BHD zwischen 36 und 119 Jahren, mit einem Median von rund 60 Jahren. Die Wachstumszeiten, welche als Zeiträume bis zur Erreichung bestimmter Durchmesser definiert wurden, weisen eine lineare Abhängigkeit zum BHD auf (Abb. 9.1-7). Diese Beziehung kann deshalb zur Schätzung des Baumalters verwendet werden (Kap. 10.4.5).

Balsiger (1925) gibt die mittlere Jahrringbreite des Unterbestandes (12 - 21 cm BHD) mit 0,5 mm unter Schirm und 1,5 mm im Freiland an. Nach Flury (1933) liegt der Zuwachs der Tanne leicht

über jenem der Fichte und ist in erster Linie abhängig von Bestandesschluss und Witterung. Burger (1942) konnte im Toppwald keinen Unterschied zwischen Tanne und Fichte nachweisen. Dagegen wirkte sich die soziale Stellung der Bäume auf den BHD-Zuwachs aus, v.a. oberhalb von 20 cm BHD. Nach Badoux (1949) wies die Tanne auf der Versuchsfläche Bois du Pays (Val-de-Travers) einen grösseren BHD-Zuwachs als die Fichte. Als wichtigste Einflussfaktoren nennt er den Bestandesvorrat und die Witterung. Prodan (1949) gibt für den BHD-Zuwachs von Bäumen der BHD-Stufen 10 bis 22 einen Streurahmen von 2,4 bis 6,3 mm pro Jahr an. Mitscherlich (1952) weist auf den kombinierten Einfluss von Schirm- und Seitendruck hin und berechnet für verschiedene Konstellationen mittlere Zuwachswerte von 3 bis 5 mm pro Jahr. Spiecker (1986) zeigt anhand von langfristige beobachteten Versuchsflächen im Schwarzwald auf, wie sich Stärkekassen, Witterung und Kronenlänge auf den BHD-Zuwachs auswirken. Fichten wiesen im Zeitraum 1950 bis 1984 den grösseren BHD-Zuwachs auf als Tannen.

Die Zuwachswerte für die Ausleseebäume sind im Vergleich zu anderen Untersuchungen (Tab. A.10.5-1 im Anh.) recht hoch, was durch die Auswahl der Messbäume plausibel erklärt werden kann. Immerhin stimmen unsere Werte ziemlich gut mit dem Streurahmen von Prodan (1949) überein. Die meisten Autoren stellen im Nachwuchs von Plenterwäldern ebenfalls eine grosse Streuung der Einzelwerte, eine Zunahme des Durchmesserzuwachses proportional zum BHD, einen leicht höheren BHD-Zuwachs der Tannen gegenüber den Fichten und einen Einfluss der Beschirmung und Beschattung auf den Zuwachs fest. Spiecker (1986) weist zusätzlich auch einen Einfluss der Kronenlänge nach. Meine Ergebnisse bestätigen also im grossen und ganzen bereits bekannte Tatsachen. Sie zeigen zudem, dass sich der Durchmesserzuwachs der Bäume als Mass für die Vitalität in äusserlich erkennbaren Merkmalen niederschlägt und dadurch die Ansprache des waldbaulichen Wertes von Nachwuchsbäumen beeinflusst: Als Ausleseebäume werden überwiegend spitzkronige, gutwüchsige Bäume gewählt. Aushiebe aufgrund negativer Auslese sind häufig Bäume mit schirmartigen Kronen (Kap. 10.4.7) und kleinem Durchmesserzuwachs.

10.4.2 Höhenzuwachs

Der mittlere Höhenzuwachs der Ausleseebäume schwankt im Nachwuchs zwischen rund 5 und 70 cm/Jahr und nimmt mit zunehmendem BHD zu (Abb. 7.2-2 bis 7.2-4). Neben der BHD-Stufe weisen die relative Kronenlänge, der Standort und die Beschattung einen signifikanten Einfluss auf den mittleren Höhenzuwachs auf (Tab. 7.2-2). Positiv wirken sich eine kleine Beschattung und eine grosse relative Kronenlänge auf den Höhenzuwachs aus. Der schwach signifikant grössere Höhenzuwachs der Tanne ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Fichte in den unteren BHD-Stufen anteilmässig stärker vertreten ist. Der Höhenzuwachs weist die engste Korrelation mit der Kronenlänge auf, gefolgt von der Baumhöhe (Tab. 7.2-3). Da diese beiden Parameter stark miteinander korreliert sind, wurde für die Modellbildung die höhenunabhängige relative Kronenlänge verwendet. Die Kovarianz-Analyse mit dem BHD und der relativen Kronenlänge als Kovariate und den Variablen Beschattung, Konkurrenz und/oder Überschirmung ergab in allen Fällen hochsignifikante Ergebnisse und normalverteilte Residuen (Tab. 7.2-4). BHD und relative Kronenlänge vermögen, unter Berücksichtigung der Beschattung, der Konkurrenz oder der Überschirmung, zwischen 41 und 70 % der Gesamtvarianz des Höhenzuwachses zu erklären.

Die Unterschiede zwischen den Baumarten Tanne und Fichte sind sowohl in Nord- als auch in Südexposition gering (Abb. 7.2-13). Pro 10 % Zunahme der relativen Kronenlänge nimmt der Höhenzuwachs um rund 5 cm pro Jahr (Abb. 7.2-14) zu. Bei 10 cm BHD beträgt der modellierte Zuwachs auf guten Standorten am Nordhang 16 bis 40 cm, bei 20 cm BHD 34 bis 60 cm pro Jahr.

Der Median des jährlichen Höhenzuwachses der Aushiebe schwankte in den letzten 30 Jahren zwischen 15 und 25 cm pro Jahr, und die Einzelwerte lagen zwischen 1 und 75 cm (Tab. A.9.2-1). Die Perioden 1961 bis 1963, 1973 bis 1977, 1980/81 und das Jahr 1987 wiesen einen besonders kleinen Höhenzuwachs auf (Tab. 9.2-1). Die 6 letzten Fünfjahresperioden zeigen signifikante Unterschiede im Höhenzuwachs, mit tieferen Zuwachswerten (Median < 20 cm/J.) in den Perioden 1962-66, 1972-76 und 1977-81 und etwas höheren Werten (Median > 22 cm/J.) in den übrigen Perioden (Tab. 9.2-2).

Den grössten Einfluss auf den Höhenzuwachs der Aushiebe haben die Überschirmung, die relative Kronenlänge und die BHD-Stufe; zusätzlich gibt es Unterschiede zwischen den Baumarten und den Aushiebsgrund-Klassen (Tab. 9.2-3). Bei gleichem BHD weisen Bäume mit Aushiebsgrund "negativ" einen kleineren Höhenzuwachs auf als Konkurrenten (Abb. 9.2-3), Fichten tendenziell einen kleineren als Tannen (Abb. 9.2-4) und überschirmte einen kleineren als nicht überschirmte Bäume (Abb. 9.2-5, Tab. 9.2-4). Der mittlere Höhenzuwachs der Konkurrenten und der Aushiebe aufgrund negativer Auslese wich bereits ab der Periode 1962-66 voneinander ab. Der Unterschied vergrösserte sich nach der Trockenperiode 1972-76 markant und betrug in der letzten Fünfjahresperiode mehr als 20 cm pro Jahr (Abb. 9.2-6).

Der Höhenzuwachs der letzten 5 Jahre ist mit dem Radial- und damit auch dem BHD-Zuwachs der zwei letzten Fünfjahresperioden sehr stark korreliert ($r=0.84$); ein lineares Regressionsmodell mit dem Radialzuwachs als einziger Eingangsgrösse erklärt 70% der Variation des Höhenzuwachses (Tab. 9.2-5). Die enge Beziehung zwischen Höhen- und BHD-Zuwachs kann dazu benutzt werden, um aus dem leicht feststellbaren mittleren Höhenzuwachs auf den nicht sichtbaren mittleren Durchmesserzuwachs zu schliessen (Tab. 9.2-6, Abb. 9.2-7).

Die Ergebnisse bisheriger Untersuchungen zum Höhenzuwachs im Plenterwald sind in Tab. A. 10.5-2 im Anhang zusammengestellt. Die meisten der angegebenen Werte entstammen repräsentativen Stichprobenerhebungen, sind also nur beschränkt mit meinen Werten vergleichbar. Alle Autoren (Badoux 1949, Mitscherlich 1961, Schütz 1969, Kupfer 1980, Spiecker 1986, Groualle & Minot 1989 und Duc 1991) stellen im Nachwuchs von Plenterwäldern einen laufenden jährlichen Höhenzuwachs zwischen rund 5 und 25 cm fest. Übereinstimmend mit meinen Ergebnissen ist in allen Arbeiten der Einfluss der Baumdimension auf den Höhenzuwachs erkennbar: Pflanzen bis 1,3 m Baumhöhe weisen einen jährlichen Höhenzuwachs von rund 5 cm, Stangen mit 10 cm BHD einen solchen von 5 bis 15 cm und Stangen mit 20 cm BHD einen solchen von 15 bis 25 cm auf. Kern (1966) weist auf die grossen Unterschiede zwischen Bäumen verschiedener Höhenklassen und auf die unterschiedlichen Entwicklung ihres Höhenzuwachses hin, Schütz (1969) auf die ausserordentlich grosse Variation von Höhenwachstumsvorgängen. An den zeitlichen Änderungen der Wachstumsgeschwindigkeit von Einzelbäumen lassen sich nach Schütz verschiedene Wachstumsphasen erkennen. Die Entwicklung der Nachwuchs bäume verläuft ausgesprochen langsam. Die Jugendphase stellt oft die Unterdrückungsperiode dar, die durch einen kleinen Durchmesser ($< 1 \text{ mm/J.}$) und Höhenzuwachs ($< 10 \text{ cm/J.}$) gekennzeichnet ist. Auf das langsame Höhenwachstum der Nachwuchsstangen bzw. der unterständigen Bäume hatten bereits Flury (1929) und Leibundgut (1945) hingewiesen. Erstmals quantifiziert sind in meiner Arbeit die grossen Unterschiede zwischen Nachwuchs bäumen unterschiedlicher waldbaulicher Eignung. Vitale, langkronige Bäume können jährliche Höhenzuwächse von 25 bis 50 cm aufweisen, wie sie aus der Literatur nur für aufsteigende Bäume der mittleren Höhenklasse bekannt sind. Solche Bäume stehen oft im gut lichtversorgten Zentrum kleiner Lücken, umgeben von ähnlich schnellwüchsigen Nachbarn. Deshalb weisen die Auslese bäume und die zu ihrer Förderung entfernten Konkurrenten einen ähnlich grossen Höhenzuwachs auf. Im Gegensatz dazu stehen die unvitale Bäume mit schirmartigen Kronen, welche im Zug der negativen Auslese entfernt wurden, häufig unter einem dichten Bestandesschirm, was ihren geringen Höhenzuwachs von 5 bis 10 cm pro Jahr erklärt. Als wichtige Faktoren mit Einfluss auf den Höhenzuwachs wurden, übereinstimmend mit meinen Ergebnissen, in andern Arbeiten die Überschirmung (Mitscherlich 1961, Spiecker 1986, Groualle & Minot 1989) oder die Beschattung (Schütz 1969, 1975), die Baumdimension (Kupfer 1980, Duc 1991), die Standortsgüte (Badoux 1949) und die Kronenlänge (Spiecker 1986) angegeben. Zwischen den Baumarten Tanne und Fichte besteht bei gleicher Dimension und auf gleichem Standort kein Unterschied, was mit den Ergebnissen von Spiecker (1986) übereinstimmt. Die festgestellten als auch die berechneten Höhenzuwachswerte der Auslese bäume liegen deutlich über jenen aus Literaturangaben. Dies zeigt, dass dem Höhenzuwachs als äusserlich erkennbares Mass für die Vitalität bei der Auswahl der Auslese bäume eine grosse Bedeutung zukommt.

10.5 Vergleich der Ausleseebäume mit den Aushieben

Der direkte Vergleich von Ausleseebäumen und Aushieben mittels verbundener Stichproben ergab, dass die Ausleseebäume feinstiger sind und symmetrischer wurzeln als die Aushiebe (Tab. 6.7-1). Zudem weisen sie grössere Baumhöhen, grössere Höhen des untersten Grünastes, kleinere relative Kronenlängen und grössere Höhenzuwächse in den letzten 20 Jahre auf, sind durchschnittlich mehr beschattet und stärker konkurrenziert als ihre Konkurrenten (Tab. 6.7-2). Häufig wird also der qualitativ bessere, höhere Baum aus dem Zentrum der Nachwuchsgruppe als Auslesebaum ausgewählt. Dieser weist aufgrund seiner grösseren seitlichen Konkurrenz zwar eine etwas kürzere Krone auf als seine Konkurrenten, zeichnet sich aber durch eine grosse Wuchspotenz aus. Der Vergleich der Faktoren mit signifikantem Einfluss auf wichtige Kenngrössen der Vitalität und Qualität von Ausleseebäumen und Aushieben ist durch die Tatsache erschwert, dass die Aushiebe keine homogene Gruppe darstellen. Für viele der analysierten Variablen bestehen signifikante Unterschiede zwischen den Konkurrenten von Ausleseebäumen und Bäumen mit Aushiebsgrund negativ (z.B. Tab. 8.3-6). Die Faktoren mit signifikantem Einfluss auf Kronenmerkmale oder auf den Durchmesser- oder Höhenzuwachs sind bei Ausleseebäumen und Aushieben nicht in jedem Fall identisch. So ist der Einfluss des Standortes sowohl auf den Durchmesser- (Tab. 7.1-1) als auch auf den Höhenzuwachs (Tab. 7.2-2) der Ausleseebäume nachweisbar, nicht jedoch auf jenen der Aushiebe (Tab. 9.1-1/9.2-3). Umgekehrt lässt sich bei den Aushieben ein Einfluss der Überschildung auf die Kronenlänge (Tab. 8.3-2) und den Höhenzuwachs (Tab. 9.2-3) nachweisen, nicht jedoch bei den Ausleseebäumen (Tab. 6.3-1). Dafür kommen mehrere Erklärungen in Frage: es gibt weitere, nicht erfasste Einflussfaktoren; es bestehen unterschiedlich enge Korrelationen zwischen den analysierten Faktoren bei Ausleseebäumen und Aushieben; die unterschiedliche Reaktion der Nachwuchsbaume auf die untersuchten Faktoren bewirkt bestimmte Merkmalsausprägungen, welche die Wahl als Auslesebaum respektive als Aushieb beeinflussen.

10.6 Vergleich einiger Kenngrössen der häufigsten Baumarten

Der Vergleich der Baumarten beschränkt sich auf die untersuchten Ausleseebäume der häufigsten Arten, d.h. auf 271 Tannen und 122 Fichten, 90 Buchen und 22 Bergahorne (Tab. 10.6-1). Da die Laubbäume weniger detailliert analysiert wurden als die Nadelbäume, können nur wenige Kenngrössen miteinander verglichen werden. Die meisten Grössen sind von der Dimension der Bäume abhängig. Die entsprechenden Angaben werden für Bäume mit 10 und 20 cm BHD verglichen, wobei diese Werte den berechneten Werten der Anpassungskurven entsprechen. Trotz gewisser Einschränkungen in der Interpretation wegen der geringen Zahl von untersuchten Bergahornen treten die charakteristischen Merkmale der einzelnen Baumarten klar hervor. Die Laubbäume sind in der Jugend deutlich schlanker als die Nadelbäume, was auf ihren, im Verhältnis zum Durchmesserzuwachs, deutlich grösseren Höhenzuwachs zurückzuführen ist. Die absolute Kronenlänge differiert zwischen Tanne, Fichte und Buche nur wenig, bei der relativen Kronenlänge dagegen weisen Laubbäume, insbesondere der Bergahorn, deutlich kleinere Werte auf als Nadelbäume. Vereinfachend können für die relative Kronenlänge der Nachwuchsstangen folgende Werte angegeben werden: Tanne und Fichte je rund 60%, Buche 50% und Bergahorn rund 40%. Der grösste Unterschied zwischen den Hauptbaumarten des Plenterwaldes besteht aber in der Länge bzw. im Anteil der astfreien Schaftlänge: er beträgt sowohl bei Tanne als auch bei Fichte weniger als 20%, bei Buche und Bergahorn dagegen mehr als 50%. Dieser Sachverhalt hängt mit der sehr unterschiedlich schnell verlaufenden natürlichen Astreinigung zusammen. Nach Untersuchungen von Köster (1935) über die Fichte und von Dietrich (1973) über die Tanne verbleiben selbst dünne Äste mit weniger als 1 cm Durchmesser mehrere Jahrzehnte am Stamm. Im Gegensatz dazu fallen Buchenäste im untersten Stammabschnitt nach Mayer-Wegelin (1930) innert weniger Jahre ab, was auf die Bildung einer ausgeprägten Schutzschicht an der Basis abgestorbener Äste zurückzuführen ist (Gelinsky 1933). Deshalb fallen die Äste der Buche, wie auch der übrigen Laubbäume, fast vollständig erhalten und in ganzer Länge herunter. Im Gegensatz dazu fallen bei Nadelbäumen zuerst die Seitenzweige und die Astspitze ab, dann bröckelt der Ast nach und nach Stück um Stück ab.

Tab. 10.6-1: Vergleich quantitativer Grössen von Auslesebäumen häufiger Baumarten.

| Kenngrösse | Abb./ Tab. | Tanne (n=271) | | Fichte (n=122) | | Abb. | Buche (n=90) | | Ahorn (n=22) | |
|----------------------|---------------|---------------|-------|----------------|-------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| | | 10 cm | 20 cm | 10 cm | 20 cm | | 10 cm | 20 cm | 10 cm | 20 cm |
| Baumhöhe (m) | T6.2-2 | 9.0 | 18.7 | 8.8 | 17.5 | 6.8-1 | 13.5 | 20.5 | 14.0 | 20.0 |
| Kronenlänge(m) | T6.3-5 | 5.6 | 11.0 | 5.6 | 10.6 | 6.8-3 | 6.5 | 10.5 | 5.0 | 8.0 |
| astfreie Schaftl.(m) | T6.4-6 | 1.4 | 3.3 | 0.8 | 1.4 | 6.8-5 | 7.0 | 10.0 | 9.0 | 12.0 |
| Schlankheitsgrad | A6.2-8 | 90 | 95 | 90 | 90 | 6.8-2 | 135 | 105 | 145 | 100 |
| relat. Kronenlänge | A6.3-8 | 62% | 59% | 64% | 61% | 6.8-4 | 48% | 51% | 36% | 40% |
| % astfreie Schaftl. | A6.4-7 | 16% | 18% | 9% | 8% | | 52% | 49% | 64% | 60% |

Von den qualitativen Merkmalen sind nur die Geradschaftigkeit, die Schäden und Risiken und die waldbauliche Eignung der Auslesebäume vergleichbar. Die grössten Unterschiede treten bei der Geradschaftigkeit auf: Tannen sind grösstenteils, Fichten überwiegend zweischnürig (Tab. 10.6-2); bei den Laubbäume dagegen sind mehr als die Hälfte der Auslesebäume schief oder krumm.

Tab. 10.6-2: Anteil qualitativer Grössen bei den Auslesebäumen häufiger Baumarten.

| | Tanne | Fichte | Buche | Ahorn |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Geradschaftigkeit | Tab.6.4-1 | Tab.6.4-1 | Tab.6.8-2 | Tab.6.8-2 |
| gerade (zweischnürig) | 83% | 95% | 45% | 41% |
| schief (einschnürig) | 2% | 1% | 52% | 45% |
| säbelwüchsig/unschnürig | 15% | 4% | 3% | 14% |
| Schäden und Risiken | Tab.6.5-2 | Tab.6.5-2 | Tab.6.8-3 | Tab.6.8-3 |
| ohne Schäden / Risiken | 45% | 66% | 64% | 68% |
| mit Holzfehlern | 31% | 14% | 21% | 18% |
| mit Verletzungen | 9% | 5% | 0% | 0% |
| mit Schäden (inkl. Krankheit) | 38% | 18% | 21% | 18% |
| mit Risiko (unvital/instabil) | 29% | 17% | 12% | 14% |
| waldbauliche Eignung | Tab.6.6-1 | Tab.6.6-1 | Tab.6.8-4 | Tab.6.8-4 |
| gut geeignet | 45% | 66% | 21% | 14% |
| mässig geeignet | 53% | 22% | 67% | 54% |
| nicht geeignet | 2% | 11% | 12% | 32% |

Legende:

Holzfehler Nadelbäume = überwallte Verletzungen und Wipfelbrüche, Zwiesel, Grobastigkeit.

Holzfehler Laubbäume = Zwiesel, Steilläste, Astbeulen, Schlängelwuchs, Grobastigkeit.

Schäden Nadelbäume = Rindenverletzungen am Stammfuss, Wipfeldürre, Harzfluss

Schäden Laubbäume = Wipfelbruch, Rindenschaden, schlechte Vitalität

Bezüglich Schäden und Risiken bestehen dagegen keine Unterschiede zwischen den Baumarten Fichte, Buche und Bergahorn. Einzig die Tanne weicht von den andern Baumarten ab: weniger als die Hälfte der Tannen-Auslesebäume weisen weder Schäden noch Risiken auf. Tannen weisen insbesondere deutlich mehr Holzfehler und Risiken auf als Fichten, Buchen und Ahorne. Trotzdem wurde die waldbauliche Eignung der Tannen-Auslesebäume günstiger beurteilt als jene von Buche und Bergahorn. Dies hängt mit dem guten Regenerations- bzw. Überwallungsvermögen der Tanne nach Wipfelbruch oder Rindenverletzungen zusammen, aber auch mit den Anforderungen an die Geradschaftigkeit der Auslesebäume. Die ausgewählten Laubbäume sind nur zu einem kleinen Teil gut, zum grössten Teil aber waldbaulich nur mässig als Auslesebäume geeignet. Insbesondere der Bergahorn entspricht oft nicht allen waldbaulichen Anforderungen. Seine Wahl ist deshalb z.T. dem Bemühen der Forstleute zu verdanken, die selteneren Baumarten zu fördern. Die Fichten-Auslesebäume dagegen entsprechen häufig den waldbaulichen Anforderungen an Auslesebäumen. Der im Vergleich zur Tanne deutlich grössere Anteil ungeeigneter Fichten ist auf das schlechtere Regenerationsvermögen bzw. auf die grössere Infektionsgefahr nach Verletzungen des Schaftes oder des Stammfusses (z.B. Graber 1996) zurückzuführen. Trotzdem ist die Fichte nach wie vor die geschätzteste Baumart in den Plenterwäldern klassischer Prägung.

11 Diskussion der Methoden und der waldbaulichen Fragen

11.1 Kritische Beurteilung der verwendeten Methoden

Die Auswahl der 18 Untersuchungsflächen war durch folgende Besonderheiten geprägt:

- Die Auswahl der Untersuchungsflächen war vom Pflageurnus abhängig, weshalb weder eine zufällige noch eine systematische Stichprobe vorliegt. Die Ergebnisse beziehen sich streng genommen nur auf die 18 Untersuchungsflächen und sind im streng statistischen Sinne nicht repräsentativ für das Untersuchungsgebiet. Wegen der grossflächig homogenen Verhältnisse in Plenterwäldern und aufgrund der Tatsache, dass sich die Flächen standörtlich auf das Abieti-Fagetum typicum in Nord- und auf das Cardamino-Fagetum typicum in Südexposition in Höhenlagen zwischen 800 und 1000 m ü.M. beschränken, können die Ergebnisse zumindest für diese beiden Standorte als repräsentativ für das Val-de-Travers bezeichnet werden.
- Die Abgrenzung stufiger Bestandespartien innerhalb der gewählten Abteilungen erfolgte subjektiv. Aufgrund der Fragestellung wurden tendenziell eher Flächen mit genügend Nachwuchs-Stangen der Nadelbaumarten Tanne und Fichte berücksichtigt.
- Wegen der dichten Erschliessung durch Strassen und Maschinenwege war es schwierig, genügend grosse Flächen ohne störende Einflüsse (z.B. zusätzliches Seitenlicht) zu finden.
- Die ungleichen Flächengrössen und -formen der Untersuchungsflächen erwies sich bei der statistischen Auswertung als ungünstig. Der Vergleich flächenbezogener Daten, z.B. der Dichte und Verteilung der Ausleseebäume, wurde dadurch erschwert.
- Die Zahl von 18 Flächen war für verschiedene Fragestellungen zu knapp, und es mangelte an Flächen in Südexposition. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die Eingriffe aufgrund der ungünstigen Holzmarkt-Situation 1992 auf mehreren Flächen zurückgestellt wurden.

Bei der Festlegung der Flächengrösse orientierte ich mich an Rahmenwerten, welche bisher bei wissenschaftlichen Untersuchungen in Plenterwäldern eingehalten wurden. Sie liegen zwischen 0.5 und 2.0 ha. Tatsächlich variiert die Grösse der Flächen zwischen 0,34 und 1,05 ha, und 7 Flächen waren weniger als 0,5 ha gross. Theoretisch ist die Wahl kleiner Flächen durchaus möglich. Nach den Untersuchungen von Weidmann (1961) nimmt nämlich die Variation von Merkmalen der Bestandesstruktur im Plenterwald ab einer Flächengrösse von rund 10 Aren nur noch schwach ab. Auf so kleinen Flächen ist aber nicht mehr gewährleistet, dass raumbezogene Merkmale mit genügender Sicherheit erfasst werden. Deshalb postuliere ich für die Untersuchung stufiger Wälder eine minimale Flächengrösse von 50x50 m; die optimale Grösse liegt im Bereich von 50 Aren (Magin 1954). Um einen räumlichen Bezug der erfassten Merkmale herstellen zu können, sollten die Flächen in Quadrate von 10x10 bzw. 20x20m aufteilbar sein. Daraus ergeben sich zwei günstige Flächenformen, welche für künftige Untersuchungen in Plenterwäldern empfohlen werden: Rechtecke von 50x100 m bzw. von 60x80 m Seitenlänge.

Da die Wahl der Ausleseebäume und der Aushiebe durch die Förster bzw. durch die Forstwerte durchgeführt wurde, war sie stark von der ausführenden Person abhängig. Alle Auswertungen zur Nachwuchspflege mussten deshalb stets den Faktor Mensch mit berücksichtigen. Dies erlaubte, besser noch als der direkte Vergleich der Pflege verschiedener Forstleute auf derselben Fläche, traditionelle und aktuelle Pflegemethoden zu charakterisieren und miteinander zu vergleichen.

Insgesamt wurden sowohl bei den Ausleseebäumen als auch bei den Aushieben zu wenig Fichten erfasst. Dies ist aber nicht auf die Methode selbst zurückzuführen, sondern allein auf die relative Seltenheit der Fichte in den untersuchten Plenterwäldern auf Kalkstandorten. Für die statistischen Auswertungen wären je 200 Ausleseebäume von Tanne und Fichte ideal gewesen. Dies hätte aber im Fall der Fichte grössere Aufnahmeflächen erfordert.

Die Wahl der Probestämme im Aushiebe erfolgte im ersten Aufnahmejahr zu wenig konsequent. Insbesondere hätten alle Konkurrenten von Ausleseebäume erfasst werden sollen. Mit insgesamt 190 Datensätzen war die Basis für gewisse Auswertungen zudem recht schmal.

Das Aufnahmeverfahren hat sich im Grossen und Ganzen bewährt. Wertvoll wäre es gewesen, wenn die Untersuchungsflächen bereits vor dem Eingriff im Hauptbestand ausgewählt und die Ausleseebäume im Nachwuchs bezeichnet worden wären. Dadurch wären Aussagen zu Schadenhäufigkeit und -intensität durch den Plentereingriff möglich gewesen.

Die meisten Aufnahmemerkmale waren eindeutig definiert und dadurch ohne Probleme erfassbar. Gewisse Grössen hätten mit vertretbarem Aufwand genauer erfasst werden können:

- Die Kronenradien in 8 Richtungen statt in den 4 Haupt-Himmelsrichtungen zur Berechnung der Kronengrundfläche und zur Erfassung der Auswirkungen seitlicher Konkurrenz.
- Die genaue Lage der Konkurrenten als Grundlage für die Berechnung des Standraumes.

Die gutachtliche Beurteilung der Wurzelsymmetrie, der Eindringtiefe, der Rindenrauhigkeit, der Kronenentwicklung und der Feinstigkeit an den Ausleseebäumen erwies sich als problematisch, weil vom Beurteiler beeinflusst und damit weder objektiv noch nachvollziehbar. Die Feinstigkeit, d.h. der Astdurchmesser am Schaft unterhalb von 10 m Baumhöhe, hätte mit Hilfe einer Leiter genau erfasst werden können. Dies hätte aber einen wesentlich höheren Zeitaufwand erfordert.

Die exakte Altersbestimmung an rund 750 Stammscheiben hat sich sehr bewährt. Die Jahrringe im Engkern waren teilweise so eng (Tab. 8.2-8), dass eine Zählung am Stock selbst mit der Lupe nur unsichere Ergebnisse erbracht hätte. Aus methodischen Gründen wäre die Entnahme von Stammscheiben an sämtlichen Aushieben, also auch an solchen mit weniger als 5 cm BHD, wünschenswert gewesen. Sie hätte die bessere Datierung der Verjüngungsschübe auf allen Flächen erlaubt. Bei der Entnahme der Stammscheiben auf Brusthöhe mussten verschiedene Einschränkungen in Kauf genommen werden, weil nicht alle Waldbesitzer bzw. ihre Vertreter das nötige Verständnis für die Auftrennung der gefällten Stangen aufbrachten. Deshalb konnten die Zuwachsmessungen nicht an allen Probestämmen im Aushieb durchgeführt werden.

Die Zusammenfassung von jeweils 5 Jahrringen zu Zuwachsperioden von 5 Jahren hat sich m.E. bewährt, denn es ging nicht darum, den Einfluss der Witterung auf den laufenden jährlichen Zuwachs zu untersuchen, sondern den Einfluss von Struktur- und Einzelbaummerkmalen auf den laufenden periodischen Zuwachs und dessen Verlauf. Die Auswertung von Fünfjahres-Perioden erlaubt nämlich, grobe Fehler von vorneherein auszuschalten; zudem erfolgt dadurch eine sinnvolle Datenreduktion.

Die Höhenkurven eignen sich genügend gut, um die Unterschiede zwischen den Flächen im Standortspotential auszudrücken. Mit Hilfe der Höhenkurven wurden 6 Standortseinheiten definiert, zwischen welchen in zahlreichen Auswertungen signifikante Unterschiede bestanden. Selbst die statistisch nicht zwingende Unterteilung in mittlere und gute Standorte am Nordhang erwies sich als sinnvoll. Wegen der zu kleinen Baumzahl auf dem geringen und dem sehr guten Standort in Nordexposition musste für gewisse Auswertungen auf die Probestämme dieser Standortsklassen verzichtet werden.

Die statistische Auswertung wurde durch die zwei folgenden Tatsachen erschwert:

- Da es sich um Erhebungen handelte und nicht um Experimente, waren praktisch alle Daten unbalanciert, d.h., die einzelnen Klassen oder Faktorstufen weisen unterschiedliche Zahl von Datensätzen auf. Dies wurde bei den statistischen Berechnungen berücksichtigt.
- Die meisten analysierten Grössen waren nicht oder nur annähernd normalverteilt. Häufig handelte es sich um linkssteile, d.h. rechtsschiefe Verteilungen. Diese können zwar durch eine Logarithmus-Transformation in eine Normalverteilung überführt werden, bei der Rücktransformation der wichtigsten Kennwerte ergeben sich aber Verzerrungen, welche dazu führen, dass die unteren und oberen Vertrauensgrenzen nicht mehr symmetrisch um den Mittelwert liegen. Deshalb wurde i.d.R. auf Transformationen verzichtet und statt dessen mit nichtparametrischen Tests gearbeitet, welche keine Normalverteilung der analysierten Daten voraussetzen.

11.2 Wie lässt sich die heutige Nachwuchspflege charakterisieren?

Die heutige Nachwuchspflege in den Plenterwäldern des Val-de-Travers ist kein Einheitsverfahren. In der Praxis findet sich nämlich, zumindest bei den Pflegeverantwortlichen, eine Palette von Möglichkeiten zur Gestaltung der Nachwuchspflege. Sie können zu folgenden drei Konzepten zusammengefasst werden (vgl. Kap. 5.3.3):

- Die traditionelle Pflege ist stark geprägt durch die negative Auslese; die Aushiebe erfolgen vorwiegend im Bereich 0 bis 12 cm BHD, die Ausleseebäume werden nur schwach gefördert.
- Die klassische Pflege berücksichtigt die positive und die negative Auslese gleichermaßen; Aushiebe erfolgen v.a. im Bereich 3 bis 15 cm BHD, Ausleseebäume werden mässig gefördert.
- Die moderne Pflege konzentriert sich auf die positive Auslese, so dass die Eingriffe überwiegend im Bereich 5 bis 20 cm BHD erfolgen; Ausleseebäume werden meist relativ stark gefördert.

Einen grossen Einfluss auf die Pflegeintensität bzw. auf die mittlere Aushiebsmenge (Stz./ha) haben die Stammzahldichte und die Baumartenzusammensetzung im Nachwuchs: je dichter der Nachwuchs und je höher der Laubholzanteil, umso stärker der Eingriff (Kap. 5.2.3). Die Art der forstlichen Aus- und Weiterbildung und die praktische Erfahrung der ausführenden Forstleute wirken sich ebenfalls auf die Aushiebsmenge (Tab. 5.3-6), aber auch auf den BHD-Bereich der Auslese (Tab. 5.1-6) und der Aushiebe (Tab. 5.2-6), auf die Auslese- und Förderungsintensität (Kap. 5.1.4/5) und auf die Aushiebsgründe (Kap. 5.2.4) und Eingriffsstärken (Kap. 5.2.5) aus.

Die praktische Ausführung der Nachwuchspflege durch die Forstwarte wurde im Kanton Neuenburg durch die Durchführung von Weiterbildungskursen zu vereinheitlichen versucht (Junod, mündl.). Als Folge davon wird heute vermehrt eine positive Auslese durchgeführt, insbesondere in nadelholzreichen Nachwüchsen (Abb. 5.3.5). Zudem sind die Unterschiede zwischen den Forstwarten mit Kursbesuch geringer als jene zwischen den Förstern. Da die Vorgabe der Pflegeziele durch die Förster erfolgt, ergeben sich aber immer noch Unterschiede in der Ausführung der Nachwuchspflege.

11.3 Welche Nachwuchsbäume sind im Plenterwald brauchbar?

Oder anders gefragt: Welche Nachwuchsbäume sind für die nachhaltige Erfüllung der Schutz- und Holzproduktionsfunktion brauchbar, und welche sind unbrauchbar?

Zur dauernden Erhaltung der Schutzfunktion tragen einerseits instabile oder schiefwüchsige Bäume, andererseits kranke oder verletzte Bäume wenig bei und können deshalb als unbrauchbar bezeichnet werden. Aus der Sicht einer optimalen Erfüllung der Holzproduktionsfunktion fallen Bäume mit tiefliegendem Zwiesel, krummem Schaft oder andern wertmindernden Holzfehlern darunter (Kap. 6.5). Ihr Anteil beträgt im Nachwuchs rund 10 bis 15% (Kap. 4.3.7). Im Fall von übertragbaren Krankheiten müsste man waldbaulich gar von unerwünschten Bäumen sprechen. Im Plenterwald sind solche Krankheiten, wie z.B. Tannen- oder Buchenkrebs, selten. Ich stimme deshalb mit Balsiger (1914) darin überein, "dass es sich nicht lohnt, Ausscheidungen nach der Tauglichkeit einzelner Individuen der Jungwuchs- oder Dickungsstufe machen zu wollen", sondern dass der Nachwuchs "als Füllholz zu betrachten [sei], von welchem nur wenige Prozente zur Entwicklung kommen können". Dieses Füllholz weist mehrere Funktionen auf: Erstens dient es als Reservoir für den Einwuchs in die nächstobere Höhenklasse; zweitens trägt es zum Schutz des Oberbodens bei (Biolley 1901); drittens schützt es den Schaft von Eliteanwärtern und fördert dadurch deren natürliche Astreinigung (Borel 1929); und viertens dient das Füllholz als Äsung für das Schalenwild (Eiberle & Wenger 1983).

Wenn der Zukunftswert der Bäume in diesem frühen Stadium der Entwicklung nur mit Mühe beurteilt werden kann bzw. nicht beurteilt werden soll (Ammon 1937), dann ist die positive Auslese erschwert. Für die Nachwuchspflege heisst dies, dass innerhalb der Jungwuchs- und Dickungsstufe (bis 7,5 cm BHD) nicht primär Einzelbäume ausgewählt und gefördert werden sollen, sondern dass durch waldbauliche Massnahmen in der mittleren und oberen Höhenklasse die ökophysiologischen Bedingungen ganzer Nachwuchsgruppen verbessert werden sollen.

11.4 Welche Nachwuchsbäume kommen als Ausleseebäume in Frage? Welche werden als Ausleseebäume gewählt?

Oder anders gefragt: welches sind die Kandidaten, welches sind die Ausleseebäume im Nachwuchs von Plenterwäldern? Ausgehend von der waldbaulichen Zielsetzung der Plenterbewirtschaftung werden nachfolgend die Anforderungen an die Kandidaten als potentielle Ausleseebäume skizziert.

Ziel der Plenterbewirtschaftung ist die nachhaltig bestmögliche Ausnutzung der Ertragsfähigkeit in Beständen dauernd stufiger Struktur. Die Teilziele der Plenterung sind daher die Erhaltung oder Verbesserung der Plenterstruktur, die Auslese und Erziehung wertvoller und vitaler Bäume aus allen Bestandesschichten, die permanente, räumlich zerstreute Verjüngung und die Nutzung hiebsreifer Starkhölzer oder störender Bäume der mittleren oder unteren Höhenklasse.

Das Ziel der Nachwuchspflege ist die Erhaltung und Förderung einer bezüglich Nachhaltigkeitsanforderungen genügenden Zahl von Nachwuchsbäumen guter Stabilität, Vitalität und Qualität. Das heisst, dass die Zahl der laufend natürlich ausgefallenen oder periodisch genutzten Bäume jeweils durch die gleiche Anzahl von Einwüchsen ersetzt werden muss, und dass ein Teil dieser Einwüchse bestimmte Anforderungen an die Stabilität, Vitalität und Qualität erfüllen soll. Diese Anforderungen an die Kandidaten bzw. Ausleseebäume unterscheiden sich nur unwesentlich von jenen in gleichaltrigen Hochwäldern (Tab. 11.4-1). In stufigen Beständen können an die Vitalität der Nachwuchsbäume nicht dieselben hohen Anforderungen gestellt werden wie in schichtigen Jungwaldbeständen (Kap. 1.3.2). Desgleichen können m.E. die Anforderungen an den Schlankheitsgrad der Nachwuchsbäume leicht reduziert werden, weil stufig aufgebaute Bestände die Ausbildung geschlossener Schneedecken im Kronenbereich verhindern (Rottmann 1985) und die aufliegende Schneelast reduzieren. Für die Beurteilung der waldbaulichen Brauchbarkeit (vgl. Kap. 6.6) wurde darum der kritische Schlankheitsgrad von Nadelbäumen auf 100 festgelegt.

Tab. 11.4-1: Anforderungen an die Ausleseebäume im Nachwuchs von Plenterwäldern.

| Aspekt | Kriterium | waldbauliche Anforderungen |
|-------------------|------------------------------|--|
| Vitalität | Kronenlänge | mindestens ein Drittel der Baumhöhe |
| | Kronenausformung | möglichst symmetrisch, ohne Wipfelbruch oder Zwiesel |
| | Belaubung/Benadelung | genügend dicht und ohne abnormale Verfärbung |
| | Wuchskraft | möglichst wuchskräftig im Vergleich zu den Nachbarn |
| Stabilität | Schlankheitsgrad | kleiner als 100 (Nadelbäume) bzw. 140 (Laubbäume) |
| | Kronenausformung | möglichst schmalkronig, kein plagiotroper Wuchs |
| | Stand | lotrecht |
| | Bewurzelung | möglichst symmetrisch und tiefgehend |
| Qualität | Geradschaftigkeit | zweischnürig, weder schief (ein-) noch krumm (unschnürig) |
| | Schaftachse | möglichst durchgehend, Zwiesel nicht unter 10 m Höhe |
| | Wuchsanomalien | weder Drehwuchs noch Reaktionsholz |
| | Schäden | weder Verletzungen noch Krankheiten |
| | Stammquerschnitt | möglichst kreisrund, Abweichung von Kreisform max. 5% |
| | Durchmesserabnahme | möglichst vollholzig, Abnahme < 1 cm pro Laufmeter |
| | Astigkeit verborgene Äste | möglichst feinastig ($\varnothing < 2$ cm), keine Dürr- und Steilläste möglichst flache Chinesenbärte, kleine Wülste oder Beulen |

Die tatsächliche Auswahl der Ausleseebäume richtet sich nach dem waldbaulichen Wert und der Verteilung der Kandidaten. Im Kollektiv der Ausleseebäume kommen sowohl Nadelbäume als auch Laubbäume (Kap. 5.1), in Gruppen aufwachsende als auch Solitäre, überschirmte als auch nicht überschirmte, stark konkurrenzierte als auch freistehende, schwach als auch stark beschattete Nachwuchsbäume (Kap. 6.1) vor. Ein grosser Teil der Ausleseebäume sind nicht überschirmte, gutwüchsige Bäume mit mittlerer seitlicher Konkurrenz und mittlerer Beschattung, welche in kleinen Nachwuchsgruppen wachsen (Tab. 10.4-1). Die Ausleseebäume unterscheiden sich von ihren Konkurrenten bezüglich Feinastigkeit, Wurzelsymmetrie, Baumhöhe und Höhenzuwachs

(Kap. 10.6). Innerhalb von Nachwuchsgruppen mit mehreren Kandidaten wurden jene Bäume ausgelesen, welche im Vergleich zu ihren Nachbarn feinastiger, besser verwurzelt, grösser und wuchskräftiger waren, welche also den Anforderungen an Qualität, Stabilität und Vitalität besser entsprechen. Mehrere Untersuchungen zeigen aber, dass sich auch lange unterdrückte (z.B. Schütz 1969) und selbst mehrfach verbissene Tannen (Mlinsek 1969) im Plenter- als auch im Urwald noch zu qualitativ guten Bäumen der oberen Höhenklasse entwickeln können. Die Wahl gutwüchsiger Ausleseebäume weist indessen mehrere Vorteile auf: Gutwüchsige Bäume sind meist vitale, stabile Bäume, welche häufig im Zentrum einer Lücke stehen, umringt von Nachbarn, welche die natürliche Astreinigung begünstigen und einen Stammschutz bieten. Zudem wird dadurch der Aufstieg in die mittlere Höhenklasse beschleunigt und damit der Produktionszeitraum von Einzelbäumen verkürzt.

Die räumliche Verteilung der Ausleseebäume variiert, analog zur Nachwuchsverteilung, stark (Kap. 5.1.6). In den häufig dichten Nachwuchsgruppen ist die Auswahl an Kandidaten der Baumarten Tanne und Fichte meist gross, so dass die Förster eine Auswahl treffen müssen. Dabei orientierten sie sich bisher offenbar an den optimalen Abständen für gleichförmige Hochwälder, d.h. 4 m in der Dickungsstufe und 7 bis 8 m im Stangenholz (AG Jungwaldpflege Kt. NE 1996). 50% der ausgelesenen Tannen weisen nämlich einen Abstand zwischen 5,3 und 8,8 m, 50% der Fichten einen solchen zwischen 3,6 und 8,0 m zum nächsten Auslesebaum auf (Kap. 5.1.7). Wegen der grösseren Kronen benötigen die Bäume mit mehr als 52,5 cm BHD im Plenterwald Abstände von rund 12 bis 15 m (Balsiger 1925, Schütz 1989). Im Hinblick auf eine Aufwandreduktion ist es nicht sinnvoll, Ausleseebäume in Abständen unter 6 m auszuwählen. Ich empfehle deshalb Abstände von 6 bis 8 m in der Dickungs- und von 12 bis 16 m in der Stangenholzstufe.

11.5 Welchen Einfluss hat die Nachwuchsstruktur auf die Pflege?

Unter Nachwuchsstruktur verstehen wir hier die Dichte, die Verteilung auf Durchmesserstufen und die Zusammensetzung des Nachwuchses. Uns interessiert, ob in laubholzreichem Nachwuchs anders gepflegt wird als in nadelholzreichem und bei dichtem anders als bei lockerem.

Die Anzahl der Ausleseebäume pro Baumart hängt bei der Fichte und beim übrigen Laubholz sehr stark von deren Ausgangsstammzahl ab. Die Baumartenzusammensetzung und die Verteilung auf BHD-Stufen beeinflussen massgeblich die Ausleseintensität, d.h. den Anteil auswählter Ausleseebäume an den vorhandenen Nachwuchsbäumen. Die selteneren Baumarten Fichte und übriges Laubholz werden sowohl in Nord- als auch in Südpositionen in einem höheren Anteil als Auslesebaum gewählt. Dies weist auf die bereits von Biolley (1901) geforderte Förderung der seltenen Baumarten hin.

Die Nachwuchsdichte hat einen grossen Einfluss auf die Aushiebsmenge, insbesondere bei der Buche und bei den übrigen Laubbäumen: In Plenterwäldern mit laubholzreichem Nachwuchs werden im Zuge der Nachwuchspflege deutlich mehr Bäume entfernt als in solchen mit nadelholzreichem Nachwuchs. Die Baumartenzusammensetzung beeinflusst die Aushiebsintensität und dadurch auch die Aushiebsmenge: bei den Nadelbäumen werden nur 3 bis 12% der Ausgangsstammzahl entfernt, bei den Laubbäumen dagegen 12 bis 22%. Die Baumartenzusammensetzung wirkt sich aber auch, zusammen mit der Baumdimension, auf die Aushiebsgründe aus: In den schwächeren BHD-Stufen (bis ca. 7,5 cm BHD) wird eher negativ, in den stärkeren BHD-Stufen bei den Laubbäumen mehrheitlich, bei den Nadelbäumen überwiegend positiv eingegriffen.

Die Nachwuchsstruktur hat also insgesamt einen grossen Einfluss auf die Nachwuchspflege, insbesondere auf die Anzahl der ausgewählten Ausleseebäume und auf die Ausleseintensität, auf die Menge und Intensität der Aushiebe und auf die Aushiebsgründe; allerdings wird der Einfluss auf die Aushiebe vom unterschiedlichen Anzeichnungsverhalten der Forstleute überlagert.

Zusammenfassend halten wir fest, dass in laubholzreichem Nachwuchs wegen der grösseren natürlichen Dichte und zur Erhaltung eines genügenden Nadelholzanteiles stärker eingegriffen wird als in nadelholzreichem. Bestimmend für die Pflege in der Dickungsstufe ist die Entfernung von Individuen, welche besser geeignete Nachbarbäume oder Nachwuchsgruppen behindern. Bei stärkeren Bäumen steht die Auswahl und Förderung von Ausleseebäumen im Vordergrund.

11.6 Welche Faktoren beeinflussen den Zustand und die Entwicklung der Nadelholz-Ausleseebäume im Nachwuchs von Plenterwäldern? Welche Folgerungen können daraus für die Nachwuchspflege gezogen werden?

11.6.1 Faktoren mit Einfluss auf Zustand und Entwicklung des Nachwuchses

Die signifikanten Einflussfaktoren wurden mittels logistischer Regression jeweils für alle Datensätze berechnet. Die getrennte Auswertung nach Baumarten ergab z.T. abweichende Ergebnisse. Wegen der zu kleinen Belegung einzelner Felder konnte sie aber nicht durchgehend durchgeführt werden. In Tab. 11.6-1 sind jene Faktoren zusammengestellt, welche den Zustand, in Tab. 11.6-2 jene, welche die Entwicklung der Ausleseebäume im Nachwuchs beeinflussen.

Tab. 11.6-1: Faktoren mit Einfluss auf den Zustand der Nadelholz-Ausleseebäume.

| Zustandsmerkmal | Tabelle | BHD | Baumart | Standort | Beschattung | Überschirm. | Konkurrenz |
|------------------------------|---------|-----|---------|----------|-------------|-------------|------------|
| Schlankheitsgrad > 90 | 6.2-1 | | | * | | | *** |
| rel. Kronenlänge < 60% | 6.3-1 | ** | | | | ** | |
| rel. Lichtkronenlänge < 40% | 6.3-2 | * | (*) | | | | * |
| rel. Kronenschirmfläche < 80 | 6.3-7 | | *** | | | | *** |
| Kronenform = Spitzkrone | 6.3-9 | *** | * | | | (*) | ** |
| Triebblängenquotient > 1 | 6.3-13 | *** | | (*) | | * | |
| Schaftquerschnitt = oval | 6.4-2 | * | | | | | (*) |
| Dürrastbereich > 25% | 6.4-3 | *** | ** | | | | ** |
| astfreie Schaftlänge > 15% | 6.4-4 | ** | *** | | ** | | |
| Astdurchmesser < 2,0 cm | 6.4-7 | *** | * | | | | |
| Astquirdichte > 4 pro m' | 6.4-9 | | (*) | (*) | | * | |

Legende: Signifikanzniveau: *** < 0,1% ** < 1,0% * < 5,0% (*) < 10%

Tab. 11.6-2: Faktoren mit Einfluss auf die Entwicklung der Nadelholz- Ausleseebäume.

| Zuwachsmerkmale | Tab.Nr. | BHD | Kronenl. | Baumart | Standort | Beschattung | Überschirm. | Konkurrenz |
|-----------------|---------|-----|----------|---------|----------|-------------|-------------|------------|
| BHD-Zuwachs | 7.1-1 | *** | | | * | ** | * | * |
| Höhenzuwachs | 7.2-2 | *** | *** | * | ** | | | |

Legende: Kronenl. = Kronenlänge Überschirm. = Überschirmung

Die Baumdimension hat auf fast alle analysierten Zustandsmerkmale einen signifikanten Einfluss, selbst auf jene Merkmale, welche wegen ihrer starken Dimensionsabhängigkeit als Relativwerte dargestellt wurden. Alle Aussagen müssen sich also streng genommen auf BHD-Stufen beziehen. Auch die Baumart weist häufig einen signifikanten Einfluss auf die Merkmale der Baumvitalität und -qualität auf, ebenso wie die Konkurrenz. Im Gegensatz dazu wirken sich Unterschiede in der Standortsgüte auf den Nachwuchs stufiger Bestände kaum aus. Einzig beim Schlankheitsgrad treten standörtliche Unterschiede auf, welche allerdings von der seitlichen Konkurrenz überlagert sind. Der Einfluss des Lichtfaktors auf den Zustand lässt sich über die zwei stellvertretenden Faktoren Beschattung und Überschirmung kaum nachweisen. Viele Arbeiten lassen jedoch einen solchen Einfluss auf Zustand und Entwicklung des Nachwuchses sowohl in stufigen (Safar 1954, Kern 1966, Schütz 1969, Spiecker 1986) als auch in schichtigen Beständen (Johann 1968, Burschel et al. 1985, Weise 1995) erkennen. Mit meinen Daten konnte nur ein Einfluss der Beschattung auf Merkmale nachgewiesen werden, welche mit dem Höhenzuwachs korrelieren. Erstaunlicherweise weist aber die Beschattung keinen direkten Einfluss auf den Höhenzuwachs der Ausleseebäume oder der Aushiebe auf. Vielleicht eignet sich die kummulierte Grundfläche der benachbarten Bäume im Umkreis von rund 10 m nur bedingt als Mass für die Beschattung. Möglicherweise hängt der Höhenzuwachs aber auch stärker von endogenen Faktoren (individuelles Wuchspotential) oder von nicht erfassten exogenen Faktoren (z.B. Wurzelkonkurrenz) ab.

11.6.2 Abhängigkeit der untersuchten Merkmale von der Baumdimension

Kaum eines der untersuchten Merkmale entwickelt sich unabhängig von der Baumgrösse. Die Nachwuchspflege muss deshalb, wie die Jungwaldpflege im gleichförmigen Hochwald, die Dimensionsabhängigkeit von Merkmalen und Prozessen gebührend berücksichtigen. Die Pflege von Nachwuchsgruppen hat sich entsprechend nach der Grösse der Einzelbäume zu richten. Im Gegensatz zu den Vorstellungen der Arbeitsgruppe Jungwaldpflege des Kantons Neuenburg (1996) braucht die Pflege im Plenterwald meines Erachtens nicht alle BHD-Stufen einer stufigen Nachwuchsgruppe zu erfassen, sondern soll sich auf die herrschenden Bäume im Zentrum der Gruppe beschränken, zumindest im Fall der einzelstammweisen Plenterung. Bei der trupp- bis gruppenweisen Plenterung kann die Förderung von randständigen Jungwüchsen sinnvoll sein.

11.6.3 Einfluss des Standortes

Ein Einfluss des Standortes auf Zustandsmerkmale konnte im untersuchten BHD-Bereich nur für den Schlankheitsgrad und für die astfreie Schaftlänge nachgewiesen werden (Tab. 11.6-1). Die Standortsunterschiede wirken sich auch auf den BHD- und den Höhenzuwachs aus (Tab. 11.6-2). Auf den flachgründigeren Standorten weisen die Nachwuchsbäume gegenüber den mittel- bis tiefgründigeren Standorten kleinere Baumhöhen (Abb. 6.2-3), kleinere Schlankheitsgrade (Abb. 6.2-4), kleinere BHD-Zuwächse (Abb. 7.1-5/ 7.1-8), kleinere Höhenzuwächse (Abb. 7.2-4/5 und Abb. 7.2-8/9) und entsprechend grössere Astdichten (Tab. 6.4-8) auf.

Der Einfluss des Standortes auf die Baumhöhe und den Durchmesser- oder Höhenzuwachs wurde bereits mehrfach nachgewiesen (Flury 1933, Prodan 1949, Badoux 1949); allerdings traten die signifikanten Unterschiede erst oberhalb von 20 cm BHD auf. Im Nachwuchsbereich waren die Unterschiede in der Baumhöhe sehr gering bis inexistent: "Auffallend ist die Tatsache, dass die beiden Klassen 8-14 und 16-24 cm in allen Versuchsflächen von der besten zur geringsten Bonität sozusagen die gleichen Mittelhöhen besitzen, ... (Flury 1929, S. 319). Meine geringwüchsigen Flächen sind offenbar nicht immer genügend mit Wasser versorgt, weshalb der Zuwachs bereits bei kleinen Baumdimensionen zurückgeht und die Nachwuchsbäume höhenmässig zurückbleiben. Der Standort weist zusätzlich über die anzustrebende Baumartenzusammensetzung und die daraus abzuleitende optimale Bestandesstruktur einen Einfluss auf die Nachwuchspflege auf (Kap. 11.7).

11.6.4 Unterschiede zwischen Tanne und Fichte und Folgerungen für die Pflege

Tannen und Fichten unterscheiden sich insbesondere bezüglich vertikalem Kronenaufbau und horizontaler Kronenausdehnung: Tannen weisen im Vergleich zu Fichten bei vergleichbarer Dimension (Höhe oder BHD) deutlich grössere Kronenschirmflächen (Abb. 6.3-11), kürzere Schattenkronen (Abb. 6.3-8) und deutlich längere astfreie Schaftlängen auf (Abb. 6.4-7). Da der grösste Teil der photosynthetischen Produktion in der Lichtkrone stattfindet, wirkt sich die leicht kürzere Schattenkrone der Tanne kaum auf die Vitalität aus. Ihre Lichtkrone ist tendenziell grösser als jene der Fichte, und zudem weist sie bei gleichem Durchmesser eine um rund ein Drittel grössere Kronenschirmfläche aus. Die Tanne weist deshalb eine deutlich grössere Lichtkronen-Mantelfläche auf als die Fichte; dies ist für die Photosynthese entscheidend (Magin 1958).

Der im Mittel kürzere Dürrestbereich und die grössere astfreie Schaftlänge wirken sich günstig auf die Holzqualität der Tannen aus. Allerdings hat der berechnete Mittelwert eines Merkmals bei der waldbaulichen Beurteilung der Nachwuchsbäume keinen grossen Einfluss; entscheidend ist die Ausprägung des Merkmals am betrachteten Baum, und gerade die astfreie Schaftlänge streut in einem weiten Bereich (Abb. 6.4-5). Zudem spielen für die Qualitätsbeurteilung die Astdurchmesser und die Astquirdichten eine wichtige Rolle. Die Fichte ist bei gleicher Dimension tendenziell feinastiger als die Tanne (Tab. 6.4-7) und weist etwas weniger Astquirlen zwischen 5 und 10 m Baumhöhe auf (Tab. 6.4-8). Bei der Tanne wachsen aufgrund des langsam verlaufenden Holzabbaus der stark verkienten Dürträge (Dietrich 1973) viele Totäste als Schwarzäste ein und beeinträchtigen dadurch die Schnittholzqualität (von Pechmann und Lippemeier 1975). Insgesamt weist darum die Fichte im Plenterwald, trotz kürzerer astfreier Schaftlänge, die günstigeren Qualitätseigenschaften auf als die Tanne (von Pechmann und Lippemeier 1975).

11.6 Welche Faktoren beeinflussen den Zustand und die Entwicklung der Ausleseebäume im Nachwuchs von Plenterwäldern?

11.6.1 Faktoren mit Einfluss auf Zustand und Entwicklung des Nachwuchses

Die signifikanten Einflussfaktoren wurden mittels logistischer Regression jeweils für alle Datensätze berechnet. Die getrennte Auswertung nach Baumarten ergab z.T. abweichende Ergebnisse. Wegen der zu kleinen Belegung einzelner Felder konnte sie aber nicht durchgehend durchgeführt werden. In Tab. 11.6-1 sind jene Faktoren zusammengestellt, welche den Zustand, in Tab. 11.6-2 jene, welche die Entwicklung der Ausleseebäume im Nachwuchs beeinflussen.

Tab. 11.6-1: Faktoren mit Einfluss auf den Zustand der Nadelholz-Ausleseebäume.

| Zustandsmerkmal | Tabelle | BHD | Baumart | Standort | Beschattung | Überschirm. | Konkurrenz |
|------------------------------|---------|-----|---------|----------|-------------|-------------|------------|
| Schlankheitsgrad > 90 | 6.2-1 | | | * | | | *** |
| rel. Kronenlänge < 60% | 6.3-1 | ** | | | | ** | |
| rel. Lichtkronenlänge < 40% | 6.3-2 | * | (*) | | | | * |
| rel. Kronenschirmfläche < 80 | 6.3-7 | | *** | | | | *** |
| Kronenform = Spitzkrone | 6.3-9 | *** | * | | | (*) | ** |
| Triebflächenquotient > 1 | 6.3-13 | *** | | (*) | | * | |
| Schaftquerschnitt = oval | 6.4-2 | * | | | | | (*) |
| Dürrastbereich > 25% | 6.4-3 | *** | ** | | | | ** |
| astfreie Schaftlänge > 15% | 6.4-4 | ** | *** | ** | | | |
| Astdurchmesser < 2,0 cm | 6.4-7 | *** | * | | | | |
| Astquirdichte > 4 pro m' | 6.4-9 | | (*) | (*) | | * | |

Legende: Signifikanzniveau: *** < 0,1% ** < 1,0% * < 5,0% (*) < 10%

Tab. 11.6-2: Faktoren mit Einfluss auf die Entwicklung der Nadelholz- Ausleseebäume.

| Zuwachsmerkmale | Tab.Nr. | BHD | Kronenl. | Baumart | Standort | Beschattung | Überschirm. | Konkurrenz |
|-----------------|---------|-----|----------|---------|----------|-------------|-------------|------------|
| BHD-Zuwachs | 7.1-1 | *** | | | * | ** | * | * |
| Höhenzuwachs | 7.2-2 | *** | *** | * | ** | | | |

Legende: Kronenl.= Kronenlänge Überschirm.= Überschirmung

Die Baumdimension hat auf fast alle analysierten Zustandsmerkmale einen signifikanten Einfluss, selbst auf jene Merkmale, welche wegen ihrer starken Dimensionsabhängigkeit als Relativwerte dargestellt wurden. Alle Aussagen müssen sich also streng genommen auf BHD-Stufen beziehen. Auch die Baumart weist häufig einen signifikanten Einfluss auf die Merkmale der Baumvitalität und -qualität auf, ebenso wie die Konkurrenz. Im Gegensatz dazu wirken sich Unterschiede in der Standortsgüte auf den Nachwuchs stufiger Bestände kaum aus. Einzig beim Schlankheitsgrad treten standörtliche Unterschiede auf, welche allerdings von der seitlichen Konkurrenz überlagert sind. Der Einfluss des Lichtfaktors auf den Zustand lässt sich über die zwei stellvertretenden Faktoren Beschattung und Überschirmung kaum nachweisen. Viele Arbeiten lassen jedoch einen solchen Einfluss auf Zustand und Entwicklung des Nachwuchses sowohl in stufigen (Safar 1954, Kern 1966, Schütz 1969, Spiecker 1986) als auch in schichtigen Beständen (Johann 1968, Burschel et al. 1985, Weise 1995) erkennen. Mit meinen Daten konnte nur ein Einfluss der Beschattung auf Merkmale nachgewiesen werden, welche mit dem Höhenzuwachs korrelieren. Erstaunlicherweise weist aber die Beschattung keinen direkten Einfluss auf den Höhenzuwachs der Ausleseebäume oder der Aushiebe auf. Vielleicht eignet sich die kummulierte Grundfläche der benachbarten Bäume im Umkreis von rund 10 m nur bedingt als Mass für die Beschattung. Möglicherweise hängt der Höhenzuwachs aber auch stärker von endogenen Faktoren (individuelles Wuchspotential) oder von nicht erfassten exogenen Faktoren (z.B. Wurzelkonkurrenz) ab.

11.6.2 Abhängigkeit der untersuchten Merkmale von der Baumdimension

Kaum eines der untersuchten Merkmale entwickelt sich unabhängig von der Baumgrösse. Die Nachwuchspflege muss deshalb, wie die Jungwaldpflege im gleichförmigen Hochwald, die Dimensionsabhängigkeit von Merkmalen und Prozessen gebührend berücksichtigen. Die Pflege von Nachwuchsgruppen hat sich entsprechend nach der Grösse der Einzelbäume zu richten. Im Gegensatz zu den Vorstellungen der Arbeitsgruppe Jungwaldpflege des Kantons Neuenburg (1996) braucht die Pflege im Plenterwald meines Erachtens nicht alle BHD-Stufen einer stufigen Nachwuchsgruppe zu erfassen, sondern soll sich auf die herrschenden Bäume im Zentrum der Gruppe beschränken, zumindest im Fall der einzelstammweisen Plenterung. Bei der trupp- bis gruppenweisen Plenterung kann die Förderung von randständigen Jungwüchsen sinnvoll sein.

11.6.3 Einfluss des Standortes

Ein Einfluss des Standortes auf Zustandsmerkmale konnte im untersuchten BHD-Bereich nur für den Schlankheitsgrad und für die astfreie Schaftlänge nachgewiesen werden (Tab. 11.6-1). Die Standortsunterschiede wirken sich auch auf den BHD- und den Höhenzuwachs aus (Tab. 11.6-2). Auf den flachgründigeren Standorten weisen die Nachwuchsbäume gegenüber den mittel- bis tiefgründigeren Standorten kleinere Baumhöhen (Abb. 6.2-3), kleinere Schlankheitsgrade (Abb. 6.2-4), kleinere BHD-Zuwächse (Abb. 7.1-5/ 7.1-8), kleinere Höhenzuwächse (Abb. 7.2-4/5 und Abb. 7.2-8/9) und entsprechend grössere Astdichten (Tab. 6.4-8) auf.

Der Einfluss des Standortes auf die Baumhöhe und den Durchmesser- oder Höhenzuwachs wurde bereits mehrfach nachgewiesen (Flury 1933, Prodan 1949, Badoux 1949); allerdings traten die signifikanten Unterschiede erst oberhalb von 20 cm BHD auf. Im Nachwuchsbereich waren die Unterschiede in der Baumhöhe sehr gering bis inexistent: "Auffallend ist die Tatsache, dass die beiden Klassen 8-14 und 16-24 cm in allen Versuchsflächen von der besten zur geringsten Bonität sozusagen die gleichen Mittelhöhen besitzen, ..." (Flury 1929, S. 319). Meine geringwüchsigsten Flächen sind offenbar nicht immer genügend mit Wasser versorgt, weshalb der Zuwachs bereits bei kleinen Baumdimensionen zurückgeht und die Nachwuchsbäume höhenmässig zurückbleiben. Der Standort weist zusätzlich über die anzustrebende Baumartenzusammensetzung und die daraus abzuleitende optimale Bestandesstruktur einen Einfluss auf die Nachwuchspflege auf (Kap. 11.7).

11.6.4 Einfluss der Baumart: Unterschiede zwischen Tanne und Fichte

Tannen und Fichten unterscheiden sich insbesondere bezüglich vertikalem Kronenaufbau und horizontaler Kronenausdehnung: Tannen weisen im Vergleich zu Fichten bei vergleichbarer Dimension (Höhe oder BHD) deutlich grössere Kronenschirmflächen (Abb. 6.3-11), kürzere Schattenkronen (Abb. 6.3-8) und deutlich längere astfreie Schaftlängen auf (Abb. 6.4-7). Da der grösste Teil der photosynthetischen Produktion in der Lichtkrone stattfindet, wirkt sich die leicht kürzere Schattenkrone der Tanne kaum auf die Vitalität aus. Ihre Lichtkrone ist tendenziell grösser als jene der Fichte, und zudem weist sie bei gleichem Durchmesser eine um rund ein Drittel grössere Kronenschirmfläche aus. Die Tanne weist deshalb eine deutlich grössere Lichtkronen-Mantelfläche auf als die Fichte; dies ist für die Photosynthese entscheidend (Magin 1958).

Der im Mittel kürzere Dürrestbereich und die grössere astfreie Schaftlänge wirken sich günstig auf die Holzqualität der Tannen aus. Allerdings hat der berechnete Mittelwert eines Merkmals bei der waldbaulichen Beurteilung der Nachwuchsbäume keinen grossen Einfluss; entscheidend ist die Ausprägung des Merkmals am betrachteten Baum, und gerade die astfreie Schaftlänge streut in einem weiten Bereich (Abb. 6.4-5). Zudem spielen für die Qualitätsbeurteilung die Astdurchmesser und die Astquirlsdichten eine wichtige Rolle. Die Fichte ist bei gleicher Dimension tendenziell feinstiger als die Tanne (Tab. 6.4-7) und weist etwas weniger Astquirlen zwischen 5 und 10 m Baumhöhe auf (Tab. 6.4-8). Bei der Tanne wachsen aufgrund des langsam verlaufenden Holzabbaus der stark verkienten Dürträge (Dietrich 1973) viele Totäste als Schwarzäste ein und beeinträchtigen dadurch die Schnittholzqualität (von Pechmann und Lippemeier 1975). Insgesamt weist darum die Fichte im Plenterwald, trotz kürzerer astfreier Schaftlänge, die günstigeren Qualitätseigenschaften auf als die Tanne (von Pechmann und Lippemeier 1975).

Bezüglich mechanischer Stabilität bestehen keine Unterschiede zwischen Tanne und Fichte. Der Schlankheitsgrad als Mass für die Einzelbaumstabilität weist bei beiden Baumarten ähnliche Werte auf (Abb. 6.2-2), und entsprechend unterscheiden sich die berechneten BHD-Höhenkurven von Tanne und Fichte nicht (Abb. 6.2-8). Der Schlankheitsgrad beider Baumarten kulminiert zwischen 15 und 20 cm BHD. Dies hat einen Einfluss auf die Nachwuchspflege: Eingriffe zur Verbesserung der Stabilität müssen spätestens zu Beginn der Stangenholzstufe durchgeführt werden, um ein Überschreiten des kritischen Schlankheitsgrades auf gutwüchsigen Standorten zu verhindern.

Neben dem Schlankheitsgrad wirken sich die Kronenform, der Höhenzuwachs und Stamm- oder Wurzelfäulen auf die Stabilität aus. Die Kronenform der Fichte ist insgesamt statisch günstiger zu beurteilen als jene der Tanne, weil sie im kritischen Bereich der Stangen (BHD-Stufen 15 und 20) einen grösseren Anteil spitz- und langkroniger Bäume aufweist, auf denen weniger Schnee liegen bleiben kann. Bäume mit grossem Höhenzuwachs und entsprechend langen Internodien weisen nach Möhring (1981) ein grösseres Bruchrisiko auf als solche mit kleinem Zuwachs. Zwischen den Tannen und Fichten gab es keinen Unterschied im Höhenzuwachs der letzten 10 Jahre (Abb. 7.2-2). Trotzdem weisen Tannen einen bedeutend höheren Anteil von ausgewachsenen Wipfelbrüchen auf (Tab. 6.5-1), ohne dass es dafür eine plausible Erklärung gibt. Das Risiko für eine ungenügende zukünftige Stabilität von Nachwuchsbäumen ist bei Fichten, aufgrund der häufig auftretenden Wundfäulen nach Verletzungen durch Holzlücken (Meng 1978) oder Rindenschälen (Roeder 1991), deutlich grösser als bei Tannen oder Buchen (Knigge 1975, Wiebe 1992). Tannen weisen zwar ebenfalls Stammverletzungen auf (Duc 1991, Tab. 8.6-1), vermögen diese aber wirksam abzuschotten (Torrelli et al. 1990), so dass sich Holzfäulepilze selten ausbreiten (Klein 1992). Entsprechend finden sich bei den Tannen unter überwallten Rindenverletzungen kaum Holzfäulen (Tab. 8.6.2).

Einer der grössten Unterschiede zwischen Tanne und Fichte wurde bisher nirgends angesprochen: die deutlich grössere Variabilität der Tanne in der Kronenentwicklung, welche aus meinen Daten aus ihren grösseren Streumassen im Vergleich zur Fichte abgeleitet werden kann (z.B. Tab. 6.1-6). Diese weisen auf die grössere Plastizität der Tanne in der Kronenentwicklung hin. Die Fichte bildet ihre Krone stärker nach einem vorgegebenen, endogen bestimmten Muster aus (Gruber 1990). Ihre Kronenmerkmale weisen deshalb kleinere Streumasse auf, was u.a. grössere Bestimmtheitsmasse in Kronenmodellen (z.B. Tab. 6.3-7) zur Folge hat. Die Fichte ist deshalb für wissenschaftliche Untersuchungen bzw. für die statistische Analyse eine dankbare Baumart, im Gegensatz z.B. zur Buche. Als waldbauliche Folgerung leiten wir daraus ab, dass man der Fichte den für ihre Entwicklung benötigten Raum v.a. vertikal rechtzeitig zur Verfügung stellen muss, um eine befriedigende Kronenausbildung sicherzustellen. Die Tanne ist diesbezüglich toleranter und verlangsamt bei starker direkter Übershirmung das Höhenwachstum zugunsten des lateralen Kronenwachstums (Mitscherlich & Weihe 1952, Safar 1954, Sommer 1962). Dies erklärt auch das häufige Auftreten von schirmartigen Kronen im Nachwuchs von Plenterwäldern.

Der schwach signifikante Einfluss der Baumart auf den Höhenzuwachs (Tab. 7.2-2) resultiert aus der grösseren Vertretung der Tanne in den BHD-Stufen 15 und 20 und auf den guten Standorten. Wenn man Nachwuchsbäume ähnlicher Dimension in vergleichbarer Situation analysiert, unterscheidet sich die Durchmesser- und Höhenentwicklung der Fichten nicht von jener der Tannen (Abb. 7.2-13). Die Standortsunterschiede wirken sich bedeutend stärker auf den Durchmesser- oder Höhenzuwachs aus als die Baumart (Abb. 7.1-3 bis 7.1-8 bzw. Abb. 7.2-5 bis 7.2-10).

Aufgrund der ähnlichen Wuchsdynamik müsste es grundsätzlich möglich sein, Fichten und Tannen einzeln gemischt aufwachsen zu lassen. Allerdings muss dabei der grössere Platzbedarf der Tanne berücksichtigt werden. Aufgrund der durchschnittlich grösseren Schirmfläche (Abb. 6.3-11) können Tannen in Nachwuchsgruppen weniger dicht stehen als Fichten, und ihr Abstand zu den Konkurrenten muss früher bzw. stärker vergrössert werden.

Die Unterschiede in der Entwicklung der Tannen und Fichten im Plenterwald sind also eher gering, was eine einzelstammweise Mischung beider Baumarten zulässt. Aus Gründen der Risikominimierung sollen Tannen und Fichten maximal truppweise entmischt werden.

11.6.5 Einfluss der Beschattung und der Überschirmung

Der Einfluss der Beschattung auf den Zustand der Ausleseebäume ist im Vergleich zu den anderen Faktoren eher gering, jener der Überschirmung inexistent (Tab. 11.5-1). Dagegen weisen sowohl Beschattung als auch direkte Überschirmung einen bedeutenden Einfluss auf den Durchmesser-, zuwachs auf (Tab. 11.5-2). Dies ist im Fall der Beschattung plausibel, weil die kumulierte Grundfläche nicht nur ein Mass für die Beschattung ist, sondern auch für die gesamte, ober- und unterirdische Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe. Die direkte Überschirmung dagegen ist in erster Linie ein Mass für den Genuss von diffusem Licht. Sie hat bei den Ausleseebäumen keinen Einfluss auf den Höhenzuwachs.

Einen signifikanten Einfluss hat die Beschattung auf die relative Kronenlänge: Ausleseebäume mit einer relativen Kronenlänge unter 60% weisen auf einer sie umgebenden Kreisfläche von 3 Aren deutlich häufiger kumulierte Grundflächen von mehr als $1,2 \text{ m}^2$ ($40 \text{ m}^2/\text{ha}$) auf als solche mit einer grösseren Kronenlänge (Tab. 6.3-1). Umgekehrt weisen Ausleseebäume mit einer kumulierten Grundfläche unter $30 \text{ m}^2/\text{ha}$ signifikant häufiger einen grossen BHD-Zuwachs auf (Tab. 7.1-1). Eine starke Beschattung wirkt sich also auf Vitalitätsmerkmale der Nachwuchsbäume negativ aus, eine schwache Beschattung positiv. Ein negativer Einfluss einer schwachen Beschattung auf die Qualitätsmerkmale astfreie Schaftlänge (Tab. 6.4-4) bzw. Astdurchmesser (Tab. 6.4-7) konnte nicht nachgewiesen werden. Eine plötzliche Freistellung von Nachwuchsbäumen wirkt sich aber aufgrund von holztechnologischen Untersuchungen (von Pechmann und Lippemeier 1975) negativ auf die Holzqualität aus. Insgesamt ist also eine nur langsam abnehmende, mittlere Beschattung für die Entwicklung der Nadelbäume im Nachwuchs von Plenterwäldern günstig zu beurteilen und wird deshalb von einigen Autoren empfohlen (z.B. Balsiger 1925, Flury 1933, von Pechmann & Lippemeier 1975).

11.6.6 Einfluss der seitlichen Konkurrenz

Die seitliche Konkurrenz durch Nachwuchsbäume ähnlicher Höhe wirkt sich auf etliche Kronen- (Schirmfläche, relative Lichtkronenlänge, Kronenform) und Schaftmerkmale (Dürrastbereich) aus. Je kleiner die seitliche Konkurrenz, desto langsamer verläuft das Absterben der Äste in der Schattenkrone, desto kürzer ist entsprechend der Dürrastbereich (Tab. 6.4-3) und desto länger ist die Lichtkrone (Tab. 6.3-2). Aber auch der Schlankheitsgrad der Nachwuchsbäume wird durch die seitliche Konkurrenz beeinflusst (Tab. 6.2-1), da sich starke Konkurrenz negativ auf den BHD-Zuwachs, nicht aber auf den Höhenzuwachs auswirkt. Nachwuchsstangen mit mehr als vier direkten Konkurrenten weisen deshalb ab 10 cm BHD einen mittleren Schlankheitsgrad von gegen 100 auf (Abb. 6.2-6). Das heisst, dass rund die Hälfte dieser Stangen einen Schlankheitsgrad von über 100 aufweisen. Solch kritische Werte können z.T. vermieden werden, wenn die Anzahl der direkten Konkurrenten ab ca. 10 cm BHD auf weniger als 3 reduziert wird. Zu starke Freistellung führt allerdings zur Bildung längerer Äste mit grösserem Durchmesser.

Der Einfluss der seitlichen Konkurrenz auf die Höhe der maximalen Kronenbreite und damit auf die Länge der Lichtkrone ist relativ bescheiden (Abb. 6.3-6) und deshalb ohne Bedeutung für die Pflege. Dagegen wirken sich unterschiedliche Konkurrenzsituationen sehr stark auf die Kronenschirmfläche und dadurch auf die für die Photosynthese bedeutende Mantelfläche der Lichtkrone aus. Damit lässt sich erklären, weshalb die seitliche Konkurrenz einen negativen Einfluss auf den BHD-Zuwachs aufweist (Tab. 7.1-1): Ausleseebäume mit grosser Konkurrenz haben kleinere Kronenmantelflächen auf und produzieren deshalb weniger Holz als vergleichbare Ausleseebäume mit kleiner Konkurrenz. Im Nachwuchs von Plenterwäldern ist ein grosser BHD-Zuwachs zwar nicht das Ziel, aber ein Mittel zur Erzielung stabiler Stangen.

Insgesamt stimmen meine Ergebnisse mit jenen von Safar (1954) und Groualle & Minot (1989) darin überein, dass die seitliche Konkurrenz v.a. Kronen- und Schaftmerkmale beeinflusst, jedoch keine Auswirkungen auf den Höhenzuwachs hat. Safar konnte zusätzlich nachweisen, dass der Effekt unterschiedlicher Konkurrenz von ungleichen Altersverteilungen der Bäume überlagert wird, und dass das Baumalter auf die Kronenform und die Astreinigung einen entscheidenden Einfluss hat.

11.7 Welche Rolle spielen die Laubbäume im Nachwuchs?

Die Laubbäume sind im Nachwuchs auf den meisten Untersuchungsflächen zahlreich vertreten (Tab. 4.3-1 und 4.3-2). Die Anzahl der Laubbäume (Abb. 4.3-3) nimmt zwar mit zunehmendem BHD stärker ab als jene der Nadelbäume (Abb. 4.3-2); die BHD-Stufen 5 (Abb. 4.3-4) und 10/ 15 (Abb. 4.3-5) unterscheiden sich aber nicht wesentlich im Anteil der Laubbäume. Dagegen gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den Flächen in Nord- und Südexposition (Tab. 4.3-5); in den BHD-Stufen 5 bis 15 (2,5-17,4 cm) beträgt der Anteil der Laubbäume an der Stammzahl 22 bis 24 % in Nordexposition und rund das Doppelte (46 bis 48%) in Südexposition.

Auch im Kollektiv der Ausleseebäume sind die Laubbäume gut vertreten: ihr Anteil beträgt 17,5% in Nord- und 42,1% in Südexposition (vgl. Tab. 5.1-2 und 5.1-3). Die grösste Bedeutung hat dabei die Buche mit einem Anteil von 13% in Nord- und 28% in Südexposition. Von den übrigen Laubbäumen ist v.a. der Bergahorn mit einem Anteil von 4% relativ häufig vertreten (Tab. 5.1-1). Die Esche (2%) kann sich nur auf etwas tiefgründigeren Standorten gegen die Konkurrenz der andern Baumarten durchsetzen. Alle übrigen Laubbaumarten weisen einen Anteil unter 1% auf.

Im kluppierten Hauptbestand weisen die Laubbäume (v.a. Buche) in vielen Plenterwäldern des Jura nur einen Anteil von wenigen Prozenten bis maximal einem Drittel des Vorrates auf (Tab. 4.2-2). Auffällig sind die grossen Unterschiede zwischen den Expositionen. So wies die nord-exponierte Bewirtschaftungseinheit I in Couvet 1992 einen Laubholzanteil von nur 12% auf, die südexponierte Einheit II dagegen einen solchen von 25% (Tab. 2-7).

Die Rolle der Laubbaumarten im Plenterwald wird unter Berücksichtigung der Grundsätze und Ziele der Waldbewirtschaftung (Kap. 2.9) beurteilt. Das allgemeine Ziel der Waldbewirtschaftung setzt die Erhaltung von Standortsgüte und Biodiversität und eine angepasste Waldbautechnik voraus. Meine Beurteilung erfolgt darum aufgrund ökologischer und waldbaulicher Gesichtspunkte.

Unter den ökologischen Gesichtspunkten sind einerseits die natürliche Vegetation mit ihrer Baumartenzusammensetzung, andererseits die biologische Vielfalt von Bedeutung. Die natürliche Vegetation zwischen 800 und 1000 m ü.M. entspricht in Nordexposition einem Abieti-Fagetum, in Südexposition einem Cardamino-Fagetum (Kap. 2.5). Im Abieti-Fagetum dominiert von Natur aus die Buche zusammen mit der Tanne, im Cardamino-Fagetum die Buche allein. Daneben kämen im Naturwald noch verschiedene Laubbaumarten und die Fichte (Abieti-Fagetum) vor (Tab. 2-3/4). Sowohl im Abieti-Fagetum als auch im Cardamino-Fagetum träte der Bergahorn beigemischt auf. Eschen, Bergulmen, Spitzahorne und Mehlbeeren kämen zwar in einigen Untergesellschaften vor, spielten aber insgesamt für den Aufbau der natürlichen Wälder keine grosse Rolle. Trotzdem weisen sie im jurassischen Wald gewisse Funktionen auf, z.B. als Futterquelle für Bienen oder Vögel. Ihre Förderung ist also zur Erhaltung der biologischen Vielfalt notwendig. Im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit empfehlen Schmider et al. (1993) einen minimalen Laubbaumanteil am Deckungsgrad von 30% im Tannen-Buchenwald und von 50% im Zahnwurz-Buchenwald.

Bei den waldbaulichen Gesichtspunkten sind zwei Fragen von Bedeutung:

Sind die Laubbäume in stufigen Wäldern für die Qualitätsholzproduktion geeignet?

Wie gross ist die Wertleistung von laubholz- im Vergleich zu nadelholzreichen Plenterwäldern?

Die waldbauliche Brauchbarkeit der Laubbäume in Wäldern mit stufiger Strukturen wird unterschiedlich beurteilt. Nach Dannecker (1929) ist der Plenterwald nicht an bestimmte Baumarten oder Mischungen gebunden; er empfiehlt deshalb die Plenterung auch für Laubwaldgebiete. Nach Ammon (1937, S.54) weisen die Buchen in den Plenterwäldern des südlichen Emmentales einen auffallend geradschaftigen Wuchs auf. Landbeck (1952) beurteilt die Qualität der Buchen in den Thüringer Plenterwäldern ebenfalls überaus positiv. Wesentlich ungünstiger beurteilt Mitscherlich (1953/54) die Möglichkeiten der Erziehung von Laubbäumen in stufigen Strukturen. Er nennt dafür drei Gründe: Erstens geht die Krone der Laubbäume nach Freistellung in die Breite, zweitens bilden die jungen Buchen bei anhaltendem Schirmdruck weit ausladende Schattenzweige, welche sich bei späterer Freistellung zu Besenkronen entwickeln, und drittens bringt die zur Erhaltung der Lichtbaumarten nötige gruppen- bis horstweise Behandlung viele grobstige Randbäume hervor. Auch Schütz (1992) weist auf mehrere Probleme bei der Erziehung der Buche hin: Die Buche neigt als sympodiale Baumart häufiger zur Verzweiselung der Schaftachse; sie reinigt sich gut von

Auch Schütz (1992) weist auf mehrere Probleme bei der Erziehung der Buche hin: Die Buche neigt als sympodiale Baumart häufiger zur Verzweiselung der Schaftachse; sie reinigt sich gut von ihren Ästen, bedarf dazu aber einer seitlichen Beschattung; langandauernde Beschattung führt zum Verlust der apikalen Dominanz und damit zu plagiotropem Wuchs; im Einzelwuchs dehnt sie ihre Krone extrem stark aus, so dass sie ineffizient produziert; und schliesslich weisen Buchen, welche lange Zeit im Einzelwuchs standen, eine Neigung zur Klebastbildung auf. Deshalb empfiehlt Schütz (1998) eine bestandesweise Erziehung der Buche. Im Plenterwald der montanen Stufe weist er der Buche eine dienende Funktion mit eher bescheidenen Mischungsanteilen zu (Schütz 1989).

Meine eigenen Ergebnisse zeigen, dass Buchen und Bergahorne eine deutlich grössere astfreie Schaftlänge aufweisen als Tannen und Fichten (Tab. 10.6-2). Wegen des grösseren Anteils schiefer oder krummer Stämme wurden aber nur rund 20% (Buche) bzw. 15% (Ahorn) der Auslesebäume als waldbaulich geeignet beurteilt. Die Möglichkeiten der qualitativen Auslese von Laubbäumen sind deshalb stark eingeschränkt, was das Ziel der Qualitätsholzproduktion in Frage stellt.

Die Wertleistung von laubholzreichen Plenterwäldern im Vergleich zu nadelholzreichen wird mit Hilfe von Modellüberlegungen zur Produktionsökonomie der Baumarten beurteilt. Badoux (1949) untersuchte auf mehreren WSL-Flächen den Wachstumsgang der Baumhöhen, der Durchmesser und des Holzvolumens und setzte diese in Relation zur Schirmfläche und zum Kronenvolumen. Wichtigste Ergebnisse: Buchenkronen nehmen bei gleichem BHD rund doppelt soviel Platz ein wie Nadelbaumkronen. Deshalb brauchen Buchen viermal mehr Platz als Tannen und Fichten, um die gleiche Wuchsleistung zu erbringen. Neuere Berechnungen von Schütz (1998) ergaben ein noch ungünstigeres Verhältnis der heutigen Wertleistung von Buchen und Nadelbäumen.

Zum optimalen Laubholzanteil in montanen Plenterwäldern gibt es unterschiedliche Meinungen. Balsiger (1925) konstatiert, dass die drei bestandesbildenden Baumarten des Plenterwaldes im Emmental häufig ein Mischungsverhältnis von 60 bis 80% Tanne, 20 bis 30% Fichte und etwa 10% Buche aufweisen; "mancherorts wäre die Buche besser vertreten, wenn sie nicht bei den Waldeigentümern unter dem Vorurteil der Minderwertigkeit stünde" (S. 34 unten).

Schaeffer et al. (1930) vertreten aufgrund ihrer Erfahrung mit der Plenterung im französischen Jura die Ansicht, dass der Vorratsanteil der Buche auf guten Standorten 5% nicht überschreiten dürfe, um Probleme mit der Kontrolle ihrer Konkurrenz zu vermeiden. Auf durchschnittlichen Standorten empfehlen sie einen maximalen Laubbaumanteil von 10%, auf schlechten einen Anteil von 15%.

Borel (1933) empfiehlt für einen Plenterwald im Waadtländer Jura einen optimalen Buchenanteil von 25 bis 30%. Schütz (1989) ist wie Schaeffer et al. der Ansicht, "dass Vorratsanteile [der Buche von] über 10% die Schaffung und Erhaltung der Plenterstruktur erschweren" (S. 20).

Die Vorstellungen über den ökonomisch optimalen Laubbaumanteil im Plenterwald differieren scheinbar mit den standortkundlichen Vorstellungen über den nachhaltig minimalen Laubbaumanteil. Ich werde versuchen, diesen vermeintlichen Widerspruch zu klären. Dazu bedarf die Zielvorstellung der Standortskundler noch einer Präzisierung. Der minimale Laubbaumanteil von 30 % bezieht sich nicht auf den Vorrats-, sondern auf den Flächenanteil, d.h. in gleichförmigen Wäldern auf den Deckungsgrad der Oberschicht. In stufigen Wäldern ist der Beschirmungsgrad, d.h. die Summe der Kronenprojektion aller kluppierten Bäume, für die Bestimmung des Flächenanteils der Baumarten massgebend. Die modellmässige Berechnung der Summe und des Anteils der Kronenschirmfläche der Laubbäume von je einer Abteilung in Nord- (Couvét, Serie I, Abt. 14) bzw. in Südexposition (Couvét, Serie II, Abt. 13) ergab folgendes (Tab. A.11.7-1/4 im Anhang): In der nordexponierten Abteilung 14 entspricht der Vorratsanteil der Laubbäume von 6% einem Anteil der Basalfläche von 7%, der Stammzahl von 17% und des Kronenschirmes von 21%. In der südexponierten Abteilung 13 entspricht der Vorratsanteil der Laubbäume von 24% einem Anteil der Basalfläche von 27%, der Stammzahl von 38% und des Kronenschirmes von 52%.

Die Anforderungen an den minimal notwendigen Laubbaumanteil werden also im Abieti-Fagetum mit rund 10 bis 15%, im Cardamino-Fagetum mit rund 25 bis 30% des Vorrates erfüllt. Übereinstimmend gibt Richard (1965) für das Gebiet des Chaumont (Kt. Neuenburg) den maximalen Nadelbaumanteil am Vorrat im Fagetum typicum mit 70%, im Abieti-Fagetum mit 80 bis 90% an.

Die folgenden Angaben zur empfohlenen Baumartenzusammensetzung sind als Richtgrössen zu verstehen und gelten für Plenterwälder zwischen 800 und 1000 m ü.M. auf basenreichem Untergrund, mit ozeanisch getöntem, winterkaltem Klima, wie es für den Schweizer Jura typisch ist.

In Nordexposition, auf Standorten des *Abieti-Fagetum typicum*, bestimmen heute die Baumarten Tanne (50-70 Vorrats-%), Fichte (20-40%) und Buche (5-15%) den Aufbau des Plenterwaldes. Der Vorratsanteil der Laubbäume ist innerhalb der letzten hundert Jahre von knapp 1% auf rund 10% angestiegen. Meist handelt es sich dabei um die schattentolerante und konkurrenzstarke Buche.

Zusätzlich kommen Bergahorne, Linden, Ulmen und in feuchteren Mulden auch Eschen vor. Auf den kleinflächig vorkommenden besten Standorten (Subassoz. *petasitetosum*), in Mittelhang- bis Hangfusslagen auf mergeligen und zur Verbraunung neigenden Böden, weist die Tanne die beste Anpassung an die hohen Vorräte als auch die grösste Wuchsleistung (Badoux 1949) auf. Ich empfehle deshalb eine einzelstamm- bis truppweise Plenterung mit rund 65 bis 75% Tanne, 20 bis 30% Fichte und 5 bis 10% Laubbäumen, insbesondere Buchen und Bergahorne.

Auf den grossflächig vorkommenden mittleren bis guten Standorten (Subassoz. *festucetosum*) am mässig geneigten Mittelhang auf Rendzinaböden ist die Überlegenheit der Tanne gegenüber der Fichte weniger ausgeprägt, und die Laubbäume weisen eine recht grosse Konkurrenzkraft auf. Es wird eine einzelstamm- bis truppweise Plenterung mit rund 60% Tannen, 30% Fichten und 10% Laubbäumen (Buche, Bergahorn) empfohlen.

Auf den schlechteren Standorten (Subassoz. *valerianetosum* oder auf Blockschutt wie unterhalb des Creux du Van), ist die Qualität der Nadelbäume mässig und die Konkurrenzkraft der Buche ausserordentlich gross. Dort ist es sinnvoll, trupp- bis gruppenweise zu plentern und einen Anteil der Baumarten von 50% Tanne, 25% Fichte und 25% Laubbäume (v.a. Buche) anzustreben.

In Südexposition, auf Standorten des *Cardamino-Fagetums*, bestimmen momentan noch die Baumarten Tanne (42%), Fichte (33%) und Buche (25%) den Aufbau des Waldes (Tab. 2.7). Allerdings hat der Fichtenanteil in den letzten hundert Jahren kontinuierlich von 59% auf 33% des Vorrates ab- und der Laubbaumanteil von 12 auf rund 25% zugenommen. Die Fichte erhält in Südexposition nicht mehr genügend Nachschub, um ihren grossen Vorratsanteil zu erhalten. Das ist mindestens teilweise auf den kompletten Ausfall der Fichten im Nachwuchs (Nagel 1950) als Folge der Trockenperioden 1947/1949 zurückzuführen. Die stufige Bestandesstruktur begünstigt in Südexposition das Eindringen von diffusem und direktem Licht in den Bestand. Dies erlaubt auch lichtbedürftigeren Baumarten genügend gute Aufwuchsbedingungen. Deshalb erweitert sich dort die Palette der ökologisch möglichen und waldbaulich sinnvollen Baumarten. Aufgrund ihres Vorkommens im Kollektiv der Ausleseebäume und der Ergebnisse der Kontrollmethode kann insbesondere mit einer bedeutenden Beimischung des Bergahorns gerechnet werden. Daneben treten auch Spitzahorne, Eschen, Linden und Ulmen auf. Diese Baumarten ertragen in der Jugend relativ viel Schatten, so dass sie im Halbschatten von stufigen Beständen aufwachsen können. Damit sie von der konkurrenzkräftigeren Buche nicht verdrängt werden, sollten die übrigen Laubbäume allerdings in kleinen Gruppen aufwachsen können. Das schliesst eine einzelstammweise Plenterung aus und verlangt nach waldbaulichen Verfahren, welche genügend Licht in den Bestand bringen. Dafür kommen die gruppenweise Plenterung, der räumlich geordnete Femelhieb oder mögliche Kombinationen dieser Betriebsformen in Frage.

Auf den besseren Standorten (Subassoziation *typicum* und *elymetosum*) ist die Tanne im Naturwald recht häufig (Tab. 2.4) und profitiert dort von stufigen Bestandesstrukturen. Allerdings weisen die Nadelbäume aufgrund der grösseren Astigkeit eine kleinere Wertleistung auf als am Nordhang. Deshalb ist dort eine mehr gruppenweise Plenterung mit einer Zusammensetzung von je 30 bis 40% Tanne und Buche, 20% übrigen Laubbäumen und 10% Fichte anzustreben.

Auf den schlechteren Standorten an Steilhängen (Subassoz. *dentarietosum*) ist der Boden noch nicht vollständig konsolidiert, was für Tannen und Fichten ungünstig ist. Dort wird ein Vorratsanteil von rund 40% Buche, 40% übrigen Laubbäumen und 20% Tannen/ Föhren empfohlen.

Auf den schlechteren, sehr durchlässigen Standorten (Subassoz. *melittetosum*) ist die Dürregefahr grösser, was sich v.a. für Fichten, aber auch für Tannen ungünstig auswirkt. Dort ist ein Vorratsanteil von 40% Buche, 20% übrigen Laubbäumen, 20% Tannen und 20% Föhren zu empfehlen.

11.8 Ist die frühzeitige positive Auslese im Nachwuchs zielführend?

Diese Frage lässt sich mit meinem Datenmaterial aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraumes nicht eindeutig beantworten. Von der Beantwortung dieser Frage hängt aber die Ableitung eines optimalen Konzeptes für die Nachwuchspflege im Plenterwald ab. Ich habe deshalb versucht, aufgrund von Ergebnissen anderer Untersuchungen eine provisorische Antwort zu geben.

Die obige Frage wurde dazu in zwei Teilfragen aufgeteilt:

a) Ist die positive Auslese geeignet, um die angestrebten Ziele im Plenterwald zu erreichen?

b) Ist die frühzeitige positive Auslese im Nachwuchs von Plenterwäldern effizient?

a) Die Wirkung der positiven Auslese besteht im gleichförmigen Hochwald in erster Linie darin, das Angebot an primären Produktionsfaktoren (Licht, Wasser, Nährstoffe) auf eine optimale Zahl von qualitativ hochwertigen und stabilen Bäumen zu konzentrieren (Burschel und Huss 1987).

Im Plenterwald konkurrieren Bäume aller Höhenklassen miteinander um die Produktionsfaktoren. Die Wirkung einer positiven Auslese in Nachwuchsgruppen ist deshalb im Plenterwald kleiner als im gleichförmigen Hochwald. Trotzdem ist die Auslese ein wichtiges Kriterium für die Auswahl der hiebsreifen Bäume im Plenterwald (Leibundgut 1978). Die Auslese von Bäumen erfolgt dabei in allen Durchmesserstufen (Gauchat 1968). Nach Leibundgut (1978) "sollte auch im Plenterwald von der Stangenholzstufe an eine positive Auslese erfolgen. Dies wird umso eher möglich, je mehr Individuen in derselben Schicht geschart sind, also trupp- oder gruppenförmig auftreten." Nach Schütz (1989) wird eine Auslese im wesentlichen in den Stangengruppen vorgenommen und muss genügend früh erfolgen, damit durch Kronenausformung eine gute Stabilität erreicht werden kann. Dabei hat die positive Auslese Vorrang vor der negativen, da Kriterien wie Schaftform, Vitalität und Aufstiegschancen im Vordergrund stehen.

Die positive Auslese, d.h. die Auswahl von Ausleseebäumen und ihre Förderung durch Entfernung von Konkurrenten, soll also in erster Linie Stabilität und Vitalität der Ausleseebäume verbessern, ohne die Qualität zu beeinträchtigen. Trägt die Reduktion von Konkurrenten im Nachwuchs entscheidend zur Verbesserung der Stabilität und Vitalität von Einzelbäumen bei? Aufgrund meiner Ergebnisse weisen Nadelbaumstangen mit mittlerer bis grosser Konkurrenz (3 oder mehr direkte Konkurrenten) tatsächlich einen grösseren Schlankheitsgrad (Abb. 6.2-6) und eine kürzere Krone (Tab. 6.3-1) auf als nicht oder nur schwach konkurrenzierte Stangen. Die maximale Kronenbreite als auch der unterste Grünastquirl sind bei Stangen mit fehlender oder kleiner Konkurrenz tiefer angesetzt (Abb. 6.3-6), so dass diese Bäume eine längere Licht- und Gesamtkrone aufweisen. Dagegen weist die Konkurrenz keinen signifikanten Einfluss auf die Qualität auf, weder auf die astfreie Schaftlänge (Tab. 6.4-4) noch auf die Aststärke (Tab. 6.4-6). Eine frühzeitige Reduktion der direkten Zahl der Konkurrenten fördert also bei den Nadelbäumen Stabilität und Vitalität, ohne die Qualität zu beeinträchtigen. Somit ist die positive Auslese und anschliessende Förderung der ausgewählten Bäume zur Erreichung der Pflegeziele geeignet. In Stangengruppen von Nadelbäumen wird sie zur Sicherstellung einer genügenden Vitalität und Stabilität gar als notwendig erachtet. Bei den Laubbäumen ist der Effekt der positiven Auslese auf die Holzqualität aufgrund der grossen phänotypischen Variation im Allgemeinen grösser als bei den Nadelbäumen. Rund ein Drittel der ausgewählten Bergahorne wurden wegen schlechter Stabilität oder unsymmetrischer Krone waldbaulich als ungeeignet beurteilt (Tab. 6.8-4); daraus kann geschlossen werden, dass eine frühzeitig einsetzende positive Auslese und Förderung den Anteil stabiler und vitaler Bergahorne markant erhöhen würde. Auf die grosse Bedeutung der positiven Auslese für die Erzielung von Buchen-Nutzholz haben u.a. Leibundgut et al. (1971) und Bürgi & Zingg (1998) hingewiesen. Die positive Auslese von qualitativ guten Bäumen in allen Höhenklassen und ihre Förderung ist ein charakteristisches Merkmal von Plentereingriffen. Im Nachwuchs trägt sie dazu bei, dass ausgewählte Stangen eine lange Krone entwickeln und eine gute Stabilität behalten können. Im Schwachholz (17,5-32,4 cm BHD) sorgt die positive Auslese dafür, dass nur Bäume mit hervorragender Holzqualität in die oberste Höhenklasse einwachsen, dort ihre Krone ausbreiten und wervolle Stämme grosser Dimension entwickeln können. Die positive Auslese trägt also im Plenterwald dazu bei, dass die Ziele der Qualitätsholzproduktion sicherer erreicht werden.

b) Ist die frühzeitige positive Auslese im Nachwuchs von Plenterwäldern effizient?

Diese Frage kann ich nicht schlüssig beantworten, weil der langfristige Erfolg der frühzeitigen Auswahl und Förderung von Ausleseebäumen in Wäldern mit stufigen Strukturen bisher nicht wissenschaftlich untersucht wurde. Deshalb habe ich versucht, mit Hilfe der Literatur über gleichförmige Hochwälder und der Analyse der langfristigen Entwicklung von Nachwuchsbaumen auf Versuchsflächen der WSL in Plenterwäldern eine provisorische Antwort darauf zu finden.

Der Erfolg einer frühzeitigen, definitiven Auslese im gleichförmigen Hochwald wird von Schober (1988, 1990) in Frage gestellt, mit dem Hinweis auf das von mehreren Autoren (z.B. Merkel 1976, 1978) nachgewiesene negative Umsetzen von herrschenden Baumindividuen. Abetz (1989) und Klädtke (1990) halten dem entgegen, dass negative Umsetzungen vorwiegend auf ungünstige Veränderungen der Konkurrenzsituation zurückzuführen sind und nicht auf endogene Faktoren. Das Umsetzen sei also nichts anderes als die natürliche Reaktion des Baumes auf seine Umwelt, und diese könne durch die Forstleute optimal gestaltet werden. Der Einfluss des endogen bestimmten Wuchspotentials der Bäume auf das Umsetzen kann heute noch nicht quantifiziert werden. Aufgrund der natürlichen Variation aller biologischen Merkmale ist aber von einem solchen Einfluss auszugehen.

Die kontroverse Diskussion um die Z-Baummethode und um die Bedeutung des Umsetzens von Waldbäumen im gleichförmigen Hochwald zeigt, dass die eingangs gestellte Frage schwierig zu beantworten ist. Im Plenterwald haben wir es nicht mit zwei, sondern mit drei Dimensionen zu tun, so dass die Umgebungsbedingungen und ihre Veränderungen wesentlich vielfältiger sind als im gleichförmigen Wald. Zudem fehlen wissenschaftliche Ergebnisse oder praktische Erfahrungen bezüglich Entwicklung von frühzeitig ausgewählten Ausleseebäumen in Beständen mit stufiger Struktur. Abetz (1995) postuliert zwar die Eignung der Z-Baummethode im Plenterwald, kann dies aber nur ungenügend mit Daten belegen. Deshalb wurde auf die Ergebnisse langjähriger ertragskundlicher Versuchsflächen der WSL zurückgegriffen. Die Analyse der zeitlichen Entwicklung der Nachwuchsbaume erfolgte mit Hilfe des Datenmaterials aus der Versuchsfläche 02-035 in Buttes. Aus den Ergebnissen (Duc und Zingg) lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen: Erstens kann sich nur ein kleiner Teil der Nachwuchsbaume über einen längeren Zeitraum erhalten und zu stattlichen Dimensionen entwickeln. Innerhalb von rund 80 Jahren reduziert sich die Zahl der ehemaligen Nachwuchsbaume bei allen Baumarten um rund 80%. Bei zufälliger Auswahl der Auslesebaume bestünde also eine Überlebenswahrscheinlichkeit von rund 15% in 100 Jahren. Zweitens haben gutwüchsige Nachwuchsbaume, unabhängig vom Anfangsdurchmesser, grössere Überlebenschancen und bessere Entwicklungsmöglichkeiten als ihre schlechterwüchsigen Nachbarn. Von den ehemals langsamwüchsigen Nachwuchsbaumen sind nach 80 Jahren nur noch 19% vorhanden, von den gutwüchsigen dagegen noch ein Drittel. Vor allem langsamwüchsige Fichten-Nachwüchse haben Mühe, sich zu behaupten. Dagegen können sich im Nachwuchs gutwüchsige Fichten und Buchen in 40% der Fälle erhalten. Der Durchmesserzuwachs im Nachwuchs hat also eine grosse Bedeutung für das Überleben und die weitere Entwicklung der Nachwuchsbaume. Drittens nimmt der Anteil der Auslesebaume innerhalb der ehemaligen Nachwuchsbaume im Verlauf der Zeit zu. Durch die positive Auslese verbleiben nur die qualitativ besten Bäume im Bestand, so dass das Mittel- und insbesondere das Starkholz zu einem grossen Teil aus qualitativ guten, vitalen Ausleseebäumen besteht, worauf bereits Leibundgut (1972) hingewiesen hat. Viertens nimmt der Durchmesser der verbleibenden Bäume insgesamt relativ langsam zu. Wenn als Minimalziel der Holzproduktion im Plenterwald ein Durchmesser von 60 cm bei Nadelbäumen und ein solcher von 50 bei den Laubbäumen verlangt wird, dann haben im Verlauf von 86 Jahren nur gerade 4 Tannen und eine Fichte aus dem Nachwuchs von 1913 das Produktionsziel erreicht. Im Vergleich zum gleichförmigen Hochwald ist es also im Plenterwald wesentlich unsicherer, ob ein einmal ausgewählter und geförderter Baum des Unterstandes sich zu einem mächtigen Baum des Oberstandes entwickelt. Dies hängt entscheidend von der Wuchskraft des Nachwuchsbaumes und von der weiteren Entwicklung seiner Nachbarbaume im Oberstand ab. Deshalb wird die positive Auslese nur für vitale Nachwuchsbaume oder Nachwuchsgruppen empfohlen, welche weder überschirmt sind noch im Traufbereich eines grösseren Baumes stehen.

11.9 Ist Wertastung der Nachwuchsstangen nötig und sinnvoll?

Nach Schütz (1990) ist die Astigkeit, neben der Geradschaftigkeit, das wichtigste Merkmal zur Beurteilung der Holzqualität. Grün einwachsende Äste beeinflussen die statischen Eigenschaften und wirken sich deshalb negativ auf die Festigkeitssortierung aus (Meierhofer und Michel 1986). Einwachsende Dürnräste bilden später unschöne Ausfallstellen und wirken sich auf die Sortierung sowohl nach Festigkeit als auch nach Erscheinung negativ aus. Aufgrund einer Untersuchung über die Schnittholzqualität von Tannen- und Fichtenholz aus Plenterwäldern bestätigen von Pechmann und Lippemeier (1975), dass alle übrigen Holzfehler weit weniger bedeutend sind als die Astigkeit. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die natürliche Astreinigung der Nadelbäume (Dietrich 1973, Köster 1935) im Vergleich zu den Laubbäumen sehr langsam verläuft und häufig erst nach Jahrzehnten abgeschlossen ist. Nach Dietrich sind die Totaststummel der Tanne so stark verkient, dass sie von Pilzen lange Zeit kaum abgebaut werden und daher als Schwarzäste einwachsen. Deshalb erstaunt es nicht, dass die Ausleseebäume mit 10 bis 20 cm BHD meist astfreie Schaftlängen von weniger als 2 (Fichte) bzw. 3 m (Tanne) aufweisen (Abb. 6.4-4). Die relative Länge des astfreien Schaftes weist keinen Zusammenhang zur seitlichen Konkurrenz auf. Starke seitliche Konkurrenz führt zwar zu einem rascheren Absterben der Schattenkrone. Weil die abgestorbenen Äste danach aber noch lange am Stamm verbleiben, weisen Ausleseebäume mit starker seitlicher Konkurrenz inen längeren Dürrastbereich auf als Bäume mit schwacher Konkurrenz (Tab. 6.4.3).

Safar (1954) stellte in kroatischen Plenterwäldern fest, dass die Tannenstangen von 4 bis 5 m Höhe im Einzelstand eine grössere astfreie Schaftlänge aufwiesen als im Gruppenstand. Eine Analyse unter Berücksichtigung des Faktors Zeit bzw. Baumalter ergab, dass die astreine Schaftlänge in erster Linie vom Alter der Nachwuchsstangen abhängt. Jahrzehntelang unterdrückte Stangen können sich auf 30 bis 40% ihrer Schaftlänge natürlich von ihren abgestorbenen Ästen reinigen. Ab einer Baumhöhe von 12 m verläuft die Entwicklung der Baumhöhen von Tannen und Fichten gleichmässig und zeitabhängig (Sommer 1962). Bis dahin kann mit einer astfreien Schaftlänge von maximal 5 m (40%) gerechnet werden. Um das minimale Ziel eines 8 bis 10 m langen, astfreien Schaftes zu Beginn des Schwachholzes zu erreichen, ist in jedem Fall eine Wertastung nötig. Die Wertastung der Nachwuchsstangen von Plenterwäldern wurde von Biolley (1901) empfohlen. Im gleichen Sinne äusserten sich später Staeger (1928), Köstler (1956), Mitscherlich (1961), von Pechmann und Lippemeier (1975) und Valdenaire (1994). Dagegen empfahlen von Aufsess (1934) und Mayer-Wegelin (1937) die Wertastung nur für Nadelbäume in einschichtigen Hochwäldern. Schütz (1989) attestiert den Nadelbäumen im Plenterwald eine geringe Astigkeit. Deshalb hält er eine Wertastung der Nachwuchsstangen in den nordexponierten Plenterwäldern nicht für nötig, in den Südexponierten dagegen schon (mündl. Mitt.).

Aufgrund meiner Ergebnisse (Kap. 6.4) ist das Ziel eines 8 bis 10 m langen Schaftes beim Einwuchs in das Schwachholzes kaum ohne Wertastung möglich. Allerdings ist die Wertastung im Plenterwald mit einem grösseren Risiko verbunden, weil die Ausfälle von Ausleseebäumen, aufgrund der Eingriffe im kluppierten Hauptbestand, im Nachwuchs von Plenterwäldern vermutlich grösser sind als in gleichförmigen Stangenhölzern (Kap. 11.8). Im Val-de-Travers wurde die Wertastung anfang der 90er Jahre ziemlich systematisch durchgeführt und anlässlich der Jungwaldpflegekurse in den Jahren 1991 und 1992 an die Forstware vermittelt. Sie wird aber mittlerweile von offizieller Seite nur noch bedingt empfohlen (Arbeitsgruppe "Jungwaldpflege" 1996).

Die Wertastung wurde von Staeger (1928) und Köstler (1956) noch als Dürrastung empfohlen. Zahlreiche Untersuchungen wiesen unterdessen nach, dass sich sachgemäss ausgeführte Grünastungen nicht negativ auf die Holzqualität auswirken (z.B. von Aufsess 1975, Lenz et al. 1991). Seither wird, insbesondere für den gleichförmigen Hochwald (z.B. Polge 1969), aber auch für den Plenterwald (Valdenaire 1994), eine Grünastung bis auf eine Höhe von 5 bis 10 m empfohlen. Da sich die Wunden von Ästen mit weniger als 2 cm Durchmesser wesentlich besser schliessen (Schütz 1990), sollte die Wertastung im Plenterwald möglichst bei Bäumen mit einem BHD zwischen 10 und 15 cm durchgeführt werden. Bei solchen Baumdimensionen (Baumhöhe ca. 9 bis 12 m) ist eine Wertastung bis 10 m nicht möglich. Deshalb wird, übereinstimmend mit Valdenaire (1994), eine Wertastung vom Boden aus bis auf eine Schafthöhe von rund 5 m empfohlen.

12 Konzept für die Nachwuchspflege im Plenterwald

12.1 Ziel der Nachwuchspflege

Das Ziel der Nachwuchspflege muss sich grundsätzlich am Ziel der Waldpflege orientieren. Das Ziel der Waldpflege besteht darin, die Wälder so zu bewirtschaften, dass sie die vielfältigen Ansprüche an den Wald (Schutz vor Naturgefahren, Holzproduktion, Erholung, Erhaltung der Biodiversität) nachhaltig erfüllen. Dieses Ziel lässt sich durch einen naturnahen Waldbau in gesunden, stabilen, qualitativ wertvollen und strukturreichen Wäldern erreichen (Kap. 2.9). Das Ziel der Bewirtschaftung von Plenterwäldern besteht zusätzlich darin, die kleinflächig stufige Bestandesstruktur dauernd zu erhalten, weil sie ökonomische und ökologische Vorteile aufweist. Die stufige Struktur des Plenterwaldes lässt sich nach Schütz (1975, 1989) nur erhalten, wenn die einwachsenden Nachwuchsbäume natürliche Abgänge und forstliche Entnahmen auszugleichen vermögen. Die Einwüchse sollten aus stabilen, vitalen und qualitativ wertvollen Stangen bestehen, um eine genügende Basis für die dauernde Qualitätsauslese im kluppierten Bestand zu bilden. Das Ziel der Nachwuchspflege im Plenterwald besteht also hauptsächlich darin, innerhalb des Nachwuchses stabile, vitale und qualitativ gute Bäume der zielkonformen Baumarten herauszuarbeiten, um die genutzten Bäume durch waldbaulich wertvolle Einwüchse ersetzen zu können. Die nachhaltig genügende Anzahl von Einwüchsen orientiert sich am Gleichgewichtsmodell für den Plenterwald. Bei Gleichgewichtsvorräten zwischen 260 und 360 sv/ha erachtet Schütz (1975) den Einwuchs von 4 bis 5 Stangen pro ha und Jahr als genügend. Ein weiteres Ziel ist die Erhaltung der Baumarten Tanne, Fichte und Buche in angemessener, an der potentiell natürlichen Waldgesellschaft orientierter Vertretung. Im Nachwuchs von Plenterwäldern der montanen Stufe im Jura sind folgende Vorratsanteile angemessen (vgl. Kap. 11.6):

- In Nordexposition 40 bis 60% Tanne, 20 bis 40% Fichte, 10 bis 20% Buche, 0 bis 10% übrige Laubbäume, mit einem Anteil von 70 bis 90% Nadelbäumen und 10 bis 30% Laubbäumen.
- In Südexposition 30 bis 50% Tanne, 20 bis 40% Buche, 10 bis 20% Fichte, 10 bis 20% übrige Laubbäume, mit einem Anteil von 50 bis 60% Nadelbäumen und 40 bis 50% Laubbäumen.

Ein drittes Ziel ist die Erhaltung der Biodiversität, d.h. die Erhaltung seltener oder ökologisch wertvoller Baumarten. Darunter fallen im Untersuchungsgebiet insbesondere Spitz- und Feldahorn, Sommerlinde, Bergulme und alle Sorbusarten.

12.2 Besonderheiten des Nachwuchses von Plenterwäldern

Der Nachwuchs von Plenterwäldern weist im Vergleich zum Jungwald von gleichförmigen Hochwäldern die folgenden Besonderheiten auf:

- Der Nachwuchs kommt meist nicht flächendeckend vor, sondern klumpig bis einzeln in unregelmässiger Verteilung (Kap. 4.3.1 und 4.3.5, Abb. 4-6 und Tab. 4.3-8/9).
- Die Nachwuchsdichte ist wesentlich kleiner als in gleichförmigen Jungwäldern (Tab. 4.3-1 bis 4.3-5, Abb. 4-7/ 4-8): im Nachwuchs ab 2,5 cm BHD beträgt die Stammzahl in der Regel weniger als 1000 Stück pro ha (Abb. 4-11).
- Die Baumkollektive im Nachwuchs sind maximal 500 m² gross (Abb. 4-12) und enthalten häufig Bäume unterschiedlicher Grösse: im Zentrum z.T. bereits Stangen (BHD > 10 cm), anschliessend Gerten bzw. Stickel und am Rand der Lücken, häufig bereits unter dem Schirm angrenzender Bäume, Jungpflanzen (vgl. Skizze Kt. Neuenburg, Abb.A 12.1 im Anhang).
- Die drei Hauptbaumarten Tanne, Fichte und Buche sind in wechselnden Anteilen mit total über 90% der Stammzahl am Nachwuchs beteiligt (Tab. 4.3-1 und 4.3-2). Unterhalb von 2,5 cm BHD dominieren die Laubbäume, oberhalb zunehmend die Nadelbäume (Abb. 4-7/ 4-8).
- Der Nachwuchs ist durch Überschirmung (Kap. 6.1.2), seitliche Konkurrenz (Kap. 6.1.3) und Wurzelkonkurrenz eher schlecht mit Licht, Wasser und Nährstoffen versorgt. Die Tannen im Bereich 0 bis 12,4cm BHD machen darum teilweise einen kümmerlichen Eindruck (Kap. 4.3.7).
- Das Aufwachsen der Nachwuchsbäume im Halbschatten führt zu einem langsamen Höhenzuwachs (Kap. 7.2 und 9.2) und einer natürlichen Entmischung zugunsten der schattentoleranten Baumarten, insbesondere der Tanne (Abb. 4-9 / 4-10).

12.3 Massnahmen der Nachwuchspflege

12.3.1 Bedeutung der einzelnen Massnahmen

Die Bedeutung der einzelnen Massnahmen ändert mit der Baumdimension (Tab. 5.2-10) und unterscheidet sich zwischen Laub- und Nadelbäumen (Abb. 5.2-8). Allgemein verlagert sie sich mit zunehmendem BHD von den Schutzmassnahmen über die Massnahmen zur Gestaltung der zukünftigen Bestockung (Mischungsregelung) und der Umgebungsbedingungen (Erziehung) hin zu den Massnahmen zur qualitativen Verbesserung der Nachwuchsgruppen (negative Auslese) und der Nachwuchsbäume (positive Auslese, Tab. 12.3-1/2).

Tab. 12.3-1: Bedeutung der Massnahmen der Nachwuchspflege bei den Nadelbäumen

| Pflegemassnahme | Jungwuchs | BHD-Stufe 0 | BHD-Stufe 5 | BHD-Stufe 10 | BHD-Stufe 15 |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Schutz | ++ (Ta) | + (Ta) | o | — | — |
| Mischungsregelung | + | ++ | + | — | — |
| Erziehung (LDR) | o | + | ++ | + | o |
| negative Auslese | — | + | + | — | — |
| positive Auslese | — | — | o | ++ | ++ |
| Nachwuchsförderung | — | — | o | o | + |
| Wertastung | — | — | — | + | ++ |

Legende: ++ sehr wichtig + wichtig o wenig wichtig — unbedeutend — unnötig

Tab. 12.3-2: Bedeutung der Massnahmen der Nachwuchspflege bei den Laubbäumen

| Pflegemassnahme | Jungwuchs | BHD-Stufe 0 | BHD-Stufe 5 | BHD-Stufe 10 | BHD-Stufe 15 |
|--------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Schutz | ++ | + | o | — | — |
| Mischungsregelung | + | ++ | + | — | — |
| Erziehung (LDR) | o | + | ++ | + | o |
| negative Auslese | — | o | + | o | — |
| positive Auslese | — | — | o | + | ++ |
| Nachwuchsförderung | o | o | o | + | + |
| Kronenschnitt | — | — | o | — | — |

12.3.2 Schutzmassnahmen

Direkte Schutzmassnahmen werden bei der Nachwuchspflege im Plenterwald selten ergriffen:

Einerseits ist die Krautkonkurrenz relativ klein, so dass sich Massnahmen zur Förderung des Anwuchses erübrigen. Andererseits erfolgt die Verjüngung im Plenterwald auf der ganzen Fläche zerstreut, so dass Schutzmassnahmen gegen das Wild kaum effizient durchführbar sind. Bei Verjüngungsproblemen infolge grosser Verbissbelastung werden trotzdem gezielte Massnahmen zum Schutz einzelner Baumarten empfohlen (Duc 1991). Insbesondere Tannen, Bergahorne und Eschen werden vom Wild relativ stark angegangen (Zinggeler et.al., in Brassel & Brändli 1999). Nach der Nachwuchsinventur im Val-de-Travers waren Eschen und übrigen Laubbäume im Plenterwald mit einem Verbissprozent von über 40% im Forstjahr 1990/91 untragbar stark verbissen (Schneider 1994). Die Tanne dagegen wies kleine Verbissprozent deutlich unterhalb der kritischen Verbissbelastung nach Eiberle & Nigg (1984, 1987) auf. Allerdings weist Schneider darauf hin, dass verschiedene Verbissinventuren in den achtziger Jahren in den Plenterwäldern von Couvet und Boveresse wesentlich höhere Verbiss-prozente (14 bis 75%) für die Tanne ergeben hatten. Daraus lässt sich ableiten, dass zur Erhaltung gewisser Baumarten im Plenterwald allenfalls Schutzmassnahmen nötig sind.

Diese Massnahmen können sowohl prophylaktisch (Reduktion der Rehwildbestände, Verbesserung des Äsungsangebotes), als auch direkt (Einzelschutz von Tannen in der Anwuchs- und Aufwuchsphase, Einzäunung kleinflächiger Edellaubholz-Verjüngungen) erfolgen.

12.3.3 Mischungsregelung

Die Mischungsregelung ist die wichtigste Massnahme zur Gestaltung der künftigen Bestockung. Auf den untersuchten skelettreichen Kalkstandorten sind die schattenverträglichen Laubbäume, insbesondere die Buche, gegenüber den Nadelbäumen Fichte und Tanne konkurrenzkräftig und deshalb in allen potentiell natürlichen Waldgesellschaften stark vertreten (vgl. Kap. 11.6). Aufgrund der allgemeinen waldbaulichen Zielsetzung (Qualitätsholzproduktion) tendiert der Bewirtschafter jedoch zur Förderung der Nadelbäume, insbesondere der Fichte (Abb. 5.1-11). Infolge der zunehmend wichtigeren ökologischen Vorgaben, insbesondere der Erhaltung der Artenvielfalt als Teil der Biodiversität, muss zudem die Mischungsregelung auch die Erhaltung der selteneren, im Untersuchungsgebiet natürlich vorkommenden Baumarten zum Ziel haben. Die Mischungsregelung spielt also eine wichtige Rolle bei der Nachwuchspflege, v.a. dann, wenn zur Erhaltung einzelner, im Vergleich zur Buche weniger konkurrenzkräftiger Baumarten mehr trupp- bis gruppenweise gearbeitet wird. Entsprechend der sehr unterschiedlichen Wuchsdynamik der Hauptbaumarten Tanne, Fichte, Buche und Bergahorn muss die Mischungsregelung bereits im Jungwuchs einsetzen und spätestens am Ende der Dickungsstufe (> 5 m Höhe, rund 7,5 cm BHD) abgeschlossen sein.

Die Reihenfolge der zu fördernden Baumarten hängt dabei vom Standort (Kap. 11.7) und vom langfristig angestrebten Waldaufbau ab (vgl. Kap. 2.9).

Die Mischungsregelung muss in erster Linie dafür sorgen, dass die zielkonformen Baumarten bis ins Schwachholz in den erforderlichen Anteilen erhalten bleiben, und in zweiter Linie dafür, dass sich diese Baumarten in jener Mischungsform (einstamm-, trupp- oder gruppenweise) entwickeln können, welche zur Erreichung des Produktionszieles (Qualitätsholz) die besten Ergebnisse verspricht.

12.3.4 Erziehung durch Licht- und Dichteregulierung

Unter Erziehung versteht man im waldbaulichen Kontext die zweckmässige Gestaltung der Umgebungsbedingungen. Dadurch sollen sich die waldbaulich erwünschten Erbanlagen entfalten können und die unerwünschten unterdrückt werden. Die Erziehung soll also den Phänotypus der Auslesebäume in bestmöglicher Weise beeinflussen (Leibundgut 1982, S. 88). Im Plenterwald werden die Umgebungsbedingungen für Nachwuchsbäume durch Regulierung der Überschirmung (Lichtregulierung) im kluppierten Bestand und der seitlichen Konkurrenz (Dichteregulierung) im Nachwuchs selbst gestaltet. Die Dichteregulierung muss in den dichten Nachwuchsgruppen dann erfolgen, wenn die Nachwuchsbäume ihren Kronenraum rasch vergrössern. Aus der Entwicklung der mittleren Kronenradien in Abhängigkeit vom BHD (Abb. 6.1-3) kann geschlossen werden, dass die grösste Zunahme des Kronenraumes im Bereich 0 bis 10 cm BHD erfolgt. Im Bereich 0 bis 7,4 cm BHD werden zudem die grössten Stammzahldichten erreicht (Abb. 4-7 und 4-8). Entsprechend müsste die Dichteregulierung in Nachwuchsgruppen mit Pflanzen der BHD-Stufe 5 (2,5-7,4 cm) die grösste Bedeutung aufweisen. Tatsächlich wird sie aber in der BHD-Stufe 10 (7,5-12,4 cm BHD) am häufigsten durchgeführt (Tab. 5.2-10). Dafür gibt es meines Erachtens zwei mögliche Erklärungen: Erstens ist die Pflege im Dickungsstadium erschwert und wird deshalb häufig hinausgeschoben; und zweitens lassen sich Eingriffe zur Verbesserung der Stabilität im Stangenholz nicht mehr weiter hinauschieben. Das ändert aber nichts an meiner Empfehlung, die Dichteregulierung in einem frühen Stadium durchzuführen, um den Nachwuchsgruppen eine genügende Stabilität und ihren Gliedern eine genügende Vitalität zu sichern.

Die Dichteregulierung ist eindeutig eine Massnahme der Massenerziehung, welche dem gesamten Nachwuchskollektiv zu Gute kommt. Spätestens im Stadium der Stangen wird sie durch eine individuelle Erziehung der ausgewählten Eliteanwärter innerhalb von Baumkollektiven abgelöst. Deshalb muss die Dichteregulierung früher erfolgen, möglichst zu Beginn der Dickungsstufe, wenn die Nachwuchsgruppen noch überschaubar sind. Dies erleichtert die praktische Ausführung der Arbeit und sichert den Nachwuchsbäumen innerhalb von Kollektiven eine genügende Stabilität und Vitalität bis zum Beginn der Auslesephase.

12.3.5 Auslese

Die positive Auslese ist die wichtigste Massnahme zur Erreichung des Waldbauzieles: sie führt zu einer gezielten Verbesserung der Vitalität, Stabilität und Qualität der zukünftigen Wertträger. Deshalb soll sie angewendet werden, sobald die positiven Eigenschaften der Bäume entwickelt oder erkennbar sind (Schütz 1996). Bei Tanne und Fichte ist dies aufgrund der relativ homogenen Qualität und der starken axialen Dominanz bereits ab der Dickungsstufe der Fall. Bei der Buche ist die Tendenz zur Ausbildung einer durchgehenden Schaftachse bei guten Lichtverhältnissen ebenfalls früh erkennbar (Schütz und Barnola 1996); bei einer Erziehung im Halbschatten sind die Qualitätsmerkmale aber erst im Stangenholz sichtbar. Aufgrund der heterogenen Entwicklung der Buchenheister unter Schirm, mit möglichem Verlust der axialen Dominanz, und der grossen Qualitätsunterschiede innerhalb von Buchenstangen, ist eine sichere Auswahl der Ausleseebäume erst ab rund 12 bis 15 cm BHD möglich, wenn die Kandidaten eine astfreie Schaftlänge von 8 bis 10 m aufweisen. Eine positive Auslese kann aber bereits früher erfolgen, wenn die Verzweigungsform berücksichtigt und wenn der Auslesebaum nur schwach gefördert wird.

Die heute praktizierte Auslese im Nachwuchs von Plenterwäldern beginnt bei rund 5 cm BHD und erfolgt überwiegend im Bereich der schwachen Stangen (10 bis 19 cm BHD; vgl. Kap. 5.1). Dies ist durchaus sinnvoll, denn die gegenseitige Konkurrenzierung der Pflanzen innerhalb von Nachwuchsgruppen hemmt die Entwicklung der unteren Äste, ohne die Vitalität und Stabilität der Individuen allzu stark zu beeinträchtigen. Zudem findet eine soziologische Differenzierung statt, welche die spätere Auswahl der wuchskräftigen Nachwuchsbaume erleichtert. Spätestens in der Stangenholzstufe müssen die Eliteanwärter ausgelesen und gefördert werden. Gründe dafür sind:

- Aufgrund der mittleren Entwicklung der Kronenradien (Abb. 6.3-1) nimmt der Raumbedarf in der Dickungs- und Stangenholzstufe stark zu. Genügt bei 5 cm BHD noch eine Fläche von rund 5m², so sind es bei 10 cm bereits 8 (Fi) bis 10 (Ta) bzw. 18 m² (Bu) und bei 20 cm BHD 15 (Fi) bis 20 (Ta) bzw. 40 m² (Buche). Um den Kandidaten einen genügenden Standraum schaffen und damit einen guten Zuwachs zu ermöglichen, muss deshalb zu ihren Gunsten eingegriffen werden.
- Die unteren Äste beginnen ab rund 5 cm BHD abzusterben und wachsen danach als Dürräste ein, was wegen der negativen Auswirkungen auf die Holzqualität unerwünscht ist. Dieser Prozess verläuft umso schneller, je grösser die seitliche Konkurrenz ist (Abb. 6.3-5).
- Der Schlankheitsgrad steigt im Stangenholz auf kritische Werte an (Abb. 6.2-2), insbesondere bei Nachwuchsbaumen mit mittlerer bis starker seitlicher Konkurrenz (Abb. 6.2-6).
- Die toten Äste reinigen sich bei den Nadelbäumen nur schlecht von selbst, so dass der Dürrastbereich (Schaftbereich mit Dürrästen) absolut (Abb. 6.4-2) und relativ (6.4-3) immer länger wird. Einzig eine Wertastung kann dies verhindern. Eine solche erfolgt mit Vorteil im Stangenholz.

Die positive Auslese kann bei den Nadelbäumen also bereits anfangs der Dickungsstufe einsetzen. Spätestens ab der Stangenholzstufe ist sie für alle Baumarten zur Verbesserung der Vitalität und zur Erhaltung der individuellen Stabilität notwendig, insbesondere in dichten Nachwuchsgruppen. Bei der Wahl der Ausleseebäume gelten dieselben Anforderungen an die Vitalität, Stabilität und Qualität der Kandidaten wie im gleichförmigen Hochwald (vgl. Kap. 11.3). Zusätzlich muss die Lage des Kandidaten in Bezug zu seinen grösseren Nachbarn berücksichtigt werden, d.h. die Überschildung durch Bäume der mittleren und oberen Höhenklasse. Ausleseebäume sollten nicht mehr überschildert oder ihr Beschirmer bald hiebsreif sein. Dadurch ist gewährleistet, dass ein ausgewählter Nachwuchskandidat ungehindert in die mittlere Höhenklasse einwachsen kann. Stangen unter Schirm können beim Einwachsen in die Krone beschirmender Bäume an Vitalität einbüßen oder verletzt werden; solche im Traufbereich profitieren zwar von einem grösseren Wassereintrag, sind aber in schneereichen Lagen durch herunterstürzenden Nassschnee gefährdet. Die Auswahl der Baumarten im Kollektiv der Ausleseebäume hängt, wie die Mischungsregelung, grundsätzlich von der allgemeinen Zielsetzung und vom Standort ab. Im Moment der Auslese kann die Qualität der Eliteanwärter wesentlich besser beurteilt werden als u Beginn der Dickungsstufe. Deshalb fliesst die Qualität der Kandidaten in die Auswahlkriterien mit ein. Die Nadelbäume genügen den waldbaulichen Anforderungen deutlich besser als die Laubbäume (Tab. 10.7-2), weil sie wesentlich häufiger geradschaftig sind. Die Buche ist schattenfester und deshalb

konkurrenzkräftiger als der Bergahorn. Deshalb weist sie häufig eine symmetrischere Krone (Tab. 6.8-1) und eine grössere Stabilität (Tab. 6.8-3) auf, und sie ist darum waldbaulich besser geeignet als der Bergahorn (Tab. 6.8-4). Trotzdem soll sich die Auslese im Nachwuchs von Plenterwäldern nicht auf die Hauptbaumarten Tanne, Fichte und Buche beschränken. Beigemischte Baumarten wie der Bergahorn und die Esche, als auch seltenere Baumarten, wie die Sommerlinde, der Spitzahorn oder die Mehlbeere, sollen auch dann gefördert werden, wenn sie nicht in allen Punkten den waldbaulichen Vorstellungen entsprechen.

Der Abstand zwischen Ausleseebäumen betrug bisher mehrheitlich 4 bis 8 m (Abb. 5.1-14). Da der Abstand der Bäume spätestens ab der Starkholzkategorie (BHD > 52,4 cm) mehr als 10 m beträgt (Schütz 1989), erscheint ein minimaler Abstand der Ausleseebäume von 6 m sinnvoll. In Dickungsgruppen soll deshalb höchstens alle 6 m, in Stangengruppen alle 10 bis 15 m ein Auslesebaum bestimmt werden. Die Abstandsüberlegungen sind aber weniger wichtig als im gleichförmigen Hochwald und spielen höchstens in grösseren Nachwuchsgruppen eine Rolle. Die Ausleseebäume sind häufig die bestentwickelten Stangen einer Nachwuchsgruppe; deshalb brauchen sie nicht in jedem Fall gefördert zu werden. Die Analyse der heutigen Pflege zeigt im Gegenteil, dass nur etwas mehr als die Hälfte (Tab. 5.1-10) der Ausleseebäume durch den Aushieb eines direkten Konkurrenten gefördert wurde. In der Regel genügt der Aushieb des schärfsten Konkurrenten (Tab. 5.1-11), weil die Nachwuchsgruppen höhenmässig besser differenziert sind und das Jugendwachstum deutlich langsamer erfolgt als im gleichförmigen Hochwald. Bei den Nadelbäumen ist die Entfernung von mehr als einem Konkurrenten zwar möglich, sollte aber nur in Einzelfällen zur Verbesserung der Stabilität nötig sein. Buchen sollten, wegen ihrer Neigung zu übermässiger seitlicher Kronenentwicklung und Ausbildung grober Äste, nicht freigestellt werden. Bergahorne weisen eine kleinere Konkurrenzskraft auf als Tannen, Fichten und Buchen. Deshalb müssen sie frühzeitig ausgewählt und zuerst mässig, später stärker begünstigt werden. Ansonsten geraten sie unter Konkurrenzdruck und reagieren durch Ausbildung einer einseitigen Krone und durch geringen Durchmesserzuwachs, was zur Ausbildung sehr schlanker, instabiler Stangen führt. Solche überschlanken Stangen können später nicht mehr freigestellt werden, da sie ohne seitliche Stütze kippen. Dasselbe gilt, wenn auch in abgeschwächter Form, für die Buche.

Die negative Auslese ist die wichtigste Massnahme der konservativen Nachwuchspflege (Tab. 5.3-7). Heute ist ihre Bedeutung stark rückläufig, weil sie ineffizient ist. Durch die Entfernung eines grobstämmigen, sperrwüchsigen oder schlechtwüchsigen Nachwuchsbaumes profitieren nicht unbedingt die Kandidaten, sondern in erster Linie die direkten Nachbarn. Die negative Auslese sollte deshalb nur dort angewendet werden, wo die positiven Eigenschaften der Bäume noch zu wenig gut erkennbar sind oder wo die zukünftige Entwicklung unsicher ist. Sie wird deshalb nur noch für die Pflege von Buchengruppen im Dickungsstadium empfohlen. Dort geht es häufig darum, die weitere Entwicklung der gutveranlagten Bäume durch die Entfernung sperriger oder plagiotrop wachsender Vorwüchse zu verbessern. In solchen Fällen weist die negative Auslese auch in gleichförmigen Hochwäldern Vorteile auf (Kurt 1946). In Nachwuchsgruppen von Tannen und/oder Fichten dagegen verbessert die negative Auslese weder die Stabilität oder Vitalität des Kollektivs noch die Qualität der Kandidaten entscheidend.

12.3.6 Nachwuchsförderung

Die Nachwuchsförderung ist eine Massnahme, welche sich nicht auf den Nachwuchs begrenzt: sie erfolgt primär durch den Aushieb von Bäumen aus der obersten oder mittleren Höhenklasse, von Bäumen also, deren Entfernung genügend Licht in das Bestockungsinere lässt, um die auf der gesamten Fläche permanent vorhandene Verjüngung zu fördern. Innerhalb des Nachwuchses machen Eingriffe zur Förderung der Verjüngung nur rund 10 bis 15% aus (Tab. 5.2-10). Davon entfallen über 70% auf die Baumart Buche. Meistens handelt es sich dabei um die Entfernung von Buchenheistern über einem Anwuchs von Fichte oder Tanne. Bei den Nadelbäumen handelt es sich häufig um qualitativ unbefriedigende Stangen über einer Fichten- oder Tannenverjüngung.

12.3.7 Qualitätsverbesserung durch Kronenschnitt oder Wertastung

Bei den Nadelbäumen wird eine Grünastung zur Verbesserung der Qualität als notwendig erachtet (vgl. Kap. 11.8). Damit die nachfolgende Überwallung der Schnittwunden genügend rasch und gut verläuft, sollte der Durchmesser der geasteten Äste 2 cm nicht überschreiten (Schütz 1990).

In der BHD-Stufe 10 ist dies bei rund 90% der Tannen und Fichten der Fall, in der BHD-Stufe 15 dagegen nur noch bei der Hälfte (Tab. 6.4-7). Eine allfällige Wertastung müsste also bei einem BHD von rund 10 bis 12 cm und einer entsprechenden Baumhöhe von 9 bis 11 m erfolgen. In gleichförmigen Beständen kann die Kronenlänge ohne nachteilige Folgen für das Wachstum auf rund 40% der Baumhöhe reduziert werden (Klädtker und Yue 1997). Wenn man davon ausgeht, dass die relative Kronenlänge der Nachwuchsbäume im Plenterwald durch die Astung höchstens auf 50% reduziert werden darf, dann kommt bei einer Baumhöhe von rund 10 m nur eine Astung bis auf eine Schafthöhe von 5 bis 6 m in Frage. Eine solche Astung kann mit Hilfe einer Astungssäge vom Boden aus erfolgen. Wenn das Ziel in der Produktion eines 8 bis 10 m langen, astfreien Stammes besteht, dann muss eine einmalige Wertastung bei rund 15 cm BHD und entsprechend 12 bis 14 m Baumhöhe erfolgen. Dabei wird aber in Kauf genommen, dass die Kronenlänge auf rund 30% der Baumhöhe reduziert wird, was sich auf den Durchmesser- und Höhenzuwachs negativ auswirkt. Zudem weisen dann einzelne entfernte Äste einen Durchmesser über 2 cm auf und benötigen entsprechend eine längere Überwallungszeit.

Bei den Laubbäumen ist der Kronenschnitt zur Qualitätsverbesserung nur bedingt zu empfehlen. Bei entsprechender Erziehung im relativ dichten Gruppenstand reinigen sich nämlich die Laubbäume genügend gut von ihren Ästen. Eine Ausnahme stellt die Entfernung von Zwieseln oder Steilästen dar, welche von Natur aus nur sehr langsam erfolgen würde. Allerdings soll eine solche Massnahme nur bei selteneren Baumarten ins Auge gefasst werden, von denen keine weiteren Kandidaten vorhanden sind. Das Aufasten zur Förderung von Nadelbaum-Jungwüchsen wird gelegentlich praktiziert, ist aber wenig effizient. Solche Laubbäume behindern später häufig die aufwachsenden Nadelbäume und müssen als Konkurrenten oder Peitscher entfernt werden.

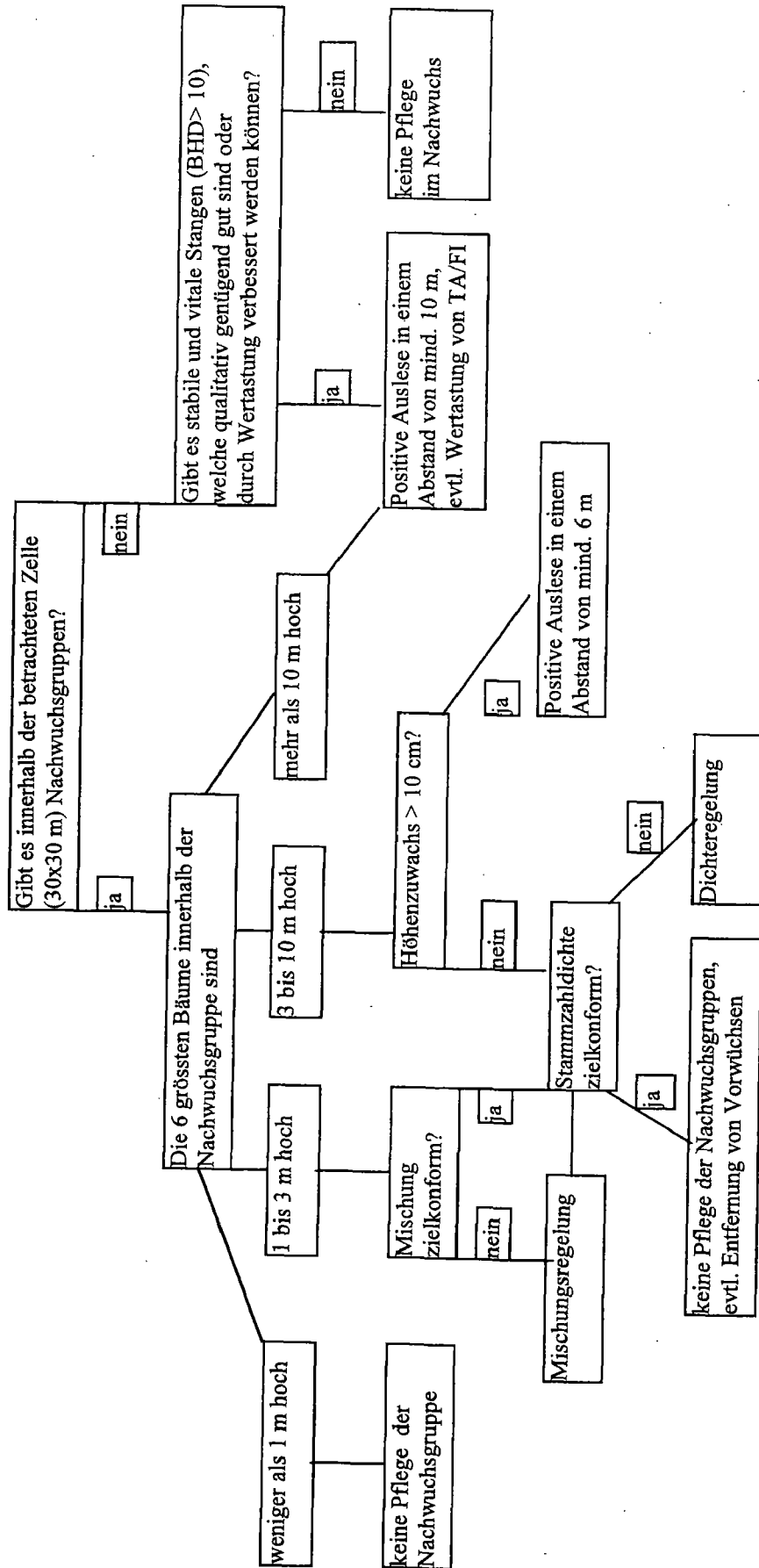
12.4 Praktische Ausführung der Nachwuchspflege

Die Nachwuchspflege im Plenterwald ist im Vergleich zur Pflege gleichförmiger Jungwälder sehr günstig. Aber auch im Plenterwald müssen die Pflegemassnahmen in Zukunft auf das unbedingt Notwendige reduziert werden. Ich habe mir darum Gedanken zur minimalen Nachwuchspflege und zu deren optimalen praktischen Ausführung gemacht. Ausgangspunkt meiner Überlegungen sind die Grundsätze der minimalen Pflegemassnahmen in Schutzwäldern (Wasser und Frehner 1996). Danach müssen minimale Pflegemassnahmen auf das Waldbauziel ausgerichtet werden, optimale Wirkung mit minimalem Aufwand erzielen und mit grosser Wahrscheinlichkeit zum Ziel führen. Für die Nachwuchspflege im Plenterwald leite ich daraus eine Konzentration auf Nachwuchsgruppen ab, da dort der grösste Handlungsbedarf besteht und durch geeignete Massnahmen (Mischungsregelung, Dichteregulierung, positive Auslese) eine optimale, zielgerichtete Wirkung erreicht werden kann.

Das praktische Vorgehen beginnt, ähnlich wie bei der Anzeichnung im kluppierten Bestand, mit dem visuellen Erfassen einer Pflegezelle von rund 30 mal 30 m. Innerhalb der selben werden soziologisch aufsteigende Nachwuchsgruppen identifiziert, allfällig störende Individuen (Protzen) daraus entfernt, Ausleseebäume ausgewählt und deren schärfste Konkurrenten entfernt. Je nach Zielsetzung und Astigkeit der Ausleseebäume muss allenfalls künstlich geastet werden.

In gemischten Jungwüchsen wird die optimale Baumartenmischung in Abhängigkeit der Standortverhältnisse, der Soziabilität der beteiligten Baumarten und der bereits vorhandenen Baumarten im Nachwuchs festgelegt. Auf den besseren, d.h. tiefgründigeren, feuchteren Standorten sollen Tannen, Ahorne und allenfalls Eschen gefördert werden, auf den schlechteren Standorten in Nordexposition eher Buchen und Fichten, in Südexposition Buchen und übrige Laubbäume. Von den wichtigsten Baumarten sind Tannen und Fichten aufgrund ihrer sehr ähnlichen Kronenentwicklung einzeln mischbar, Buchen und übrige Laubbäume wie auch Laub- und Nadelbäume nur trupp- bis gruppenweise.

Empfohlener Arbeitsablauf für die Nachwuchspflege im Plenterwald



Literaturverzeichnis

- Abetz, P. (1989): Zu den Ursachen des Umsetzens von (Z-) Bäumen.
Allg. Forstzeitung, 45. Jg. (50): 1334-1337.
- Abetz, P. (1994): Ist das Schwachholzproblem waldbaulich vermeidbar?
Österreichische Forstzeitung, (1): 17-21.
- Abetz, P. (1995): Ist eine Z-Baum-Kontrollmethode im Plenterwald möglich?
Deutscher Verb.Forstl. Forsch.Anst., Sekt. Ertragskunde, Joachimsthal, S. 1-13.
- Ammon, W. (1937): Das Plenterprinzip in der schweizerischen Forstwirtschaft.
Büchler, Bern&Leipzig. 108 S.
- Arbeitsgruppe "Jungwaldpflege" des Kantons Neuenburg (1996): Soins à la jeune forêt. 15 S.,
plus Anhang. Zu beziehen bei P. Junod, Kreisforstamt III, Cortaillod.
- Arbeitsgruppe "Waldbau/Arbeitstechnik" des Schweiz. Forstvereins (1995):
Bestandesbegründung und Jungwaldpflege rationalisieren. Wald und Holz, 77. Jg. (7): 8-10.
- Arbeitsgruppe "Waldbauprinzipien" des Kantons Neuenburg (1999): Principes sylviculturaux. 13 S.,
plus Anhang. Zu beziehen bei P. Junod, Kreisforstamt III, Cortaillod.
- Aschwanden, A.; Beck, M.; Häberli, Ch.; Haller, G.; Kiene, M.; Roesch, A.; Sie, R.; Stutz, M. (1996):
Bereinigte Zeitreihen. Die Ergebnisse des Projektes KLIMA90. Klimatologie 1961-1990, Heft 2,
Band 3: Graphiken. Hrsg.: Schweizerische Meteorol. Anstalt, Zürich.
- Assmann, E. (1953): Die Verlagerung der Höhenkurven von Plenterwaldflächen und ihre Ursachen.
Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 125. Jg., 175-177.
- Aufsess, v. H. (1934): Grundsätze und Einfluss auf die Ausbildung von Qualitätsholz.
Forstwiss. Cbl. 53. Jg.
- Aufsess, v. H. (1975): Über die Bildung einer Schutzsperre an der Astbasis von Laub- und Nadelbäumen
und ihre Wirksamkeit gegen das Eindringen von Pilzen in das Kernholz lebender Bäume.
Forstw.Cbl. 94. Jg.: 140-152.
- Bach, R. (1950): Die Standorte jurassischer Buchenwaldgesellschaften mit besonderer Berücksichtigung
der Böden. Bull. Soc. bot. suisse, Band 60. Buchdruckerei Büchler, Bern, 153 S.
- Bachofen, H. (1996) Struktur- und Wachstumsveränderungen in einer Plenterversuchsfläche der
subalpinen Stufe. Deutscher Verband Forstl. Forschungsanstalten, Sektion Ertragskunde, 1996.
- Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R.(1994): Multivariate Analysemethoden:
Eine anwendungsorientierte Übersicht. Siebte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage.
Springer-Verlag, 594 S.
- Badoux, E. (1949): L'allure de l'accroissement dans la forêt jardinée.
Mitt. Eidgenössische Anstalt forstl. Versuchswes., Bd. 26 , 7-58.
- Badoux, E. (1961): Courbes de hauteur et tarifs de cubage dans une forêt jardinée de fertilité moyenne.
Mitt. Eidgenössische Anstalt forstl. Versuchswes., Bd. 37, 127-158.
- Bailly, Y.(1978): Observations sur la pratique de la futaie jardinée dans les forêts résineuses du Jura suisse
et français. Rev. forest. française, 30 (3): 212-219.
- Balsiger, R. (1914): Der Plenterwald und seine Bedeutung für die Forstwirtschaft der Gegenwart.
Verlag Büchler, Bern, 103 S. 2. Auflage (1925) Beih. Zeitschr. Schweiz. Forstverein, Bd. 1.
- Bäumler, W.; Hohenadl, W. (1980): Über den Einfluss alpiner Kleinsäuger auf die Verjüngung
in einem Bergmischwald der Chiemgauer Alpen. Forstw. Cbl., 99. Jg.: 207-221.
- Becker, M. (1979): Indices de climat lumineux combinant pente et exposition. Bull. Ecol., 10: 125-137.
- Becker, M. (1982): Influence relative du climat et du sol sur les potentialités forestières en moyenne
montagne. Exemple des sapinières à Fétuque (*Festuca silvatica* Vill.) dans les Vosges alsaciennes.
Ann. Sci. For. 39 (1): 1-32.
- 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'eclaircies jardinatoires.
Schweiz. Z. Forswes., 135.Jg, 793-800.
- Bert, G.D. (1992a): Production du sapin pectiné et qualité de son bois selon les types de stations
dans le Jura français et suisse. Rev. For. Franç. XLIV (5): 415-429.
- Bert, G.D. (1992b): Les principaux types de sapinières (*Abies alba* Mill.) dans le massif du Jura
(France et Suisse). Etude phytoécologique. Ann. Sci. For. 49. Jg.: 161-183.

- Bert, G.D.; Becker, M. (1990): Vitalité actuelle et passée du sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Etude dendroécologique. *Ann. Sci. For.*, 47. Jg.: 395-412.
- Biolley, H. (1901): Die pflegliche Bewirtschaftung des Waldes im Plenterbetrieb. *Schweiz. Z. Forswes.*, 52.Jg., 181-191.
- Borel, W. (1929): Guide pour l'application du contrôle aux futaies jardinées. Imprimerie Jacques et Demotrand, Besancon. 104 S.
- Boudru, M. (1986): Forêt et sylviculture, Sylviculture appliquée. Presses agronom. Gembloux. 244 S.
- Brassel, P.; Brändli, U.-B. (1999): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Hrsg.: Eidg. Forschungsanstalt f. Wald, Schnee, Landschaft (WSL), Birmensdorf; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. Haupt, Bern Stuttgart Wien. 442 S.
- Bruciamacchie, M. (1993): L'état normal en jardinage. *Rev.For.Française*, XLV, 441-451.
- Buongiorno, J.; Peyron, J.-L.; Valdenaire, J.-M.; Bruciamacchie, M. (1996): Croissance et aménagement de la futaie jardinée du jura: Stratégies de gestion et structure des peuplements. *Rev.For.Franç.*, XLVIII., 49-61.
- Burger, H. (1942): Holz, Blattmenge und Zuwachs. Ein Plenterwald mittlerer Standortsgüte. Der bernische Staatswald Toppwald im Emmental. *Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen*, Bd. 22, 376-445.
- Burschel, P.; El Kateb, H.; Huss, J.; Mosandl, R. (1985): Die Verjüngung im Bergmischwald. *Forstw. Cbl.*, 104 Jg., 65-100.
- Burschel, P.; Huss, J. (1987): Grundriss des Waldbaus. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 352 S.
- Bürgi, A.; Zingg, A. (1998): Waldbau und Holzqualität. Eidg. Forschungsanstalt Wald Schnee Landschaft (Hrsg.) 1998: Optimierung der Produktionskette "Holz". *Forum für Wissen*, 87 S.
- Coulon de, M. (1957): Le jardinage dans les hêtraies de basse altitude. *Schweiz. Z. Forswes.*, 108.Jg, 311-322.
- Cox, D.R. (1977): Analysis of binary data. Chapman and Hall, London. pp. 142.
- Cox, P. (1971): Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe von Abstandsmessungen. Ein Beitrag zur methodischen Weiterentwicklung von Verfahren für Verjüngungsinventuren. *Mitt. d. Bundesforschungsanst. f. Forst- und Holzwirtschaft*, Hamburg.
- Dannecker, K. (1929): Der Plenterwald einst und jetzt. Ulmer Verlag, Stuttgart. 145 S.
- Dannecker, K. (1942): Freie Wirtschaft im Laubholzwald. *Allg. Forst-u.Jagd-Zeitung*, 118. Jg. (8): 193-210.
- Dannecker, K. (1955): Laubwaldbewirtschaftung im Sinne der Plenteridee. *Schweiz. Z. Forswes.*, 106. Jg.: 291-302.
- Dannecker, K. (1955): Aus der hohen Schule des Weisstannenwaldes. Sauerländer, Frankfurt a.M. 206 S.
- Deichsel, G.; Trampisch, H.J. (1985): Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Dietrich, G. (1973): Untersuchungen über die Astbildung und natürliche Astreinigung der Weisstanne. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 88 S.
- Duc, Ph. (1988): Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses in Emmentaler Plenterwaldflächen unterschiedlicher Vorratsstruktur. Diplomarbeit Professur für Waldbau, ETH Zürich.
- Duc, Ph. (1991): Untersuchungen zur Dynamik des Nachwuchses im Plenterwald. *Schweiz. Z. Forswes.*, 142.Jg., 299-319.
- Duc, Ph.; Zbinden, A. (1997): Rationalisierung der Waldpflege. *Schweiz. Z. Forswes.*, 142.Jg., 197-220.
- Duc, Ph.; Zingg, A. (in Vorb.): Langfristige Entwicklung des Nachwuchses von Plenterwäldern in Dauerversuchsflächen.
- Dufner, J.; Jensen, U.; Schumacher, E. (1992): Statistik mit SAS. Teubner Studienbücher Mathematik. B.G. Teubner, Stuttgart. 398 S., mit Beispielen und Übungsaufgaben.
- Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen (1988): Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986. *Berichte Nr. 305*, Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. 375 S.
- Ebel, H.; Bliefert, C. (1994): Schreiben und Publizieren in den Naturwissenschaften. 3., neu bearbeitete Auflage. VCH, Weinheim•New•York•Basel•Cambridge•Tokyo. 478 S.
- Eggenberger, U. (1985): Charakterisierung der Plenterverfassung in Wäldern des Bergsturzgebietes von Flims. *Schweiz. Z. Forswes.*, 136.Jg., 503-513.

- Eiberle, K. (1980): Methodische Möglichkeiten zum Verständnis der waldbaulich tragbaren Verbissbelastung. *Schweiz. Z. Forswes.*, 131. Jg. (4): 311-326.
- Eiberle, K.; Bucher, H.-U. (1989): Interdependenzen zwischen dem Verbiss verschiedener Baumarten in einem Plenterwaldgebiet. *Z. Jagdwiss.*, 35. Jg. (4): 235-244.
- Eiberle, K.; Holenstein, B. (1985): Angebot und Nutzung der Verbisspflanzen durch das Reh in unterschiedlichen Plenterwaldtypen. *Cbl. f.gesamte Forstwesen*, 102. Jg. (3): 117-133.
- Eiberle, K.; Nigg, H. (1984): Zur Ermittlung und Beurteilung der Verbissbelastung. *Forstw. Cbl.*, 103. Jg.: 97-110.
- Eiberle, K.; Wenger, C.-A. (1983): Zur Bedeutung der forstlichen Betriebsart für das Reh. *Schweiz. Z. Forswes.*, 134. Jg. (3): 191-206.
- Eisenkolb, R. (1963): Der Staatswald Todtmoos. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Bd. 15, 103 S.
- Ellenberg, H.; Klötzli, F. (1972): Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. *Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen*, Bd. 48 (4): 587-930.
- Farrokhpur, B. (1981): Waldbaulich-ökologische Untersuchungen zur Verjüngung von Fichten-Tannen-Buchen-Mischbeständen. *Diss. Univ. Freiburg*.
- Farron, P.-E. (1980): Application de la méthode du contrôle dans les forêts communales des Verrières de 1893 à 1968. *Schweiz. Z. Forswes.*, 131.Jg., 675-705.
- Favre, E. (1932): Nouvel exemple d'aménagement par la méthode du contrôle. *Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen*, Bd.XVII, 5-34.
- Favre, E. (1944): Fünfzig Jahre Anwendung der Kontrollmethode im Wald von Couvet. *Schweiz. Z. Forswes.*, 95. Jg., 142-164.
- Favre, L.-A. (1980): 100 ans de jardinage cultural contrôlé. *Schweiz. Z. Forswes.*, 131.Jg., 651-674.
- Favre, L.-A. (1990): Die Entwicklung der Wälder im Val-de-Travers. Von der Waldausbeutung zur pfleglichen naturgemässen Waldbewirtschaftung. Herausgeber: Sophie und Karl Binding-Stiftung, Basel.
- Fischer, F. (1980): Verjüngungszustand und Jungwaldaufbau im Gebirgswald – Einige Beispiele aus dem Lötschental –. Zürich, Beiheft Z. Schweiz. Forstverein, No. 67, 57 S..
- Flury, B; Riedwyl, H. (1983): Angewandte multivariate Statistik. Computergestützte Analyse mehrdimensionaler Daten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart und New York. 187 S. mit 91 Abb., 31 Tab.
- Flury, Ph. (1929): Über den Aufbau des Plenterwaldes. *Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen*, Bd.XV, 305-357.
- Flury, Ph. (1933): Über die Wachstumsverhältnisse des Plenterwaldes. *Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen*, Bd.XIII, 55-152.
- François, T. (1938): La composition théorique normale des futaies jardinées de Savoie. *Rev. des eaux et forets*, 76. Jg., 1-18/101-118.
- Frehner, H. K. (1968): Wild und Plenterwald. *Bündnerwald*, 22. Jg. (11): 16-19.
- Gaspersic, F. (1974): Gesetzmässigkeiten der Naturverjüngung in Tannen-Buchenwäldern des hohen Karstes im Bergmassiv von Sneznik-Javornik. (slowenisch) *Diss. Biotechn. Fak. Univ. Ljubljana*. 133 S.
- Gauchat, J.-Fr. (1968): Action du sylviculteur par la coupe jardinatoire dans les peuplements jardinés. *Schweiz. Z. Forswes.*, 119.Jg., 847-891.
- Gelinsky, H. (1933): Die Astreinigung der Rotbuche. *Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen*, 65. Jg. (6): 289-322.
- Grile, J. (1971): Waldbauliche Untersuchungen in Fichtendickungen an der Nordabdachung der Schweizer Alpen. *Beiheft Zeitschr. Schweiz. Forstverein*, Nr. 49; 94 S.
- Groualle, C.; Minot, P. (1989): Croissance du sapin et de l'épicéa dans les futaies jardinées du Haut-Jura. *Mémoire de 3ième année, Ecole nationale des ingenieurs des Eaux et Forêts, Nancy*.
- Gruber, F. (1990): Verzweigungssystem, Benadelung und Nadelfall der Fichte (*Picea abies*). Basel: Birkhäuser, 136 S.
- Herbert, I., Rebeiro, F. (1985): Les futaies jardinees du Haut-Jura. *Rev. For. Franc.*, 37. Jg., 465-481.
- Hockenjos, F. (1968): Waldbauliche Erfahrungen im Fichten-Tannen-Buchenwald des Westschwarzwalds. *Allg. Forst- u. Jagdzeitung*, : 13-18.
- Indermühle, M.P. (1978): Struktur-, Alters- und Zuwachsuntersuchungen in einem Fichten-Plenterwald der subalpinen Stufe. *Beiheft Zeitschr. Schweiz. Forstverein*, Nr. 60, 98 S.

- Johann, K. (1968): Ergebnisse strukturanalytischer Untersuchungen in natürlich verjüngten Fichtenbeständen. Forstw. Cbl., 87 Jg., 228-251.
- Kammerlander, H. (1978): Aufbau, Verjüngung und Verbissgefährdung der Plenterwälder im Raum Kufstein/Tirol. Schweiz. Z. Forswes., 129. Jg. (9): 711-726.
- Keller, W. (1978): Einfacher ertragskundlicher Bonitätsschlüssel für Waldbestände in der Schweiz. Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Bd. 54 (1): 1-98.
- Kern, K.G. (1966): Wachstum und Umweltfaktoren in Schlag- und Plenterwäldern. BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München Basel Wien. 232 S.
- Kitzberger, P. (1996): Tannentrieblaus (*Dreyfusia nordmanniana* Eckst. 1890): Präventiver Waldschutz auf waldbaulich-ökologischer Grundlage zur Vermeidung von Schäden an der Tannenverjüngung. Diss. Univ. Bodenkultur, Wien. Österreichischer Kunst- und Kulturverlag, Wien. 97 S.
- Klädtker, J. (1990): Umsetzungsprozesse unter besonderer Berücksichtigung Z-Baum-bezogener Auslesedurchforstung. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 161. Jg. (2): 29-36.
- Klädtker, J.; Yue, C. (1997): Wachstumsreaktionen bei Fichte nach Grünästung. Allg. Forstzeitung/Der Wald, 53. Jg. (3): 145-148.
- Klein, E. (1992): Nasskern der Weisstanne und Wunden. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 163. Jg. (6): 101-105.
- Knigge, W. (1975): Die Auswirkung von Schälschäden auf die Rohholzeigenschaften von Fichte und Buche. Forstarchiv, 46. Jg.: 32-38.
- Köster, (1935): Die Astreinigung der Fichte. Diss. Forstl.Hochschule Hann. Münden, Verlag M. & H. Schaper, Hannover. 24 S.
- Köstler, J. N. (1956): Allgäuer Plenterwaldtypen. Forstw. Cbl., 75 Jg., 423-458.
- Kramer, H. (1988): Waldwachstumslehre. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin. 374 S.
- Kramer, H.; Akça, A. (1987): Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. Zweite, erweiterte Auflage. J.D.Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M. 287 S.
- Kupfer, F. (1980): Analyse der Höhenentwicklung und der waldbaulichen Brauchbarkeit des Nachwuchses in einem Plenterwald der montanen Stufe im Zusammenhang mit Bestandesstrukturmerkmalen. Diplomarbeit Fachbereich Waldbau, unveröffentlicht.
- Labhart, T. (1982): Geologie. Einführung in die Erdwissenschaften. Hallwag Taschenbuch Nr. 71, Reihe Geographie. Hallwag Verlag, Bern und Stuttgart, 108 S.
- Lamprecht, J. (1992): Biologische Forschung: Von der Forschung bis zur Publikation. Pareys Studentexte Nr. 73, Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- Landbeck, H. (1952): Über die Buchenplenterwälder in Nordthüringen. Der Wald (Berlin), 2.Jg.: 244-247, 279-282.
- Lanier, L. (1986): Précis de Sylviculture. ENGREF, 54042 Nancy. 468 S.
- Leibundgut, H. (1945): Waldbauliche Untersuchungen über den Aufbau von Plenterwäldern. Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, XXIV, 219-296.
- Leibundgut, H.; Auer, C.; Wieland, C. (1971): Ergebnisse von Durchforstungsversuchen 1930-1965 im Sihlwald. Mitt. Eidg. Forschungsanstalt Wald Schnee Landschaft, Bd. 47 (4): 259-389.
- Leibundgut, H. (1972): Struktur eines Emmentaler Plenterwaldes. Forstwiss. Cbl., 91.Jg., 222-237.
- Leibundgut, H. (1975): Über den Arbeitsaufwand für Holzernte, Kulturen und Waldpflege im Plenterwald. Schweiz. Z. Forswes., 126.Jg., 901-903.
- Leibundgut, H. (1978): Die Waldpflege. Verlag Paul Haupt, Stuttgart und Bern. 204 S.
- Leibundgut, H. (1983): Die waldbauliche Behandlung wichtiger Waldgesellschaften der Schweiz. Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Bd. 59 (1): 1-78.
- Leibundgut, H. (1991): Die Plenterung einst und jetzt. Schweiz. Z. Forswes., 142.Jg., 61-67.
- Lenz, O.; Nogler, P.; Schär, E. (1991): L'élagage et la qualité de bois d'épicéa et de sapin blanc de peuplement réguliers du plateau suisse. Berichte der Eidg. Forsch.anst. Wald, Schnee und Landschaft, Nr. 331.
- Leuenberger, R. (1949): Beitrag zur Kenntnis der Humuskarbonatböden und Rendzinen im Schweizer Jura. Diss. ETH Zürich. Juris Verlag, Zürich, 85 S.
- Lichtenwald, G. (1995): Überwallung, Vitalität und Länge der Jahrestriebe an geschälten Jungtannen. Allg. Forstzeitung, 51. Jg. (14): 759.
- Liss, B.-M. (1988): Der Einfluss von Weidevieh und Wild auf die natürliche und künstliche Verjüngung im Bergmischwald der ostbayerischen Kalkalpen. Forstw. Cbl., 107 Jg.: 14-25.

- Lozán, J. (1992): Angewandte Statistik für Naturwissenschaftler. Pareys Studentexte Nr. 74, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg. 237 S., mit zahlreichen Abb., Tab. und Beispielen.
- Lüscher, F. (1990): Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Diss. ETH Zürich, Nr. 8879, 138 S.
- Magin, R. (1954): Ertragskundliche Untersuchungen in montanen Mischwäldern. Forstw. Cbl., 73. Jg.: 103-113.
- Magin, R. (1958): Kronengrösse und Zuwachs in mehrschichtigen Mischbeständen. Forst- u. Holzwirt, 13. Jg. (15): 309-312..
- Magin, R. (1959): Struktur und Leistung mehrschichtiger Mischwälder in den bayerischen Alpen. Mitt. aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, Heft 30.
- Mandallaz, D.; Schlaepfer, R.; Arnoud, J. (1986): Dépérissement des forêts: essai d'analyse des dépendances. Ann. Sci. For., 43 Jg. (4): 441-458.
- Mayer, H. (1959): Bodenvegetation und Naturverjüngung von Tanne und Fichte in einem Allgäuer Plenterbestand. Ber. Geobot, Inst. ETH Zürich, Stiftung Rübel, 31 Jg.: 19-41.
- Mayer, H. (1984): Waldbau. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart und New York. 483 S.
- Mayer-Wegelin, H. (1930): Grünastung der Rotbuche. Forstarchiv, 1. Jg.: 493f.
- Mayer-Wegelin, H. (1937): Das Aufästen der Waldbäume: Grundsätze und Regeln. Verlag Schaper, Hannover. 58 S.
- Meierhofer, U.A.; Michel, D. (1986): Holzqualität, Holzsortierung. Schweizer Baudokumentation, 4249 Blauen. 20 S., mit zahlreichen Fotos.
- Meng, W. (1978): Baumverletzungen durch Transportvorgänge bei der Holzernte. Ausmass und Verteilung, Folgeschäden am Holz und Versuch zu ihrer Bewertung. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, Stuttgart. 159 S.
- Merkel, O. (1967): Der Einfluss des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 138. Jg. (6): 113-125.
- Mitscherlich, G. (1952): Der Tannen-Fichten-(Buchen-)Plenterwald. Eine ertragskundliche Studie. Schr. Reihe Bad. forstl. Versuchsanst. Freiburg i.Br. Nr. 8, 3-42.
- Mitscherlich, G. (1953/54): Einzelstamm- oder Bestandeswirtschaft? Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 124. Jg.: 179-185.
- Mitscherlich, G. (1961): Untersuchungen in Plenterwäldern des Schwarzwaldes. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 132. Jg., 61-73 und 85-95.
- Mitscherlich, G. Weihe, J. (1952): Untersuchungen an Tannenjungwüchsen. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 124. Jg., 33-39.
- Mlinsek, D. (1969): Waldschadenuntersuchungen am Stammkern von erwachsenen Tannen im dinarischen Tannen-Buchen-Wald. Forstwiss. Cbl., 88. Jg. (4): 192-199.
- Moor, M. (1947): Die Waldpflanzengesellschaften des Schweizer Juras und ihre Höhenverbreitung. Schweiz. Z. Forswes., 98. Jg. (1): 1-17.
- Moor, M. (1952): Die Fagion-Gesellschaften im Schweizer Jura. Beiträge zur geobotan. Landesaufnahme der Schweiz, Heft 31. Verlag Hans Huber, Bern. 201 S.
- Möhring, B. (1981): Über den Zusammenhang zwischen Kronenform und Schneebruchanfälligkeit bei Fichte. Forstarchiv, 52. Jg.: 130-134.
- Mosandl, R.; Aas, G. (1986): Vorkommen und Bedeutung von Keimlingspilzen im Bergmischwald der ostbayerischen Kalkalpen. Forst- und Holzwirt, 41. Jg.: 471-475.
- Nagel, J.-L. (1950): Changement d'essences. Schweiz. Zeitschr. Forstwes., 101 (2/3): 95-104.
- Oberson, J.-M. (1980): La forêt et l'économie du bois dans la conception de développement du Val-de-Travers. Schweiz. Z. Forswes., 131. Jg. (8): 739-758.
- Otto, H.-J. (1994): Verminderung der waldbaulichen Intensität und des Schwachholzaufkommens durch naturnahen Waldbau? Forst- und Holz 49 Jg. (14): 387-391.
- Pechmann, von H.; Lippemeier, P. (1975): Untersuchungen über die Schnittholzqualität von Tannen- und Fichtenholz aus Plenterbeständen. Forstw. Cbl., 94. Jg. 351-364.
- Polge, H. (1969): Densité de plantation et élagage de branches vivantes - ou pourquoi, quand et comment élaguer? Rev. For. Franç., 21. Jg. No. spéciale "Sylviculture": 451-466.
- Pretzsch, H. (1985): Die Fichten-Tannen-Buchen-Plenterwaldversuche in den ostbayerischen Forstämtern Freyung und Bodenmais. Forstarchiv, 56. Jg., 3-9.

- Pretzsch, H. (1992a): Konzeption und Konstruktion von Wachstumsmodellen für Rein- und Mischbestände. Schriftenr. d. forstw. Fakultät der Univ. München u.d. Bayer. forstl. Versuchs- u. Forschungsanstalt, Band 115, 332 S.
- Pretzsch, H. (1992b): Modellierung der Kronenkonkurrenz von Fichte und Buche in Rein- und Mischbeständen. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 163. Jg. (11/12): 203-213.
- Prodan, M. (1949): Normalisierung des Plenterwaldes? Schriftenreihe der Badischen Forstlichen Versuchsanstalt, Heft 7, 21 Seiten.
- Richard, J.-L. (1956): L'épicéa à la limite inférieure de sa répartition naturelle dans le Jura suisse. Schweiz. Z. Forswes., 107. Jg. (3): 153-164.
- Richard, J.-L. (1965): Extraits de la carte phytosociologique des forêts du Canton de Neuchâtel. Matériaux pour la levé géobotanique de la Suisse, Band 47. Mit pflanzensoziologischen Karten.
- Rickenbach, E. (1925): Description géologique du Val-de-Travers entre Fleurier et Travers. Diss. ETH Zürich Nr. 402, mit geologischen und tektonischen Karten und einer Profilserie. 74 S.
- Rittershofer, F. (1994): Waldpflege und Waldbau. Für Studierende und Praktiker. Rittershofer Verlag, D-85354 Freising. 481 S.
- Roeder, A. (1971): Überraschende Untersuchungsergebnisse über die Auswirkung von Rotwildschäden bei Fichte. Allg. Forstzeitung, 27. Jg. (44): 907.
- Röhrig, E. (1990): Waldbau auf ökologischer Grundlage. 2. Bd. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- Roisin, P. (1981): Sylviculture des futaies feuillues jardinées ou d'allure jardinées en Belgique. Rev. forest. Franç., 33 Jg., No. spécial: 113-127.
- Rottmann, M. (1985): Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main. 159 S.
- Rouvinen, S.; Kuuluvainen, T. (1997): Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. Can. J.For.Res., Vol.27: 890-902.
- Safar, J. (1954): Die Entwicklung des Tannenjungwuchses in den Plenterwäldern Kroatiens. Schweiz. Z. Forswes., 105. Jg., 592-613 und 712-733.
- Schaeffer, A.; Gazin, A.; d'Alverny, A. (1930): Sapinières: Le jardinage par contenance. Presses univ. France, Paris. 100 S.
- Schneider, O. (1994): Inventaire des recrûs / fourrés / perschis et des dégâts causés par le gibier au Val-de-Travers. Studie im Auftrag der Sophie und Karl Binding-Stiftung, Basel. Bezug: O. Schneider, Grand-Rue 45a, CH-2035 Corcelles.
- Schneider-Orelli, O. et al. (1929): Untersuchungen über die Weisstannenlaus *Dreyfusia nüsslini* C.B. in der Schweiz. Schweiz. Anst. forstl. Versuchswes., Mitt. Bd. 15 (2): 191-242.
- Schneider-Orelli, O. (1939): Über das Vordringen der gefährlichen Weisstannenlaus *Dreyfusia nüsslini* im Plenterwaldgebiet Vorderarni. Schweiz. Z. Forswes., 90 (7/8): 205-209.
- Schober, R. (1988): Von Zukunfts- und Elitebäumen. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 159. Jg. (11/12): 239-248.
- Schober, R. (1990): Die Bedeutung des Umsetzens von Waldbäumen für Z-Baum-Durchforstungen. Allg. Forstzeitung, 46. Jg. (32): 824-828.
- Schöpfer, W. (1961): Beiträge zur Erfassung des Assimilationsapparates der Fichte. Schriftenr. Landesforstverw. Baden-Württemberg, Bd. 10.
- Schmider, P.; Küper, M.; Tschander, B.; Käser, B. (1993): Die Waldstandorte im Kanton Zürich. Waldgesellschaften - Waldbau - Naturkunde. Hrsg: Oberforstamt, Amt für Raumplanung Kanton Zürich. Verlag der Fachvereine an den schweiz. Hochschulen und Techniken AG, Zürich. 287 S.
- Schüepp, M. (1961): Lufttemperatur. 2. Teil. Ann. Schweiz. Meteorol. Anstalt, Beiheft, Klimatologie der Schweiz, 2/C.
- Schütz, J.-Ph. (1969): Etude des phénomènes de la croissance en hauteur et en diamètre du sapin et de l'épicéa dans deux peuplements jardinées et une forêt vierge. Beiheft Nr. 44 des Schweiz. Forstvereins,
- Schütz, J.-Ph. (1975): Dynamique et conditions d'équilibre de peuplements jardinées sur les stations de la hêtraie à sapin. Schweiz. Z. Forswes., 126. Jg., 637-671.
- Schütz, J.-Ph. (1981): Que peut apporter le jardinage à notre sylviculture? Schweiz. Z. Forswes., 132. Jg., 219-242.
- Schütz, J.-Ph. (1985): La production de bois de qualité dans la forêt jardinée. Ann. Gembloux, 91. Jg., 147-161.
- Schütz, J.-Ph. (1989): Der Plenterbetrieb. Unterlage zur Vorlesung Waldbau III (Waldverjüngung). Fachbereich Waldbau, ETH Zürich, 54 S.

- Schütz, J.-Ph. (1990): Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts. Collection gérer l'environnement, No. 5. Presses polytechniques et universitaires romandes. Ch-1015 Lausanne. 243 S.
- Schütz, J.-Ph. (1992): Die waldbaulichen Formen und Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. Schweiz. Z. Forstwes., 143.Jg., 442-460.
- Schütz, J.-Ph. (1994): Geschichtlicher Hergang und aktuelle Bedeutung der Plenterung in Europa. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 165.Jg., 106-114.
- Schütz, J.-Ph. (1995): Biologische Rationalisierung. Weniger ist mehr. Wald und Holz, 77. Jg. (5): 8-11.
- Schütz, J.-Ph. (1996a): Bedeutung und Möglichkeiten der biologischen Rationalisierung im Forstbetrieb. Schweiz. Zeitschr. Forstwes. 147 Jg. (5): 315-349.
- Schütz, J.-Ph. (1996b): Grundzüge der Waldpflege. Schweizerischer Forstkalender 1996, 91. Jg.: Anhang S. 48-55. Huber Verlag, Frauenfeld.
- Schütz, J.-Ph. (1997): La gestion des forêts irréguliers et mélangées. Collection gérer l'environnement, No. 13. Presses polytechniques et universitaires romandes. Ch-1015 Lausanne. 178 S.
- Schütz, J.-Ph. (1998): Behandlungskonzepte der Buche aus heutiger Sicht. Schweiz. Zeitschr. Forstwes., 149. Jg.(12):1005-1030.
- Schütz, J.-Ph.; Barnola, P. (1996): Importance de la qualité et de sa détermination précoce dans un concept d'éducation du hêtre. Rev. For. Fr.. 48 Jg.: 417-430.
- Shrivastava, M.B.; Ulrich, B. (1977): Schätzung quantitativer Bodenparameter bei der forstlichen Standortskartierung, zum Beispiel des hessischen Berglandes. Forstwiss. Cbl., 96 Jg.: 186-200.
- Siegmund, E. (1975): Aufwand und Ertrag bei waldbaulichen Betriebsformen. Diss. Forstw. Fakultät Univ. München, 108 S.
- Simak, M. (1951): Untersuchungen über den natürlichen Baumartenwechsel in schweizerischen Plenterwäldern. Mitt. Eidg. Anst.forstl.Versuchswes., Bd. 27., 406-468.
- Sommer, H.G. (1961): Tannenkronen im Plenterwald. Forstwiss. Cbl., 80.Jg., 215-223
- Sommer, H.G. (1962): Alter und Baumhöhen in Plenterbeständen. Forstwiss. Cbl., 81.Jg., 11-17.
- Sommer, H.G. (1963): Lokaltarif für einen Plenterbetrieb im Bayerischen Wald. Forstw. Cbl., 82. Jg., 220-233.
- Spiecker, H. (1986): Das Wachstum der Tannen und Fichten auf Plenterwald-Versuchsflächen des Schwarzwaldes in der Zeit von 1950 bis 1984. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 157.Jg., 152-164.
- Spiecker, H. (1991): Zur Dynamik des Wachstums von Tannen und Fichten auf Plenterwald-Versuchsflächen im Schwarzwald. Allg. Forstzeitung, 46.Jg., 1076-1080.
- Staeger, H. (1928): L'élagage des résineux, traitement complémentaire. Journal For. Suisse, 79. Jg.:185-193.
- Torrelli, N.; Cufar, K.; Zupancic, M.; Oven, P. (1990): Barrier zones and wound-associated wood of silver fir and poplar. IAWA Bulletin, vol. 11 (3): 303.
- Tukey, J. (1977): Exploratory data analysis. Reading, Mass.: Addison Wesley.
- Uttinger, H. (1965): Niederschlag. 1.-3.Teil. Ann. d. Schweiz. Meteorol. Anst., Beiheft Klimatologie der Schweiz 5/E.
- Valdenaire, J.-M. (1994): L'élagage en futaie jardinée dans les forêts communales du Grandvaux (Jura). Rev.For.Française, XLVI, 670-679.
- Wasser, B.; Frehner, M. (1996): Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion. Wegleitung, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Weidmann, A. (1961): Eignung verschiedener Messargumente und Berechnungsmethoden für die Erfassung von Zustand und Zustandsänderung von Bestockungen. Mitt. Eidg. Anstalt forstl. Versuchswesen, Bd. 37 (1): 1-125.
- Weise, U. (1995): Zuwachs- und Jungwuchsentwicklung in Versuchen zur natürlichen Verjüngung von Fichten-Tannen-(Buchen)-Beständen in Baden-Württemberg. Ergebnisse nach zehnjähriger Laufzeit der Versuche. Mitt. Forstl. Versuchs- und Forschungsanst. Baden-Württemberg, 75 S.
- Wiebe, S. (1992): Untersuchungen zur Wundentwicklung und Wundbehandlung an Bäumen unter besonderer Berücksichtigung der Holzfeuchte. Diss. LMU München, Forstw. Fakultät. 129 S.
- Zimmerle, H. (1936): Die Plenterwaldversuchsflächen in Württemberg. Mitt.d.Württ.Forstl.Vers.-Anst., Bd. 4, Heft 2, 92-210.
- Zimmerle, H. (1950/51): Die Stammform der Weisstanne im Hochwald und Plenterwald und diejenige der Fichte zum Vergleich. Allg. Forst- u. Jagdzeitung, 107-118.

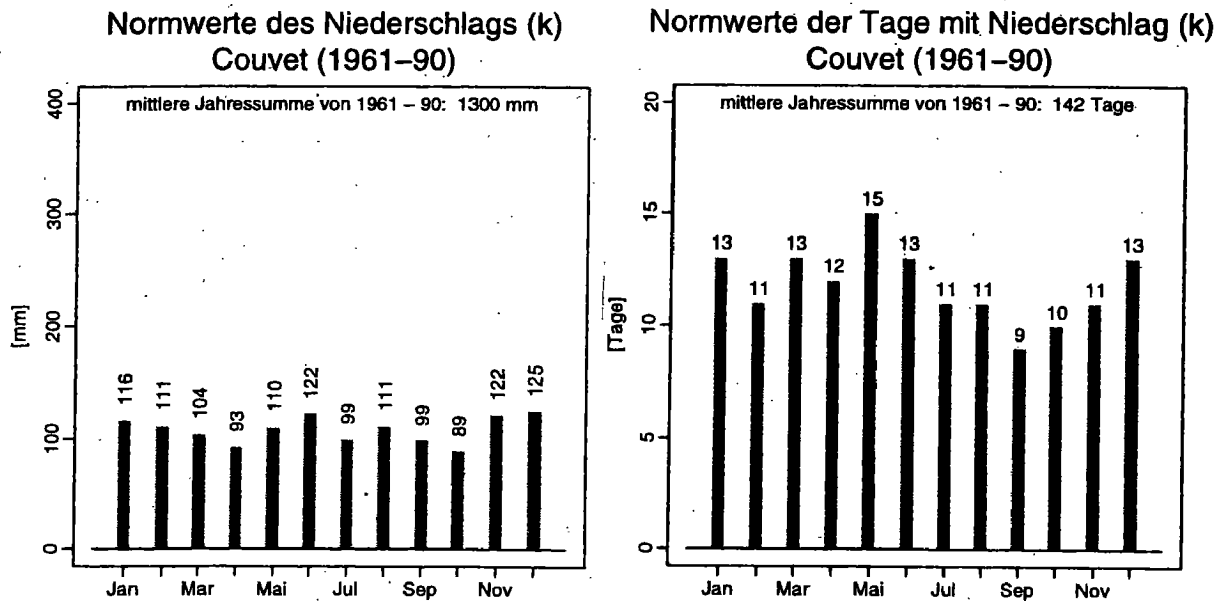
A Anhang

Anhang 2.2: Klima

Tab. A.2.2-1: Mittlere Niederschlagsmenge (mm/J) von drei Perioden in Couvet.

| Periode | 1.Quartal (Jan-Mar) | 2.Quartal (Apr-Jun) | 3.Quartal (Jul-Sep) | 4.Quartal (Okt-Dez) | Jahr (mm) |
|-----------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| 1901-1930 | 263 | 321 | 337 | 339 | 1260 |
| 1931-1960 | 290 | 314 | 373 | 297 | 1274 |
| 1961-1990 | 331 | 325 | 309 | 336 | 1300 |

Abb. A.2.2-1: Normwerte des Niederschlags in Couvet (aus Aschwanden et al. 1996)



Jahressummen des Niederschlags (k) Couvet (1961-90)

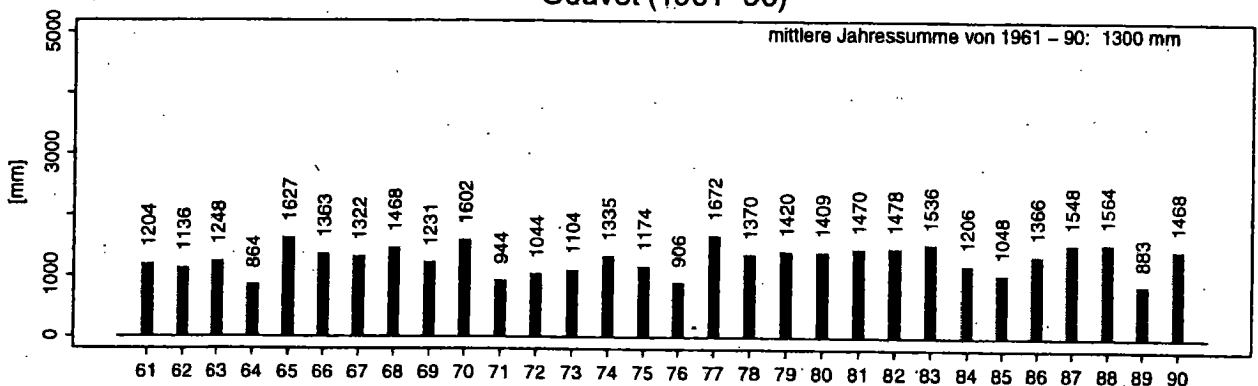


Abb. A.2.2-2: Klimatische Normwerte für die Station La Chaux-de-Fonds (1961-1990), aus Aschwanden et al. 1996

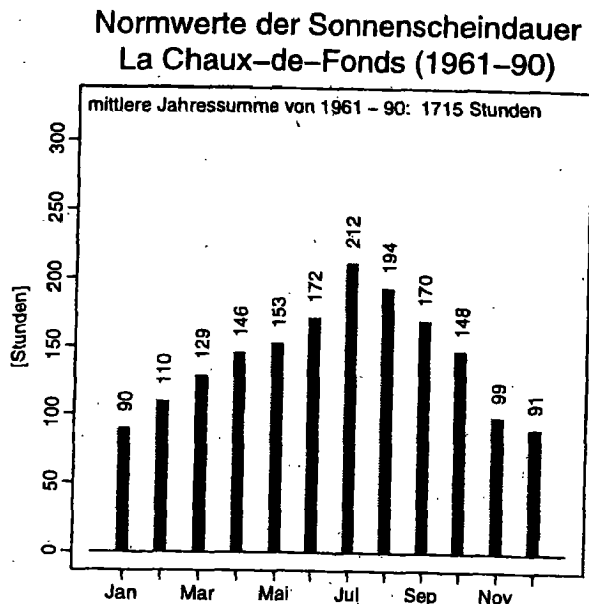
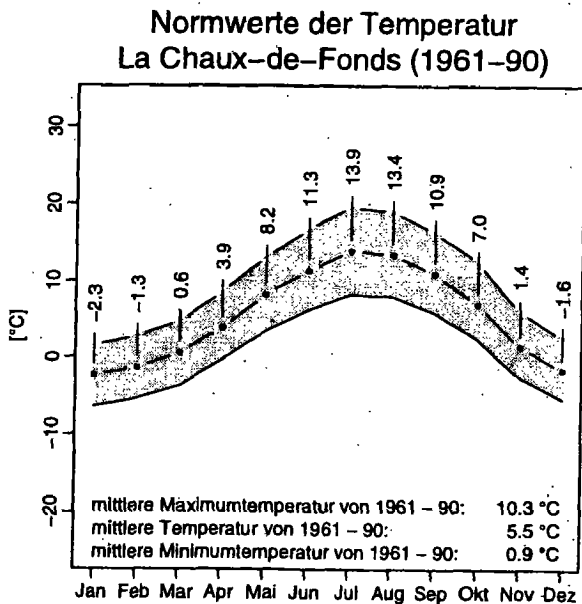
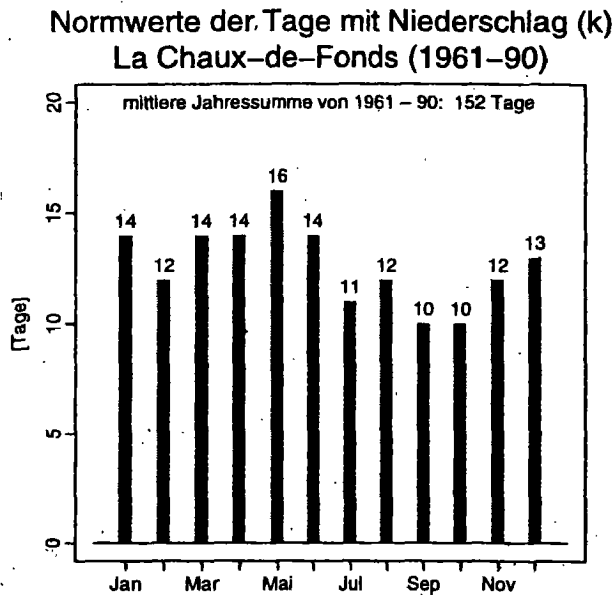
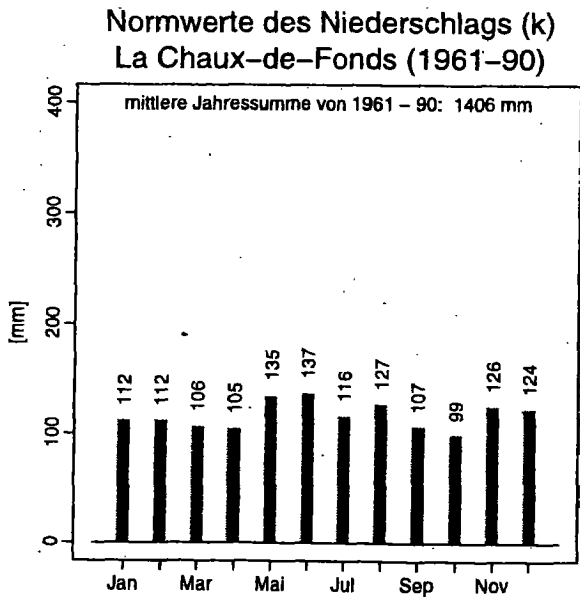
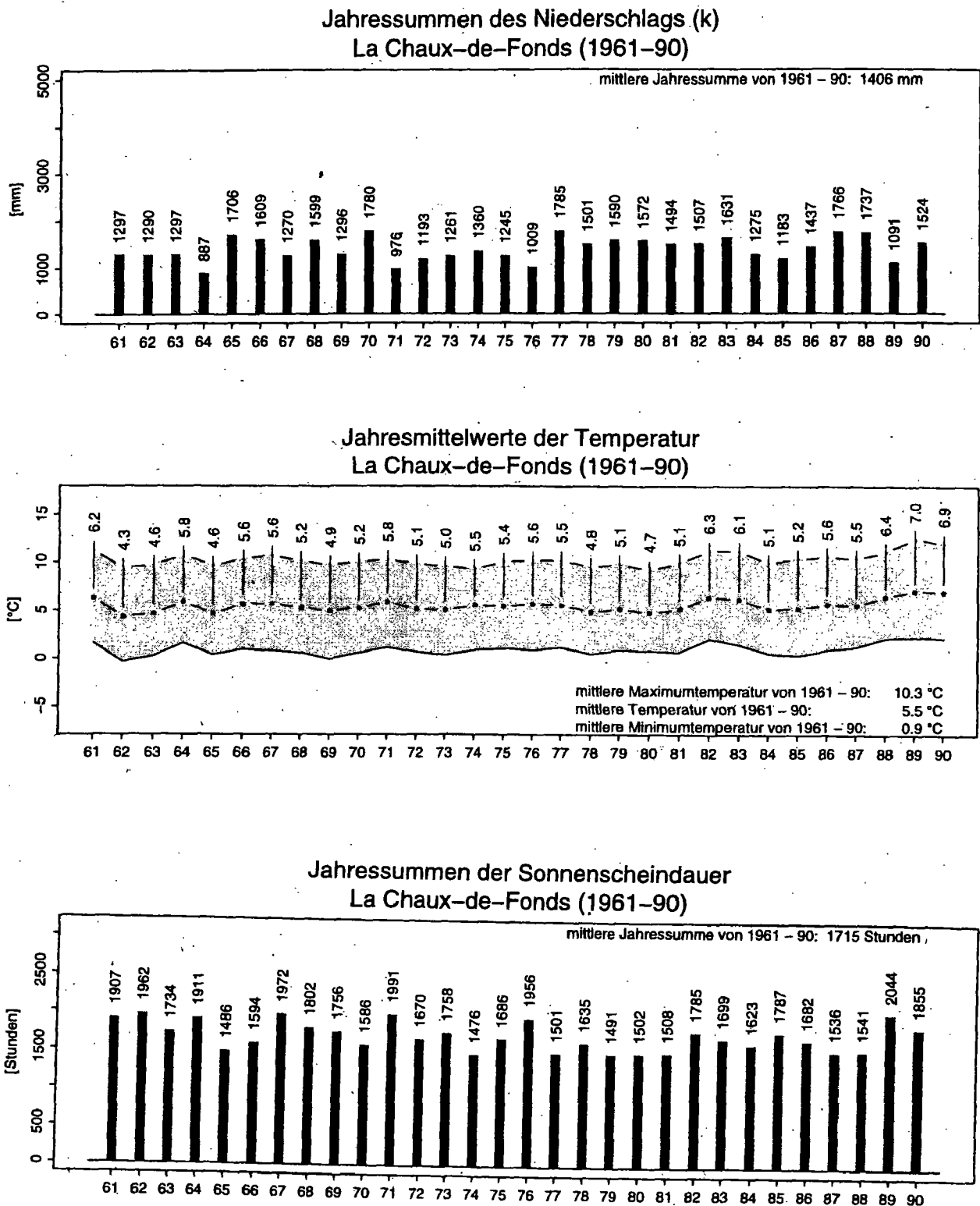


Abb. A.2.2-3: Jahressummen und Jahresmittelwerte klimatischer Merkmale von 1961-1990, für die Station La Chaux-de-Fonds (aus Aschwanden et al. 1996).



Kapitel 4.1: Plenterstruktur

Tab. A.4.1-1: Volumentarife

| STUFE | BHD (cm) | GFL (m ²) | VOL (m ³) | Tarif WSL Buttes | | |
|-------|-------------|--------------------------|--------------------------|------------------|--------|-------|
| | | | | FICHTE | TANNE | BUCHE |
| 10 | 10.0 | 0.008 | (0.03) | 0.035 | 0.033 | 0.038 |
| 15 | 15.0 | 0.018 | (0.13) | 0.141 | 0.135 | 0.142 |
| 20 | 20.0 | 0.031 | 0.27 | 0.319 | 0.304 | 0.317 |
| 25 | 25.0 | 0.049 | 0.45 | 0.569 | 0.541 | 0.564 |
| 30 | 30.0 | 0.071 | 0.69 | 0.890 | 0.850 | 0.860 |
| 35 | 35.0 | 0.096 | 1.02 | 1.280 | 1.220 | 1.210 |
| 40 | 40.0 | 0.126 | 1.43 | 1.750 | 1.660 | 1.610 |
| 45 | 45.0 | 0.159 | 1.90 | 2.280 | 2.170 | 2.060 |
| 50 | 50.0 | 0.196 | 2.42 | 2.890 | 2.750 | 2.550 |
| 55 | 55.0 | 0.238 | 2.99 | 3.560 | 3.390 | 3.090 |
| 60 | 60.0 | 0.283 | 3.60 | 4.310 | 4.100 | 3.680 |
| 65 | 65.0 | 0.332 | 4.26 | 5.130 | 4.880 | |
| 70 | 70.0 | 0.385 | 4.95 | 6.020 | 5.730 | |
| 75 | 75.0 | 0.442 | 5.68 | 6.980 | 6.650 | |
| 80 | 80.0 | 0.503 | 6.44 | 8.020 | 7.630 | |
| 85 | 85.0 | 0.567 | 7.22 | | 8.680 | |
| 90 | 90.0 | 0.636 | 8.03 | | 9.800 | |
| 95 | 95.0 | 0.709 | 8.86 | | 10.990 | |
| 100 | 100.0 | 0.785 | 9.70 | | 12.290 | |
| 105 | 105.0 | 0.866 | 10.56 | | | |
| 110 | 110.0 | 0.950 | 11.42 | | | |
| 115 | 115.0 | 1.039 | 12.29 | | | |
| 120 | 120.0 | 1.131 | 13.16 | | | |

Legende:

GFL = Grundfläche (= $3.141593 \cdot (\text{bhd}/200)^2$) VOL = Volumen nach Einheitstarif Kt. NE
 Tarif WSL: gültig für die Plenterwald-Untersuchungsfläche 02-035 (Bois du Pays) in Buttes,
 innerhalb derer unsere Untersuchungsflächen 9 und 10 liegen.

Tab. A.4.1-2: Stammzahlen und Volumen pro BHD-Klasse und Baumart

| | | Stammzahl pro ha | | | | | Volumen pro ha | | | | | |
|-----|-----|------------------|------|-------|------|-------|----------------|-------|-------|------|------|-------|
| FNR | KLA | TA | FI | BU | AL | STZ | GFL | TA | FI | BU | AL | VOL |
| 1 | ST | 76.2 | 51.5 | 156.5 | 47.4 | 331.6 | 3.5 | 5.1 | 2.7 | 10.6 | 3.8 | 22.2 |
| 1 | PB | 16.5 | 8.2 | 33.0 | 39.1 | 96.8 | 4.1 | 8.7 | 2.6 | 13.5 | 12.8 | 37.6 |
| 1 | MB | 10.3 | 8.2 | 16.5 | 0.0 | 35.0 | 5.2 | 18.8 | 13.1 | 28.7 | 0.0 | 60.6 |
| 1 | GB | 28.8 | 4.1 | 6.2 | 0.0 | 39.1 | 12.8 | 127.3 | 13.6 | 22.4 | 0.0 | 163.3 |
| 1 | TG | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 14.4 | 7.1 | 91.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 91.4 |
| 2 | ST | 256.8 | 11.0 | 1.8 | 22.0 | 291.6 | 3.6 | 22.6 | 0.6 | 0.1 | 2.2 | 25.5 |
| 2 | PB | 152.2 | 5.5 | 12.8 | 12.8 | 183.4 | 8.6 | 63.1 | 1.8 | 5.8 | 8.4 | 79.1 |
| 2 | MB | 60.5 | 0.0 | 9.2 | 1.8 | 71.5 | 9.5 | 95.4 | 0.0 | 10.9 | 3.5 | 109.8 |
| 2 | GB | 16.5 | 14.7 | 0.0 | 0.0 | 31.2 | 9.9 | 62.2 | 64.0 | 0.0 | 0.0 | 126.2 |
| 2 | TG | 9.2 | 7.3 | 0.0 | 0.0 | 16.5 | 9.2 | 70.8 | 45.9 | 0.0 | 0.0 | 116.7 |
| 3 | ST | 139.2 | 1.3 | 48.1 | 11.4 | 200.0 | 2.3 | 10.9 | 0.1 | 3.8 | 1.0 | 15.8 |
| 3 | PB | 65.8 | 0.0 | 58.2 | 16.5 | 140.5 | 6.6 | 26.6 | 0.0 | 27.4 | 7.2 | 61.2 |
| 3 | MB | 26.6 | 2.5 | 35.5 | 3.8 | 68.4 | 9.2 | 40.9 | 6.1 | 53.1 | 5.5 | 105.6 |
| 3 | GB | 12.7 | 26.6 | 2.5 | 0.0 | 41.8 | 12.1 | 47.4 | 99.5 | 7.6 | 0.0 | 154.5 |
| 3 | TG | 1.3 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 3.8 | 2.1 | 10.2 | 16.4 | 0.0 | 0.0 | 26.6 |
| 4 | ST | 89.2 | 8.7 | 16.1 | 5.0 | 119.0 | 1.6 | 8.2 | 0.8 | 1.4 | 0.3 | 10.7 |
| 4 | PB | 54.5 | 5.0 | 21.1 | 6.2 | 86.8 | 4.1 | 23.3 | 1.6 | 10.1 | 2.6 | 37.6 |
| 4 | MB | 63.2 | 7.4 | 3.7 | 0.0 | 74.3 | 10.2 | 97.7 | 16.7 | 4.3 | 0.0 | 118.7 |
| 4 | GB | 28.5 | 16.1 | 0.0 | 0.0 | 44.6 | 13.3 | 100.1 | 69.7 | 0.0 | 0.0 | 169.8 |
| 4 | TG | 9.9 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 14.9 | 7.3 | 61.0 | 31.9 | 0.0 | 0.0 | 92.9 |
| 5 | ST | 95.3 | 52.9 | 44.7 | 0.0 | 192.9 | 2.2 | 7.8 | 4.2 | 3.5 | 0.0 | 15.5 |
| 5 | PB | 62.3 | 16.5 | 29.4 | 0.0 | 108.2 | 5.2 | 28.1 | 6.0 | 13.5 | 0.0 | 47.6 |
| 5 | MB | 56.5 | 10.6 | 12.9 | 0.0 | 80.0 | 11.5 | 97.9 | 19.9 | 17.3 | 0.0 | 135.1 |
| 5 | GB | 35.3 | 10.6 | 2.4 | 0.0 | 48.2 | 13.8 | 128.0 | 37.7 | 9.3 | 0.0 | 175.0 |
| 5 | TG | 2.4 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | 3.5 | 1.6 | 14.3 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 21.0 |
| 6 | ST | 254.7 | 10.8 | 73.4 | 0.0 | 338.8 | 3.9 | 20.1 | 0.7 | 4.9 | 0.0 | 25.7 |
| 6 | PB | 92.8 | 10.8 | 25.9 | 0.0 | 129.5 | 5.7 | 38.1 | 5.0 | 9.1 | 0.0 | 52.2 |
| 6 | MB | 49.6 | 28.1 | 4.3 | 0.0 | 82.0 | 11.7 | 78.9 | 51.3 | 7.2 | 0.0 | 137.4 |
| 6 | GB | 21.6 | 34.5 | 0.0 | 0.0 | 56.1 | 16.7 | 85.3 | 127.7 | 0.0 | 0.0 | 213.0 |
| 6 | TG | 0.0 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 1.1 | 0.0 | 13.9 | 0.0 | 0.0 | 13.9 |
| 7 | ST | 84.4 | 60.7 | 146.5 | 22.2 | 313.8 | 3.4 | 7.1 | 4.1 | 9.6 | 2.1 | 22.9 |
| 7 | PB | 56.2 | 14.8 | 81.4 | 4.4 | 156.9 | 7.4 | 25.8 | 6.4 | 34.4 | 1.2 | 67.8 |
| 7 | MB | 37.0 | 4.4 | 19.2 | 1.5 | 62.2 | 7.9 | 59.1 | 5.1 | 24.2 | 1.5 | 89.9 |
| 7 | GB | 20.7 | 1.5 | 0.0 | 0.0 | 22.2 | 6.2 | 72.2 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | 78.5 |
| 7 | TG | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 8 | ST | 259.3 | 16.5 | 68.4 | 23.6 | 367.8 | 4.1 | 20.3 | 1.1 | 4.6 | 1.6 | 27.6 |
| 8 | PB | 143.8 | 4.7 | 23.6 | 9.4 | 181.5 | 7.9 | 54.4 | 2.7 | 10.8 | 3.5 | 71.4 |
| 8 | MB | 21.2 | 7.1 | 28.3 | 4.7 | 61.3 | 7.8 | 29.9 | 12.4 | 41.1 | 4.8 | 88.2 |
| 8 | GB | 7.1 | 16.5 | 0.0 | 2.4 | 25.9 | 7.9 | 31.7 | 58.2 | 0.0 | 10.1 | 100.0 |
| 8 | TG | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 1.0 | 13.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.4 |
| 9 | ST | 144.0 | 2.1 | 249.3 | 6.5 | 401.9 | 4.1 | 9.4 | 0.3 | 15.6 | 0.5 | 25.8 |
| 9 | PB | 79.5 | 4.3 | 17.2 | 2.1 | 103.2 | 4.4 | 32.4 | 1.6 | 5.4 | 1.0 | 40.4 |
| 9 | MB | 8.6 | 19.4 | 17.2 | 0.0 | 45.1 | 6.7 | 11.5 | 34.3 | 33.9 | 0.0 | 79.7 |
| 9 | GB | 6.5 | 32.2 | 2.1 | 0.0 | 40.9 | 12.4 | 27.7 | 123.8 | 6.4 | 0.0 | 157.9 |
| 9 | TG | 8.6 | 2.1 | 0.0 | 0.0 | 10.8 | 6.1 | 58.8 | 19.1 | 0.0 | 0.0 | 77.9 |

| FNR | KLA | Stammzahl pro ha | | | | | GFL | Volumen pro ha | | | | |
|-----|-----|------------------|-------|------|------|-------|------|----------------|-------|------|------|-------|
| | | TA | FI | BU | AL | STZ | | TA | FI | BU | AL | VOL |
| 10 | ST | 216.4 | 26.1 | 73.0 | 0.0 | 315.4 | 3.7 | 15.7 | 2.9 | 6.0 | 0.0 | 24.6 |
| 10 | PB | 60.0 | 20.9 | 20.9 | 0.0 | 101.7 | 4.1 | 19.6 | 9.4 | 8.1 | 0.0 | 37.1 |
| 10 | MB | 23.5 | 26.1 | 2.6 | 0.0 | 52.1 | 8.2 | 50.0 | 44.4 | 3.7 | 0.0 | 98.1 |
| 10 | GB | 10.4 | 39.1 | 0.0 | 0.0 | 49.5 | 14.9 | 37.7 | 151.9 | 0.0 | 0.0 | 189.6 |
| 10 | TG | 7.8 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 10.4 | 5.2 | 50.5 | 16.8 | 0.0 | 0.0 | 67.3 |
| 11 | ST | 140.1 | 0.0 | 49.7 | 0.0 | 189.9 | 2.5 | 12.2 | 0.0 | 4.7 | 0.0 | 16.9 |
| 11 | PB | 115.3 | 5.7 | 46.3 | 0.0 | 167.2 | 8.0 | 51.9 | 3.4 | 18.5 | 0.0 | 73.8 |
| 11 | MB | 63.3 | 5.7 | 5.7 | 0.0 | 74.6 | 9.7 | 96.1 | 8.2 | 8.3 | 0.0 | 112.6 |
| 11 | GB | 16.9 | 18.1 | 1.1 | 0.0 | 36.2 | 10.6 | 60.8 | 70.6 | 3.4 | 0.0 | 134.8 |
| 11 | TG | 3.4 | 9.0 | 0.0 | 0.0 | 12.4 | 6.3 | 24.5 | 56.5 | 0.0 | 0.0 | 81.0 |
| 12 | ST | 186.7 | 38.5 | 60.2 | 0.0 | 285.4 | 3.6 | 16.7 | 2.5 | 5.4 | 0.0 | 24.6 |
| 12 | PB | 125.3 | 20.5 | 62.6 | 0.0 | 208.4 | 10.5 | 61.7 | 8.8 | 26.4 | 0.0 | 96.9 |
| 12 | MB | 38.5 | 2.4 | 21.7 | 0.0 | 62.6 | 7.9 | 53.4 | 2.9 | 33.0 | 0.0 | 89.3 |
| 12 | GB | 2.4 | 7.2 | 9.6 | 0.0 | 19.2 | 5.8 | 11.9 | 29.2 | 33.4 | 0.0 | 74.5 |
| 12 | TG | 0.0 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 1.1 | 0.0 | 13.7 | 0.0 | 0.0 | 13.7 |
| 13 | ST | 157.6 | 27.7 | 83.1 | 22.0 | 290.4 | 3.5 | 13.2 | 2.0 | 7.2 | 1.8 | 24.2 |
| 13 | PB | 100.3 | 7.7 | 62.1 | 23.9 | 193.9 | 9.0 | 41.1 | 2.8 | 26.7 | 11.8 | 82.4 |
| 13 | MB | 51.6 | 14.3 | 22.0 | 0.0 | 87.9 | 12.1 | 74.5 | 28.5 | 37.5 | 0.0 | 140.5 |
| 13 | GB | 11.5 | 4.8 | 7.7 | 0.0 | 23.9 | 6.9 | 44.0 | 18.5 | 25.9 | 0.0 | 88.4 |
| 13 | TG | 1.0 | 1.9 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 1.3 | 5.5 | 11.6 | 0.0 | 0.0 | 17.1 |
| 14 | ST | 94.8 | 74.3 | 6.3 | 0.0 | 175.4 | 2.0 | 7.3 | 4.7 | 0.6 | 0.0 | 12.6 |
| 14 | PB | 33.2 | 19.0 | 9.5 | 0.0 | 61.6 | 2.8 | 11.4 | 8.5 | 5.4 | 0.0 | 25.3 |
| 14 | MB | 44.2 | 39.5 | 26.9 | 0.0 | 110.6 | 15.7 | 82.0 | 56.9 | 44.8 | 0.0 | 183.7 |
| 14 | GB | 26.9 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 30.0 | 9.3 | 108.7 | 10.4 | 0.0 | 0.0 | 119.1 |
| 14 | TG | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 15 | ST | 182.9 | 17.3 | 42.2 | 36.8 | 279.3 | 3.2 | 12.9 | 1.1 | 3.5 | 3.1 | 20.6 |
| 15 | PB | 49.8 | 2.2 | 37.9 | 11.9 | 101.7 | 4.2 | 18.1 | 0.6 | 14.2 | 4.5 | 37.4 |
| 15 | MB | 14.1 | 1.1 | 8.7 | 2.2 | 25.9 | 3.6 | 21.7 | 2.6 | 13.5 | 3.1 | 40.9 |
| 15 | GB | 21.6 | 11.9 | 0.0 | 0.0 | 33.5 | 10.9 | 89.0 | 49.5 | 0.0 | 0.0 | 138.5 |
| 15 | TG | 23.8 | 2.2 | 0.0 | 0.0 | 26.0 | 14.4 | 167.5 | 14.8 | 0.0 | 0.0 | 182.3 |
| 16 | ST | 174.4 | 84.8 | 84.8 | 0.0 | 344.0 | 3.9 | 13.8 | 5.5 | 6.7 | 0.0 | 26.0 |
| 16 | PB | 68.3 | 35.3 | 40.1 | 2.4 | 146.1 | 6.9 | 31.9 | 14.6 | 16.5 | 0.6 | 63.6 |
| 16 | MB | 35.4 | 21.2 | 4.7 | 0.0 | 61.3 | 7.8 | 57.1 | 26.5 | 4.8 | 0.0 | 88.4 |
| 16 | GB | 23.6 | 7.1 | 0.0 | 0.0 | 30.6 | 9.2 | 93.2 | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 117.3 |
| 16 | TG | 4.7 | 2.4 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 3.4 | 30.3 | 13.4 | 0.0 | 0.0 | 43.7 |
| 17 | ST | 305.4 | 180.9 | 53.4 | 3.0 | 542.7 | 6.0 | 22.0 | 12.3 | 4.8 | 0.1 | 39.2 |
| 17 | PB | 41.5 | 29.7 | 94.9 | 0.0 | 166.1 | 8.0 | 17.8 | 12.8 | 44.0 | 0.0 | 74.6 |
| 17 | MB | 0.0 | 0.0 | 23.7 | 0.0 | 23.7 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 26.6 | 0.0 | 26.6 |
| 17 | GB | 5.9 | 5.9 | 0.0 | 0.0 | 11.9 | 4.4 | 29.4 | 27.4 | 0.0 | 0.0 | 56.8 |
| 17 | TG | 11.9 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 14.8 | 7.9 | 78.8 | 21.4 | 0.0 | 0.0 | 100.2 |
| 18 | ST | 218.5 | 1.5 | 27.5 | 0.0 | 247.6 | 3.0 | 18.8 | 0.2 | 1.9 | 0.0 | 20.9 |
| 18 | PB | 128.4 | 0.0 | 16.8 | 0.0 | 145.2 | 6.5 | 52.4 | 0.0 | 7.9 | 0.0 | 60.3 |
| 18 | MB | 58.1 | 7.6 | 32.1 | 0.0 | 97.8 | 13.1 | 77.5 | 16.9 | 55.9 | 0.0 | 150.3 |
| 18 | GB | 12.2 | 18.3 | 1.5 | 0.0 | 32.1 | 9.4 | 48.3 | 65.5 | 4.6 | 0.0 | 118.4 |
| 18 | TG | 3.1 | 4.6 | 0.0 | 0.0 | 7.6 | 3.6 | 20.9 | 26.0 | 0.0 | 0.0 | 46.9 |

Legende:

ST = Stangenholz (7.5 - 17.4 cm BHD)

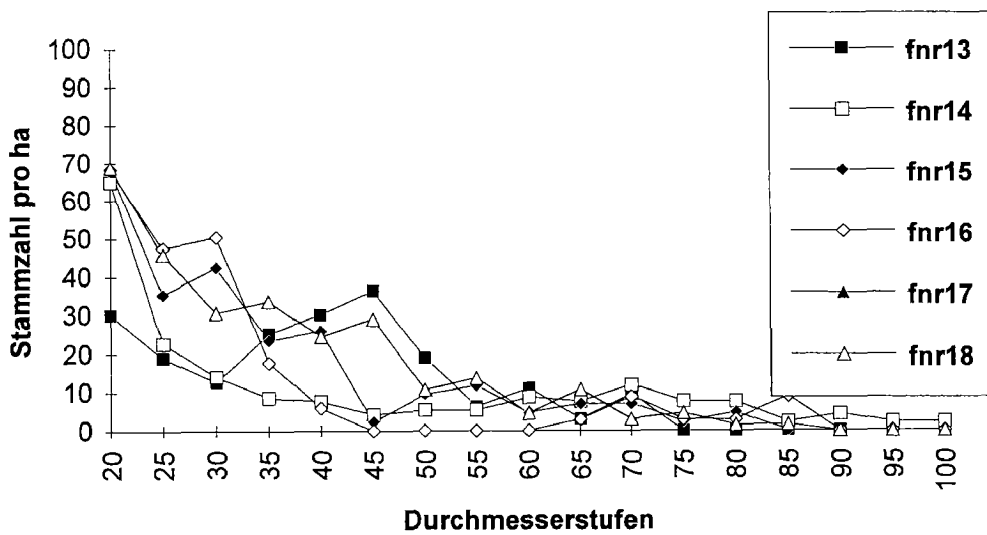
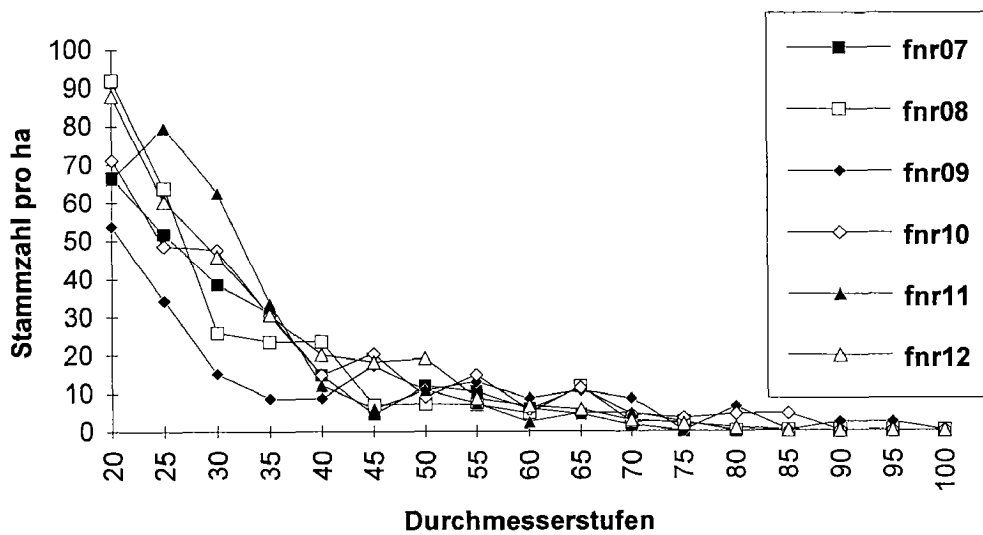
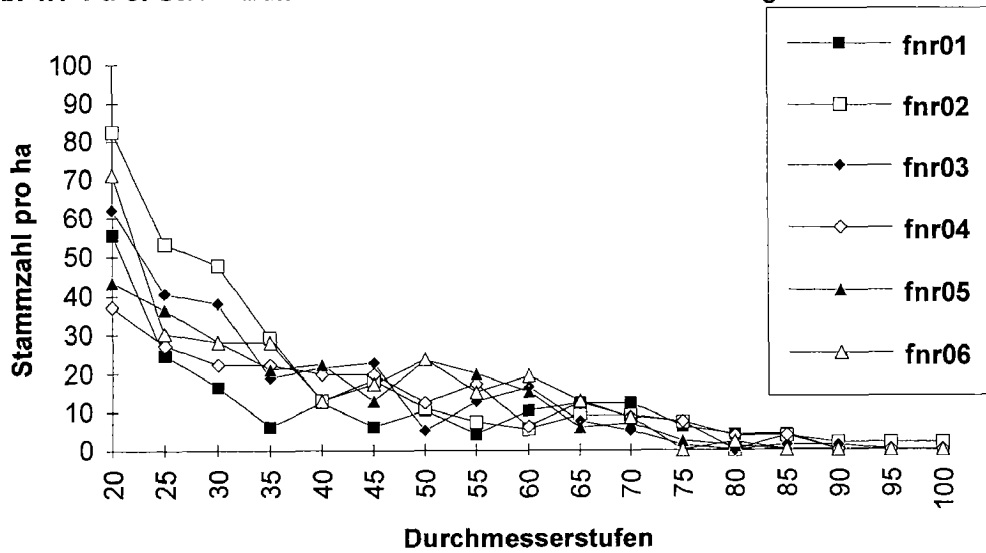
PB = Petit Bois (17.5 - 32.4 cm BHD)

MB = Moyen Bois (32.5 bis 52.4 cm BHD)

GB = Gros Bois (52.5 bis 72.4 cm BHD)

TG = Très Gros Bois (> 72.4 cm BHD)

Abb. 4.1-1 a-c: Stammzahlabnahmekurven der 18 Untersuchungsflächen.



Kapitel 4.2: Nachwuchsstruktur

Tab. A.4.2-1: Übersicht über die Verteilung der Nadelbäume in Jungwuchs und Dickung auf die Stichproben.

| | | Jungwuchs Nadelholz | | | | | | | | Dickung Nadelholz | | | | | |
|-----|----|---------------------|-------|------|-----|-----|------|-----|----|-------------------|------|------|-----|------|------|
| FNR | N | MW | STD | NVP | Q1 | MED | Q3 | FNR | N | MW | STD | NVP | Q1 | MED | Q3 |
| 1 | 27 | 1.85 | 2.18 | 0.81 | 0.0 | 1.0 | 3.0 | 1 | 27 | 4.85 | 6.18 | 0.76 | 1.0 | 1.0 | 8.0 |
| 2 | 24 | 0.08 | 0.28 | 0.31 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2 | 24 | 2.13 | 2.21 | 0.86 | 0.0 | 2.0 | 3.0 |
| 3 | 29 | 0.10 | 0.41 | 0.28 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3 | 29 | 1.45 | 1.88 | 0.77 | 0.0 | 1.0 | 2.0 |
| 4 | 27 | 1.96 | 3.83 | 0.59 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 4 | 27 | 2.19 | 3.74 | 0.61 | 0.0 | 1.0 | 3.0 |
| 5 | 30 | 3.00 | 5.77 | 0.60 | 0.0 | 0.0 | 4.0 | 5 | 30 | 3.07 | 3.88 | 0.73 | 1.0 | 2.0 | 4.0 |
| 6 | 26 | 0.31 | 0.74 | 0.44 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6 | 26 | 3.42 | 2.21 | 0.92 | 1.0 | 4.0 | 5.0 |
| 7 | 30 | 6.60 | 8.24 | 0.77 | 0.0 | 4.0 | 10.0 | 7 | 30 | 7.33 | 7.77 | 0.84 | 2.0 | 4.5 | 11.0 |
| 8 | 26 | 4.69 | 5.36 | 0.77 | 1.0 | 4.0 | 6.0 | 8 | 26 | 7.92 | 5.63 | 0.88 | 4.0 | 6.5 | 9.0 |
| 9 | 22 | 0.00 | 0.00 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 9 | 22 | 2.27 | 2.98 | 0.76 | 0.0 | 1.5 | 3.0 |
| 10 | 20 | 1.50 | 2.06 | 0.75 | 0.0 | 1.0 | 2.5 | 10 | 20 | 3.65 | 5.03 | 0.72 | 0.0 | 2.0 | 5.0 |
| 11 | 30 | 0.20 | 0.66 | 0.35 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11 | 30 | 1.13 | 1.66 | 0.70 | 0.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12 | 27 | 1.74 | 2.55 | 0.71 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 12 | 27 | 2.81 | 2.65 | 0.87 | 1.0 | 2.0 | 5.0 |
| 13 | 31 | 0.65 | 1.33 | 0.56 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 13 | 31 | 2.81 | 3.36 | 0.79 | 0.0 | 1.0 | 5.0 |
| 14 | 27 | 10.89 | 14.76 | 0.72 | 0.0 | 6.0 | 14.0 | 14 | 27 | 5.78 | 8.97 | 0.67 | 0.0 | 2.0 | 8.0 |
| 15 | 30 | 0.67 | 1.35 | 0.51 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 15 | 30 | 4.40 | 4.20 | 0.85 | 1.0 | 3.0 | 6.0 |
| 16 | 20 | 0.40 | 0.82 | 0.57 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 16 | 20 | 4.05 | 3.03 | 0.91 | 1.5 | 3.5 | 6.0 |
| 17 | 18 | 4.06 | 4.05 | 0.85 | 1.0 | 3.0 | 5.0 | 17 | 18 | 11.39 | 7.90 | 0.94 | 6.0 | 11.0 | 15.0 |
| 18 | 24 | 0.38 | 1.06 | 0.41 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18 | 24 | 0.50 | 1.02 | 0.57 | 0.0 | 0.0 | 0.5 |

Legende:

FNR = Flächennummer

N = Anzahl Stichproben

MW = Mittelwert (Stz./a)

STD = Standardabweichung

NVP = Normalverteilungsprüfung

Q1: 1. Quartil

MED = Median

Q3 = 3. Quartil

Tab. A.4.2-2: Klumpungsindizes pro Baumart, im Bereich 2.5 bis 7.4 cm BHD.
 Baumart fett markiert: Baumart mit stärkster Aggregation auf der UFL

| FNR | ANZ | BA | MW | STD | KI | Sign. | FNR | ANZ | MW | STD | KI | Sign. | BA |
|-----|-----|----|------|------|------|-------|-----|-----|------|------|------|-------|----|
| 1 | 27 | AL | 1.19 | 2.37 | 4.74 | *** | 10 | 20 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 1 | 27 | BU | 2.56 | 2.98 | 3.47 | *** | 10 | 20 | 1.10 | 1.41 | 1.81 | * | BU |
| 1 | 27 | FI | 1.04 | 2.58 | 6.41 | *** | 10 | 20 | 0.00 | 0.00 | . | | FI |
| 1 | 27 | TA | 1.96 | 3.16 | 5.07 | *** | 10 | 20 | 2.15 | 3.18 | 4.71 | *** | TA |
| 2 | 24 | AL | 0.46 | 1.47 | 4.74 | *** | 11 | 30 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 2 | 24 | BU | 0.00 | 0.00 | . | | 11 | 30 | 0.33 | 0.66 | 1.31 | | BU |
| 2 | 24 | FI | 0.13 | 0.45 | 1.61 | * | 11 | 30 | 0.00 | 0.00 | . | | FI |
| 2 | 24 | TA | 1.42 | 1.67 | 1.96 | ** | 11 | 30 | 0.97 | 1.59 | 2.60 | *** | TA |
| 3 | 29 | AL | 0.34 | 1.14 | 3.79 | *** | 12 | 27 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 3 | 29 | BU | 0.55 | 0.87 | 1.37 | | 12 | 27 | 0.85 | 1.17 | 1.60 | * | BU |
| 3 | 29 | FI | 0.00 | 0.00 | . | | 12 | 27 | 0.33 | 1.00 | 3.00 | *** | FI |
| 3 | 29 | TA | 1.17 | 1.56 | 2.08 | *** | 12 | 27 | 1.30 | 1.54 | 1.83 | ** | TA |
| 4 | 27 | AL | 0.33 | 0.92 | 2.54 | *** | 13 | 31 | 0.10 | 0.30 | 0.93 | | AL |
| 4 | 27 | BU | 0.37 | 0.63 | 1.07 | | 13 | 31 | 1.19 | 1.82 | 2.76 | *** | BU |
| 4 | 27 | FI | 0.59 | 2.17 | 7.95 | *** | 13 | 31 | 0.81 | 1.70 | 3.59 | *** | FI |
| 4 | 27 | TA | 1.00 | 1.30 | 1.69 | ** | 13 | 31 | 1.03 | 1.47 | 2.10 | *** | TA |
| 5 | 30 | AL | 0.00 | 0.00 | . | | 14 | 27 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 5 | 30 | BU | 0.53 | 0.78 | 1.13 | | 14 | 27 | 0.59 | 1.22 | 2.50 | *** | BU |
| 5 | 30 | FI | 1.13 | 1.70 | 2.54 | *** | 14 | 27 | 2.22 | 4.31 | 8.35 | *** | FI |
| 5 | 30 | TA | 0.53 | 1.14 | 2.42 | *** | 14 | 27 | 0.96 | 1.95 | 3.95 | *** | TA |
| 6 | 26 | AL | 0.12 | 0.59 | 3.00 | *** | 15 | 30 | 0.03 | 0.18 | 1.00 | | AL |
| 6 | 26 | BU | 0.81 | 1.27 | 1.98 | ** | 15 | 30 | 0.13 | 0.43 | 1.41 | | BU |
| 6 | 26 | FI | 0.08 | 0.27 | 0.96 | | 15 | 30 | 0.57 | 1.04 | 1.91 | ** | FI |
| 6 | 26 | TA | 2.27 | 1.43 | 0.90 | | 15 | 30 | 2.00 | 1.86 | 1.72 | ** | TA |
| 7 | 30 | AL | 0.13 | 0.35 | 0.90 | | 16 | 20 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 7 | 30 | BU | 1.93 | 1.72 | 1.53 | * | 16 | 20 | 0.40 | 0.75 | 1.42 | | BU |
| 7 | 30 | FI | 0.83 | 1.02 | 1.25 | | 16 | 20 | 0.55 | 0.94 | 1.62 | * | FI |
| 7 | 30 | TA | 2.40 | 3.92 | 6.40 | *** | 16 | 20 | 2.25 | 1.80 | 1.44 | | TA |
| 8 | 26 | AL | 0.31 | 0.74 | 1.76 | ** | 17 | 18 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 8 | 26 | BU | 2.35 | 3.01 | 3.85 | *** | 17 | 18 | 0.28 | 0.57 | 1.19 | | BU |
| 8 | 26 | FI | 0.27 | 0.67 | 1.65 | * | 17 | 18 | 1.89 | 2.17 | 2.48 | *** | FI |
| 8 | 26 | TA | 3.54 | 2.44 | 1.68 | * | 17 | 18 | 6.00 | 5.12 | 4.37 | *** | TA |
| 9 | 22 | AL | 0.00 | 0.00 | . | | 18 | 24 | 0.00 | 0.00 | . | | AL |
| 9 | 22 | BU | 1.50 | 1.99 | 2.65 | *** | 18 | 24 | 0.17 | 0.38 | 0.87 | | BU |
| 9 | 22 | FI | 0.05 | 0.21 | 1.00 | | 18 | 24 | 0.04 | 0.20 | 1.00 | | FI |
| 9 | 22 | TA | 1.86 | 2.62 | 3.69 | *** | 18 | 24 | 0.25 | 0.74 | 2.17 | *** | TA |

Legende:

FNR = Flächennummer ANZ = Anzahl Stichproben MW = Mittelwert (Stz./a)
 STD = Standardabweichung KI = Klumpungsindex Sign. = statistische Signifikanz

Kapitel 5.1: Auslese

Tab. A.5.1-1: Statistische Kennwerte der Durchmesserverteilung der Ausleseebäume

| FNR | ANZ | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|-----------------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 34 | 13.93 | 6.00 | 0.90 | 0.01 | 6.5 | 9.0 | 11.5 | 19.0 | 26.5 |
| 2 | 41 | 17.96 | 5.66 | 0.98 | 0.84 | 8.5 | 15.0 | 18.5 | 21.0 | 27.0 |
| 3 | 31 | 19.27 | 6.87 | 0.94 | 0.10 | 3.0 | 15.5 | 21.0 | 24.0 | 29.0 |
| 4 | 33 | 15.88 | 7.68 | 0.96 | 0.25 | 3.0 | 9.5 | 16.5 | 22.0 | 27.5 |
| 5 | 45 | 12.84 | 8.65 | 0.90 | 0.01 | 3.0 | 6.0 | 11.0 | 15.5 | 31.0 |
| 6 | 33 | 17.71 | 6.38 | 0.92 | 0.02 | 7.5 | 14.0 | 16.0 | 20.5 | 31.0 |
| 7 | 47 | 15.64 | 6.28 | 0.96 | 0.16 | 7.0 | 10.5 | 16.0 | 21.5 | 26.0 |
| 8 | 30 | 14.82 | 5.12 | 0.96 | 0.29 | 6.5 | 10.5 | 14.3 | 18.5 | 23.0 |
| 9 | 44 | 13.07 | 5.36 | 0.85 | 0.00 | 7.5 | 10.0 | 11.5 | 13.8 | 24.0 |
| 10 | 26 | 13.75 | 3.34 | 0.96 | 0.40 | 9.5 | 11.0 | 13.8 | 16.5 | 18.5 |
| 11 | 20 | 20.78 | 4.33 | 0.93 | 0.17 | 13.3 | 17.8 | 22.3 | 23.8 | 26.8 |
| 12 | 47 | 17.32 | 5.99 | 0.92 | 0.01 | 5.5 | 12.5 | 18.5 | 22.0 | 24.5 |
| 13 | 47 | 16.65 | 5.39 | 0.95 | 0.05 | 7.0 | 13.5 | 17.0 | 20.5 | 24.5 |
| 14 | 75 | 4.60 | 4.71 | 0.79 | 0.00 | 0.8 | 1.4 | 2.5 | 6.5 | 14.0 |
| 15 | 41 | 13.82 | 4.83 | 0.97 | 0.61 | 6.0 | 10.5 | 13.5 | 17.0 | 21.5 |
| 16 | 13 | 16.65 | 4.15 | 0.97 | 0.83 | 10.5 | 14.0 | 16.0 | 20.0 | 24.5 |
| 17 | 31 | 13.48 | 4.77 | 0.96 | 0.40 | 7.0 | 10.0 | 13.0 | 17.0 | 21.0 |
| 18 | 18 | 18.83 | 3.73 | 0.98 | 0.95 | 11.0 | 17.0 | 18.8 | 22.0 | 25.0 |
| ANZ | 18 | | | | | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| MW | 15.39 | | | | | 6.84 | 11.54 | 15.08 | 18.94 | 24.74 |
| Std | 3.55 | | | | | 3.13 | 3.95 | 4.48 | 4.21 | 4.20 |
| NVP | 0.88 | | | | | 0.97 | 0.94 | 0.93 | 0.87 | 0.94 |
| P < W | 0.03 | | | | | 0.75 | 0.32 | 0.17 | 0.02 | 0.33 |
| Q1 | 13.75 | | | | | 5.50 | 10.00 | 13.00 | 17.00 | 23.00 |
| Med | 15.75 | | | | | 7.00 | 10.75 | 16.00 | 20.25 | 24.75 |
| Q3 | 17.71 | | | | | 8.50 | 14.00 | 18.50 | 22.00 | 27.00 |

Legende:

FNR = Flächennummer ANZ = Anzahl Stichproben MW = Mittelwert (Stz./a)

STD = Standardabweichung NVP = Normalverteilungsprüfung

P<W: Wahrscheinlichkeit, dass Verteilung signifikant von Normalverteilung abweicht.

P05: 5%-Perzentil Q1: 1. Quartil MED = Median Q3 = 3. Quartil P95= 95%-Perzent.

Tab. A.5.1-2: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Wahl eines Auslesebaumes (n = 4512).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 557.28 | 0.0000 | *** |
| Baumart BA | 3 | 34.04 | 0.0000 | *** |
| Exposition EXP | 1 | 0.17 | 0.6785 | |
| Förstergruppe FGR | 2 | 9.87 | 0.0072 | ** |
| BHD-Stufe DSTU | | 29.14 | 0.0000 | *** |
| BA * EXP | 3 | 4.33 | 0.2283 | |
| BA * FGR | 6 | 13.30 | 0.0386 | * |
| BA * DSTU | 6 | 1.98 | 0.9216 | |
| EXP * DSTU | 2 | 0.78 | 0.6772 | |
| FGR * DSTU | 4 | 23.68 | 0.0001 | *** |
| Likelihood Ratio | 30 | 55.55 | 0.0031 | |

Legende zu Tab. A.5.2-2 und A.5.2-3:

FG= Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung).

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind

Tab. A.5.1-3: Schätzung des Einflusses der einzeln. Variablen auf die Auslese (n= 4512).

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|---------------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konstante | | -1.98 | 0.08 | 557.28 | 0.0000 |
| Baumart | and. Lbh | 0.18 | 0.19 | 0.92 | 0.3378 |
| | Buche | -0.57 | 0.12 | 22.25 | 0.0000 |
| | Fichte | 0.58 | 0.14 | 17.04 | 0.0000 |
| | Tanne | -0.20 | 0.11 | 3.55 | 0.0595 |
| Exposition | Nord | 0.04 | 0.09 | 0.17 | 0.6785 |
| | Süd | -0.04 | 0.09 | 0.17 | 0.6785 |
| Försterguppe | FGR = 1 | 0.24 | 0.12 | 3.66 | 0.0557 |
| | FGR = 2 | 0.06 | 0.14 | 0.16 | 0.6851 |
| | FGR = 3 | -0.29 | 0.10 | 8.19 | 0.0042 |
| BHD-Stufe | S10 | -0.58 | 0.11 | 28.06 | 0.0000 |
| | S15 | 0.14 | 0.10 | 1.81 | 0.1783 |
| | S20 | 0.44 | 0.11 | 15.02 | 0.0001 |
| BA * EXP | AL * Nord | 0.18 | 0.19 | 0.93 | 0.3339 |
| | BU * Nord | -0.29 | 0.15 | 3.54 | 0.0600 |
| | FI * Nord | 0.00 | 0.16 | 0.00 | 0.9794 |
| | TA * Nord | 0.10 | 0.11 | 0.83 | 0.3621 |
| BA * FGR | AL * 1 | 0.05 | 0.27 | 0.03 | 0.8586 |
| | AL * 2 | -0.22 | 0.34 | 0.42 | 0.5161 |
| | AL * 3 | 0.17 | 0.23 | 0.53 | 0.4683 |
| | BU * 1 | -0.31 | 0.20 | 2.29 | 0.1300 |
| | BU * 2 | 0.62 | 0.22 | 8.10 | 0.0044 |
| | BU * 3 | -0.31 | 0.17 | 3.46 | 0.0629 |
| | FI * 1 | 0.28 | 0.21 | 1.73 | 0.1881 |
| | FI * 2 | -0.49 | 0.21 | 5.57 | 0.0182 |
| | FI * 3 | 0.21 | 0.16 | 1.72 | 0.1898 |
| | TA * 1 | -0.02 | 0.14 | 0.02 | 0.8935 |
| | TA * 2 | 0.09 | 0.16 | 0.36 | 0.5485 |
| | TA * 3 | -0.08 | 0.12 | 0.39 | 0.5328 |
| BA * DSTU | AL * S10 | -0.08 | 0.24 | 0.10 | 0.7477 |
| | AL * S15 | 0.19 | 0.21 | 0.80 | 0.3715 |
| | AL * S20 | -0.11 | 0.23 | 0.23 | 0.6317 |
| | BU * S10 | -0.04 | 0.16 | 0.05 | 0.8241 |
| | BU * S15 | -0.05 | 0.16 | 0.09 | 0.7689 |
| | BU * S20 | 0.08 | 0.17 | 0.24 | 0.6240 |
| | FI * S10 | 0.15 | 0.16 | 0.92 | 0.3377 |
| | FI * S15 | -0.16 | 0.16 | 0.94 | 0.3326 |
| | FI * S20 | 0.01 | 0.19 | 0.00 | 0.9694 |
| | TA * S10 | -0.04 | 0.13 | 0.09 | 0.7639 |
| | TA * S15 | 0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.8925 |
| | TA * S20 | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.8631 |
| EXP * DSTU | NORD*S10 | -0.09 | 0.11 | 0.72 | 0.3945 |
| | NORD*S15 | 0.02 | 0.10 | 0.05 | 0.8173 |
| | NORD*S20 | 0.07 | 0.10 | 0.45 | 0.5007 |
| FGR * DSTU | 1 * S10 | -0.24 | 0.12 | 3.72 | 0.0538 |
| | 1 * S15 | -0.04 | 0.12 | 0.12 | 0.7257 |
| | 1 * S20 | 0.28 | 0.12 | 5.24 | 0.0221 |
| | 2 * S10 | 0.54 | 0.12 | 20.23 | 0.0000 |
| | 2 * S15 | -0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.8827 |
| | 2 * S20 | -0.53 | 0.14 | 15.03 | 0.0001 |
| | 3 * S10 | -0.31 | 0.11 | 7.80 | 0.0052 |
| | 3 * S15 | 0.06 | 0.10 | 0.34 | 0.5610 |
| | 3 * S20 | 0.25 | 0.11 | 5.40 | 0.0201 |

Tab. A.5.1-4: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf den BHD-Bereich der Auslese.
 Zielvariable: Wahl eines Auslesebaumes mit BHD < 7.5 cm. (n = 521).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz | |
|------------------|-----|------------------|----------------------|-------------|-----|
| Konstante | 1 | 104.89 | 0.0000 | | |
| Baumart | BA | 2 | 11.55 | 0.0031 | ** |
| Exposition | EXP | 1 | 0.52 | 0.4698 | |
| Förstergruppe | FGR | 2 | 0.68 | 0.7127 | |
| BA * EXP | | 2 | 2.54 | 0.2807 | |
| BA * FGR | | 4 | 8.13 | 0.0869 | (*) |
| Likelihood Ratio | 3 | 2.04 | 0.5642 | | |

Der Interaktionseffekt EXP * FGR konnte nicht berechnet werden, da die FGR 2 am Südhang keine Fläche bearbeitet hat.

Tab. A.5.1-5: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen
 auf die Wahl eines Auslesebaumes mit BHD < 7.5 cm

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|----------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konst. | | -2.37 | 0.23 | 104.89 | 0.0000 |
| BA | Buche | -0.55 | 0.37 | 2.23 | 0.1350 |
| | Fichte | 1.02 | 0.31 | 11.08 | 0.0009 |
| | Tanne | -0.46 | 0.30 | 2.40 | 0.1211 |
| EXP | Nord | 0.18 | 0.24 | 0.52 | 0.4698 |
| | Süd | -0.18 | 0.24 | 0.52 | 0.4698 |
| FGR | FGR 1 | -0.05 | 0.31 | 0.03 | 0.8610 |
| | FGR 2 | 0.24 | 0.33 | 0.54 | 0.4637 |
| | FGR 3 | -0.18 | 0.27 | 0.46 | 0.4972 |
| BA * FGR | BU * FGR1 | 1.01 | 0.49 | 4.22 | 0.0400 |
| | BU * FGR2 | -1.29 | 0.56 | 5.23 | 0.0222 |
| | FI * FGR2 | 0.89 | 0.40 | 5.10 | 0.0239 |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind

**Tab. A.5.1-6: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf den Durchmesserbereich der Auslese (n = 636).
Zielvariable: Wahl eines Auslesebaumes mit BHD > 19.9 cm.**

| Parameter | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 54.20 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 3 | 6.13 | 0.1055 | (*) |
| Exposition EXP | 1 | 0.43 | 0.5127 | |
| Förstergruppe FGR | 2 | 6.32 | 0.0425 | * |
| BA * EXP | 3 | 4.50 | 0.2121 | |
| BA * FGR | 6 | 4.54 | 0.6047 | |
| Likelihood Ratio | 4 | 7.19 | 0.1260 | |

Legende:

FG= Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.
Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind

Tab. A.5.1-7: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf die Wahl eines Auslesebaumes mit BHD > 19.9 cm

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|----------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konst. | | -1.45 | 0.18 | 65.56 | 0.0000 |
| BA | And.Lbh | 0.62 | 0.37 | 2.78 | 0.0955 |
| | Buche | -0.16 | 0.32 | 0.26 | 0.6105 |
| | Fichte | -0.76 | 0.31 | 5.97 | 0.0146 |
| | Tanne | 0.31 | 0.22 | 1.93 | 0.1650 |
| EXP | Nord | -0.11 | 0.16 | 0.43 | 0.5127 |
| | Süd | 0.11 | 0.16 | 0.43 | 0.5127 |
| FGR | FGR 1 | 0.26 | 0.23 | 1.29 | 0.2559 |
| | FGR 2 | -0.86 | 0.31 | 7.54 | 0.0060 |
| | FGR 3 | 0.60 | 0.20 | 8.80 | 0.0030 |
| BA * EXP | FI * Nord | 0.61 | 0.31 | 3.81 | 0.0509 |
| BA * FGR | BU * FGR2 | -1.09 | 0.61 | 3.18 | 0.0744 |
| | BU * FGR3 | 0.73 | 0.37 | 3.86 | 0.0494 |

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind

Tab. A.5.1-8: Auslese: Anzahl Ausleseebäume pro ha, nach Baumarten getrennt

| FNR | TANNE | FICHTE | BUCHE | and.Lbh | NDH | LBH | STZ |
|-------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|
| 1 | 16.48 | 12.36 | 18.54 | 18.54 | 28.84 | 37.07 | 65.91 |
| 2 | 42.19 | 7.34 | 1.83 | 7.34 | 49.52 | 9.17 | 58.69 |
| 3 | 16.46 | 0.00 | 3.80 | 2.53 | 16.46 | 6.33 | 22.78 |
| 4 | 17.34 | 8.67 | 3.72 | 1.24 | 26.01 | 4.95 | 30.96 |
| 5 | 17.64 | 22.35 | 3.53 | 0.00 | 39.99 | 3.53 | 43.52 |
| 6 | 49.63 | 4.32 | 6.47 | 0.00 | 53.95 | 6.47 | 60.42 |
| 7 | 14.80 | 17.76 | 19.24 | 4.44 | 32.56 | 23.68 | 56.24 |
| 8 | 44.79 | 2.36 | 7.07 | 9.43 | 47.15 | 16.50 | 63.65 |
| 9 | 36.54 | 0.00 | 47.28 | 0.00 | 36.54 | 47.28 | 83.82 |
| 10 | 57.35 | 5.21 | 5.21 | 0.00 | 62.57 | 5.21 | 67.78 |
| 11 | 9.04 | 0.00 | 2.26 | 0.00 | 9.04 | 2.26 | 11.30 |
| 12 | 25.29 | 7.23 | 10.84 | 0.00 | 32.52 | 10.84 | 43.36 |
| 13 | 14.33 | 8.60 | 9.55 | 4.78 | 22.93 | 14.33 | 37.26 |
| 14 | 15.80 | 58.47 | 3.16 | 0.00 | 74.27 | 3.16 | 77.43 |
| 15 | 27.06 | 7.58 | 1.08 | 7.58 | 34.64 | 8.66 | 43.30 |
| 16 | 11.78 | 11.78 | 2.36 | 2.36 | 23.56 | 4.71 | 28.28 |
| 17 | 47.45 | 41.52 | 0.00 | 0.00 | 88.97 | 0.00 | 88.97 |
| 18 | 21.39 | 0.00 | 1.53 | 0.00 | 21.39 | 1.53 | 22.92 |
| ANZ | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| MW | 26.96 | 11.97 | 8.28 | 3.24 | 38.94 | 11.51 | 50.45 |
| STD | 15.18 | 15.4 | 11.21 | 4.92 | 20.71 | 12.74 | 22.37 |
| NVP | 0.871 | 0.729 | 0.656 | 0.718 | 0.933 | 0.762 | 0.811 |
| P < W | 0.017 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.221 | 0.0003 | 0.8113 |
| Q1 | 15.8 | 2.4 | 2.3 | 0 | 23.6 | 3.5 | 30.96 |
| MED | 19.5 | 7.5 | 3.8 | 0.6 | 33.6 | 6.4 | 49.88 |
| Q3 | 42.2 | 12.4 | 9.6 | 4.8 | 49.5 | 14.3 | 65.91 |

Legende:

FNR = Flächennummer ANZ = Anzahl Stichproben MW = Mittelwert (Stz./a)

STD = Standardabweichung NVP = Normalverteilungsprüfung

P < W: Wahrscheinlichkeit, dass Verteilung signifikant von Normalverteilung abweicht.

Q1: 1. Quartil (25%)

MED = Median (50%)

Q3 = 3. Quartil (75%).

Tab. A.5.1-9: Verteilung der Auslesebäume auf BHD-Stufen, pro Baumart (n = 18).

| BA | STU | MW | STD | NVP | Q1 | MED | Q3 |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| TA | 5 | 1.84 | 2.07 | 0.830 | 0.00 | 1.07 | 3.61 |
| TA | 10 | 7.10 | 5.44 | 0.937 | 2.53 | 6.49 | 10.75 |
| TA | 15 | 10.23 | 6.83 | 0.889 | 6.69 | 7.54 | 12.90 |
| TA | 20 | 7.80 | 6.31 | 0.870 | 2.96 | 6.06 | 10.43 |
| FI | 5 | 3.00 | 6.72 | 0.513 | 0.00 | 0.00 | 2.48 |
| FI | 10 | 3.85 | 5.65 | 0.717 | 0.00 | 1.57 | 3.67 |
| FI | 15 | 2.34 | 2.94 | 0.757 | 0.00 | 1.70 | 3.67 |
| FI | 20 | 1.77 | 1.96 | 0.841 | 0.00 | 1.54 | 2.96 |
| BU | 5 | 0.59 | 0.97 | 0.672 | 0.00 | 0.00 | 1.20 |
| BU | 10 | 3.33 | 10.07 | 0.371 | 0.00 | 0.00 | 1.91 |
| BU | 15 | 2.27 | 2.45 | 0.821 | 0.96 | 1.25 | 2.41 |
| BU | 20 | 1.95 | 2.80 | 0.724 | 0.00 | 0.57 | 2.15 |
| AL | 5 | 0.27 | 0.65 | 0.472 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| AL | 10 | 0.69 | 1.33 | 0.595 | 0.00 | 0.00 | 1.08 |
| AL | 15 | 1.19 | 1.99 | 0.666 | 0.00 | 0.00 | 1.83 |
| AL | 20 | 1.01 | 1.66 | 0.679 | 0.00 | 0.00 | 2.16 |
| NDH | 5 | 4.85 | 7.56 | 0.618 | 0.00 | 2.54 | 4.44 |
| NDH | 10 | 10.95 | 8.50 | 0.930 | 4.71 | 9.61 | 16.28 |
| NDH | 15 | 12.57 | 8.79 | 0.881 | 7.64 | 10.55 | 14.14 |
| NDH | 20 | 9.56 | 5.68 | 0.881 | 5.65 | 8.12 | 12.22 |
| LBH | 5 | 0.86 | 1.07 | 0.781 | 0.00 | 0.00 | 1.83 |
| LBH | 10 | 4.02 | 10.12 | 0.443 | 0.00 | 0.54 | 2.96 |
| LBH | 15 | 3.46 | 3.31 | 0.863 | 1.18 | 2.25 | 5.41 |
| LBH | 20 | 2.96 | 3.91 | 0.749 | 0.00 | 1.99 | 2.53 |
| STZ | 5 | 5.70 | 8.02 | 0.610 | 1.83 | 4.21 | 4.95 |
| STZ | 10 | 14.97 | 13.72 | 0.863 | 4.78 | 11.38 | 20.86 |
| STZ | 15 | 16.02 | 8.99 | 0.884 | 10.13 | 14.23 | 18.40 |
| STZ | 20 | 12.52 | 6.06 | 0.965 | 8.66 | 12.45 | 16.50 |

Legende:

FNR = Flächennummer

STD = Standardabweichung

Q1: 1. Quartil (25%)

ANZ = Anzahl Stichproben

NVP = Normalverteilungsprüfung

MED = Median (50%)

MW = Mittelwert (Stz./a)

Q3 = 3. Quartil (75%).

Tab. A. 5.1-10: Anfangsstammzahl, Auslese und Ausleseintensität im Nachwuchs.

| | | Anfangsstammzahl | | | | Anzahl Ausleseebäume | | | | Ausleseintensität bei Pflege (%) | | | | | |
|-----|-----|------------------|----|-----|----|----------------------|----|----|----|----------------------------------|-------|------|------|------|------|
| FNR | STU | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | NDH | LBH |
| 1 | 5 | 73 | 36 | 149 | 45 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.0 | 2.8 | 0.0 | 2.2 | 0.9 | 0.5 |
| 1 | 10 | 29 | 27 | 74 | 16 | 7 | 4 | 3 | 2 | 24.1 | 14.8 | 4.1 | 12.5 | 19.6 | 5.6 |
| 1 | 15 | 10 | 3 | 27 | 11 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0.0 | 0.0 | 7.4 | 27.3 | 0.0 | 13.2 |
| 1 | 20 | 2 | 3 | 11 | 14 | 1 | 1 | 4 | 3 | 50.0 | 33.3 | 36.4 | 21.4 | 40.0 | 28.0 |
| 2 | 5 | 75 | 5 | 0 | 22 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 4.5 |
| 2 | 10 | 86 | 6 | 1 | 7 | 2 | 2 | 0 | 2 | 2.3 | 33.3 | 0.0 | 28.6 | 4.3 | 25.0 |
| 2 | 15 | 77 | 2 | 0 | 7 | 7 | 2 | 0 | 1 | 9.1 | 100.0 | 0.0 | 14.3 | 11.5 | 14.3 |
| 2 | 20 | 40 | 2 | 4 | 0 | 14 | 0 | 1 | 0 | 35.0 | 0.0 | 25.0 | | 33.3 | 25.0 |
| 3 | 5 | 78 | 0 | 49 | 28 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.0 | | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 |
| 3 | 10 | 80 | 1 | 27 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.5 | 0.0 |
| 3 | 15 | 48 | 0 | 18 | 5 | 7 | 0 | 1 | 0 | 14.6 | | 5.6 | 0.0 | 14.6 | 4.3 |
| 3 | 20 | 30 | 0 | 16 | 5 | 4 | 0 | 1 | 1 | 13.3 | | 6.2 | 20.0 | 13.3 | 9.5 |
| 4 | 5 | 50 | 31 | 30 | 25 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0.0 | 6.5 | 6.7 | 0.0 | 2.5 | 3.6 |
| 4 | 10 | 44 | 3 | 10 | 4 | 3 | 1 | 0 | 1 | 6.8 | 33.3 | 0.0 | 25.0 | 8.5 | 7.1 |
| 4 | 15 | 40 | 4 | 6 | 1 | 6 | 1 | 1 | 0 | 15.0 | 25.0 | 16.7 | 0.0 | 15.9 | 14.3 |
| 4 | 20 | 20 | 3 | 5 | 2 | 5 | 2 | 0 | 0 | 25.0 | 66.7 | 0.0 | 0.0 | 30.4 | 0.0 |
| 5 | 5 | 31 | 70 | 54 | 0 | 1 | 11 | 0 | 0 | 3.3 | 15.8 | 0.0 | | 12.0 | 0.0 |
| 5 | 10 | 52 | 30 | 26 | 0 | 6 | 3 | 1 | 0 | 11.5 | 10.0 | 3.8 | | 11.0 | 3.8 |
| 5 | 15 | 38 | 19 | 16 | 0 | 6 | 3 | 1 | 0 | 15.8 | 15.8 | 6.2 | | 15.8 | 6.2 |
| 5 | 20 | 29 | 10 | 9 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 6.9 | 10.0 | 0.0 | | 7.7 | 0.0 |
| 6 | 5 | 94 | 6 | 28 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.1 | 0.0 | 0.0 | | 1.0 | 0.0 |
| 6 | 10 | 90 | 5 | 41 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 4.4 | 0.0 | 0.0 | | 4.2 | 0.0 |
| 6 | 15 | 47 | 2 | 13 | 0 | 10 | 2 | 3 | 0 | 21.3 | 100.0 | 23.1 | | 25.0 | 23.1 |
| 6 | 20 | 24 | 1 | 8 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 33.3 | 0.0 | 0.0 | | 32.0 | 0.0 |
| 7 | 5 | 121 | 43 | 84 | 3 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1.6 | 2.3 | 1.2 | 0.0 | 1.8 | 1.2 |
| 7 | 10 | 37 | 32 | 85 | 8 | 4 | 7 | 2 | 0 | 10.8 | 21.9 | 2.4 | 0.0 | 15.9 | 2.2 |
| 7 | 15 | 30 | 12 | 31 | 9 | 2 | 2 | 6 | 1 | 6.7 | 16.7 | 19.4 | 11.1 | 9.5 | 17.5 |
| 7 | 20 | 14 | 5 | 30 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 14.3 | 40.0 | 13.3 | 50.0 | 21.1 | 17.7 |
| 8 | 5 | 119 | 7 | 108 | 12 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.6 | 0.0 |
| 8 | 10 | 75 | 5 | 29 | 11 | 5 | 1 | 2 | 1 | 6.7 | 20.0 | 6.9 | 9.1 | 7.5 | 7.5 |
| 8 | 15 | 54 | 3 | 11 | 9 | 6 | 0 | 1 | 2 | 11.1 | 0.0 | 9.1 | 22.2 | 10.5 | 15.0 |
| 8 | 20 | 35 | 0 | 5 | 3 | 6 | 0 | 0 | 1 | 17.1 | | 0.0 | 33.3 | 17.1 | 12.5 |
| 9 | 5 | 55 | 2 | 67 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3.7 | 0.0 | 0.0 | | 3.5 | 0.0 |
| 9 | 10 | 56 | 0 | 118 | 2 | 5 | 0 | 20 | 0 | 8.9 | | 16.9 | 0.0 | 8.9 | 16.7 |
| 9 | 15 | 22 | 1 | 29 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 | 27.3 | 0.0 | 3.4 | 0.0 | 26.1 | 3.3 |
| 9 | 20 | 19 | 1 | 6 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 21.1 | 0.0 | 16.7 | | 20.0 | 16.7 |

| | | Anfangsstammzahl | | | | Anzahl Ausleseebäume | | | | Ausleseintensität bei Pflege (%) | | | | | |
|-----|-----|------------------|----|-----|----|----------------------|----|----|----|----------------------------------|------|------|-------|------|------|
| FNR | STU | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | NDH | LBH |
| 10 | 5 | 45 | 0 | 39 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2.2 | | 0.0 | | 2.2 | 0.0 |
| 10 | 10 | 57 | 3 | 19 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 14.0 | 0.0 | 0.0 | | 13.3 | 0.0 |
| 10 | 15 | 29 | 7 | 14 | 0 | 9 | 1 | 2 | 0 | 31.0 | 14.3 | 14.3 | | 27.8 | 14.3 |
| 10 | 20 | 18 | 4 | 5 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 22.2 | 25.0 | 0.0 | | 22.7 | 0.0 |
| 11 | 5 | 33 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 10 | 71 | 0 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | | 0.0 | | 0.0 | 0.0 |
| 11 | 15 | 66 | 2 | 34 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 4.5 | 0.0 | 2.9 | | 4.4 | 2.9 |
| 11 | 20 | 43 | 1 | 24 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 11.6 | 0.0 | 4.2 | | 11.4 | 4.2 |
| 12 | 5 | 60 | 16 | 58 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 5.0 | 0.0 | 1.7 | | 3.9 | 1.7 |
| 12 | 10 | 87 | 25 | 32 | 1 | 6 | 1 | 0 | 0 | 6.9 | 4.0 | 0.0 | 0.0 | 6.2 | 0.0 |
| 12 | 15 | 88 | 11 | 30 | 0 | 6 | 1 | 2 | 0 | 6.8 | 9.1 | 6.7 | | 7.1 | 6.7 |
| 12 | 20 | 29 | 7 | 29 | 0 | 6 | 4 | 6 | 0 | 20.7 | 57.1 | 20.7 | | 27.8 | 20.7 |
| 13 | 5 | 42 | 58 | 108 | 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2.4 | 1.7 | 0.9 | 9.0 | 2.0 | 1.7 |
| 13 | 10 | 103 | 21 | 69 | 15 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1.0 | 9.5 | 2.9 | 0.0 | 2.4 | 2.4 |
| 13 | 15 | 83 | 11 | 54 | 12 | 7 | 4 | 1 | 3 | 8.4 | 36.4 | 1.9 | 25.0 | 11.7 | 6.1 |
| 13 | 20 | 58 | 5 | 34 | 9 | 6 | 2 | 6 | 1 | 10.3 | 40.0 | 17.6 | 11.1 | 12.7 | 16.3 |
| 14 | 5 | 11 | 46 | 33 | 0 | 3 | 17 | 2 | 0 | 26.3 | 36.8 | 6.0 | | 34.7 | 6.0 |
| 14 | 10 | 42 | 41 | 3 | 0 | 3 | 8 | 0 | 0 | 7.1 | 19.5 | 0.0 | | 13.3 | 0.0 |
| 14 | 15 | 29 | 11 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 13.8 | 0.0 | 0.0 | | 10.0 | 0.0 |
| 14 | 20 | 21 | 4 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0.0 | 50.0 | 0.0 | | 8.0 | 0.0 |
| 15 | 5 | 128 | 32 | 3 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0.0 | 12.6 | 0.0 | | 2.5 | 0.0 |
| 15 | 10 | 120 | 16 | 27 | 24 | 9 | 1 | 0 | 1 | 7.5 | 6.2 | 0.0 | 4.2 | 7.4 | 2.0 |
| 15 | 15 | 54 | 4 | 24 | 16 | 10 | 2 | 1 | 4 | 18.5 | 50.0 | 4.2 | 25.0 | 20.7 | 12.5 |
| 15 | 20 | 32 | 2 | 24 | 11 | 6 | 0 | 0 | 2 | 18.8 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 17.6 | 5.7 |
| 16 | 5 | 46 | 10 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 |
| 16 | 10 | 50 | 30 | 28 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2.0 | 3.3 | 0.0 | | 2.5 | 0.0 |
| 16 | 15 | 34 | 10 | 18 | 0 | 3 | 2 | 1 | 0 | 8.8 | 20.0 | 5.6 | | 11.4 | 5.6 |
| 16 | 20 | 16 | 8 | 10 | 1 | 1 | 2 | 0 | 1 | 6.2 | 25.0 | 0.0 | 100.0 | 12.5 | 9.1 |
| 17 | 5 | 133 | 35 | 24 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1.5 | 2.9 | 0.0 | | 1.8 | 0.0 |
| 17 | 10 | 77 | 46 | 14 | 1 | 4 | 7 | 0 | 0 | 5.2 | 15.2 | 0.0 | 0.0 | 8.9 | 0.0 |
| 17 | 15 | 39 | 21 | 11 | 0 | 8 | 4 | 0 | 0 | 20.5 | 19.0 | 0.0 | | 20.0 | 0.0 |
| 17 | 20 | 9 | 7 | 13 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 22.2 | 28.6 | 0.0 | | 25.0 | 0.0 |
| 18 | 5 | 6 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | 0.0 |
| 18 | 10 | 81 | 0 | 16 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1.2 | 0.0 | 0.0 | | 1.2 | 0.0 |
| 18 | 15 | 79 | 1 | 6 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 6.3 | 0.0 | 0.0 | | 6.2 | 0.0 |
| 18 | 20 | 54 | 0 | 4 | 0 | 8 | 0 | 1 | 0 | 14.8 | 0.0 | 25.0 | | 14.8 | 25.0 |

Tab. A.5.1-11: Einfluss div. Faktoren auf kleine Ausleseintensitäten (AI < 5 %, n= 180).

| Faktoren | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 4.56 | 0.0327 | |
| Baumart BA | 2 | 23.86 | 0.0000 | *** |
| Exposition EXP | 1 | 0.26 | 0.6098 | |
| Förstergruppe FGR | 2 | 7.96 | 0.0187 | * |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 42.80 | 0.0000 | *** |
| Likelihood Ratio | 50 | 54.93 | 0.2932 | |

Legende:

FG= Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.
 Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Tab. A.5.1-12: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf kleine Ausleseintensitäten (AI < 5 %, n= 180).

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|---------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konstante | | -0.57 | 0.27 | 4.56 | 0.0327 |
| Baumart | Buche | 1.58 | 0.32 | 23.69 | 0.0000 |
| | Fichte | -1.27 | 0.36 | 12.54 | 0.0004 |
| | Tanne | -0.31 | 0.28 | 1.23 | 0.2672 |
| Exposition | Nord | 0.14 | 0.27 | 0.26 | 0.6098 |
| | Süd | -0.14 | 0.27 | 0.26 | 0.6098 |
| Förstergruppe | FGR1 | 0.04 | 0.32 | 0.01 | 0.9072 |
| | FGR2 | -0.77 | 0.34 | 5.03 | 0.0249 |
| | FGR3 | 0.73 | 0.28 | 6.60 | 0.0102 |
| BHD-Stufe | S05 | 2.58 | 0.43 | 36.47 | 0.0000 |
| | S10 | 0.44 | 0.33 | 1.86 | 0.1724 |
| | S15 | -1.58 | 0.38 | 16.90 | 0.0000 |
| | S20 | -1.44 | 0.38 | 14.51 | 0.0001 |

Tab. A.5.1-13: Einfluss div. Faktoren auf kleine Förderungsintensitäten
(Anzahl entfernter Konkurrenten = 0, n= 519).

| Faktoren | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 0.00 | 0.9811 | |
| Baumart BA | 3 | 5.41 | 0.1441 | |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 6.78 | 0.0794 | (*) |
| Exposition EXP | 1 | 1.79 | 0.1803 | |
| Förstergruppe FGR | 2 | 40.17 | 0.0000 | *** |
| Likelihood Ratio | 64 | 81.66 | 0.0675 | |

Legende:

FG= Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.
Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Tab. A.5.1-14: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen
auf kleine Förderungsintensitäten (n= 519).

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|---------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konstante | | 0.00 | 0.14 | 0.00 | 0.9811 |
| Baumart | And. Lbh | 0.21 | 0.30 | 0.49 | 0.4860 |
| | Buche | 0.08 | 0.20 | 0.17 | 0.6836 |
| | Fichte | -0.42 | 0.20 | 4.65 | 0.0310 |
| | Tanne | 0.13 | 0.16 | 0.67 | 0.4141 |
| BHD-Stufe | S05 | -0.56 | 0.23 | 5.94 | 0.0148 |
| | S10 | 0.08 | 0.16 | 0.23 | 0.6282 |
| | S15 | 0.13 | 0.16 | 0.68 | 0.4108 |
| | S20 | 0.35 | 0.17 | 4.11 | 0.0426 |
| Exposition | Nord | 0.18 | 0.14 | 1.79 | 0.1803 |
| | Süd | -0.18 | 0.14 | 1.79 | 0.1803 |
| Förstergruppe | FGR 1 | 0.96 | 0.16 | 34.91 | 0.0000 |
| | FGR 2 | -0.31 | 0.15 | 4.09 | 0.0430 |
| | FGR 3 | -0.65 | 0.13 | 23.05 | 0.0000 |

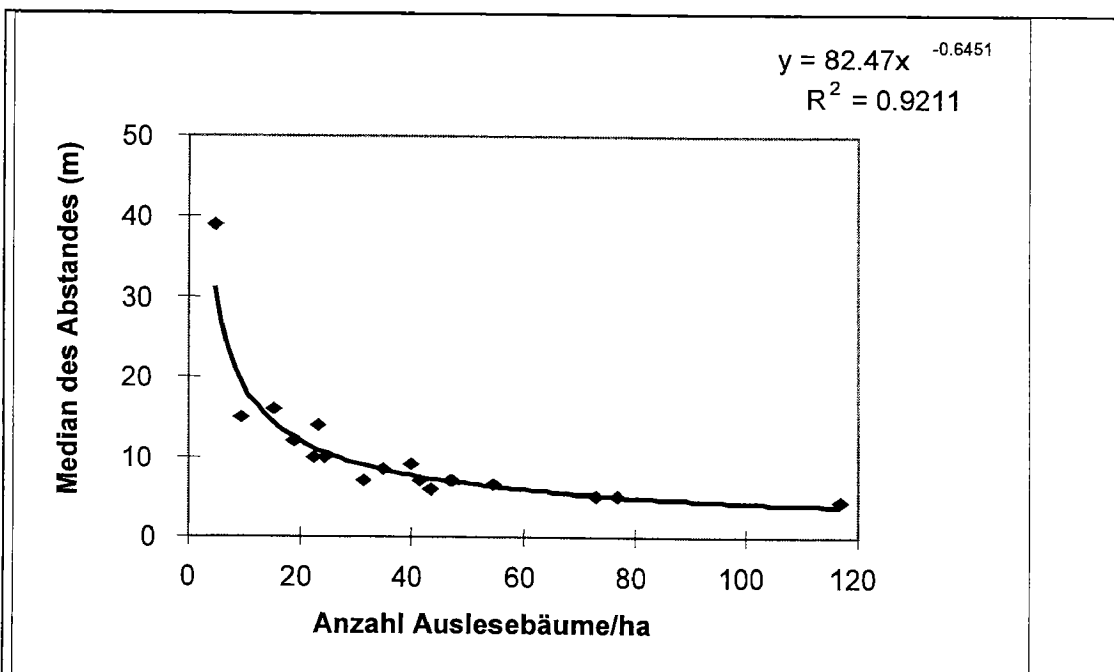


Abb. A.5.1-0: Beziehung zwischen der Anzahl Auslesebäume und dem Abstandsmedian.

Abb. 5.1-1 a: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 1

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

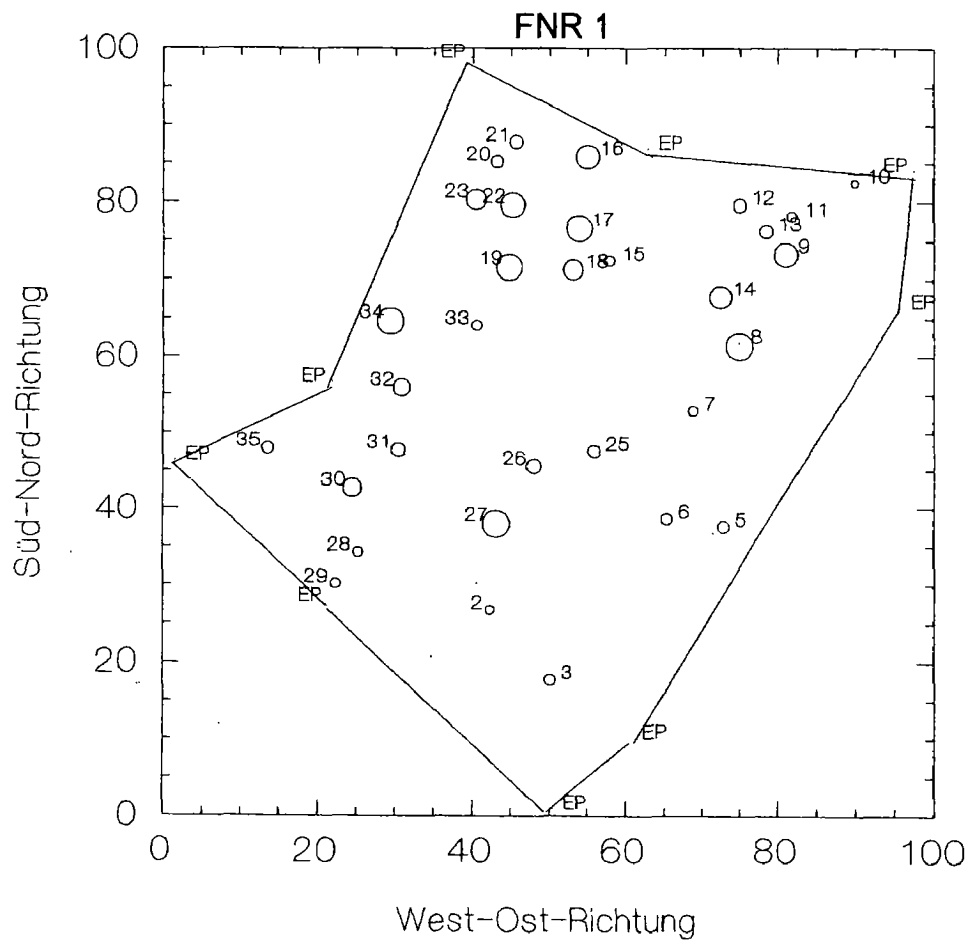


Abb. 5.1-1 b: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 2

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

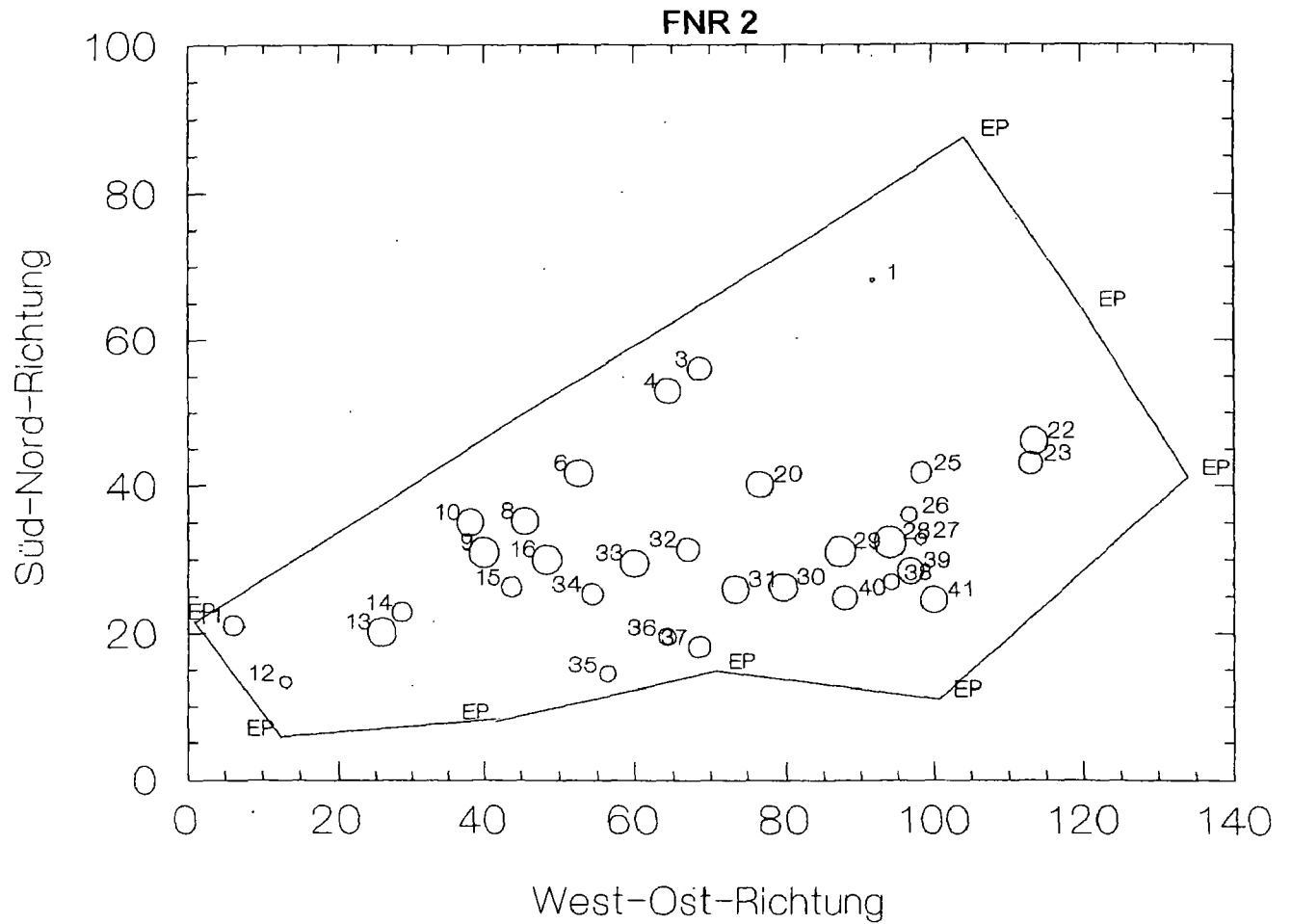


Abb. 5.1-1 c: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 31

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

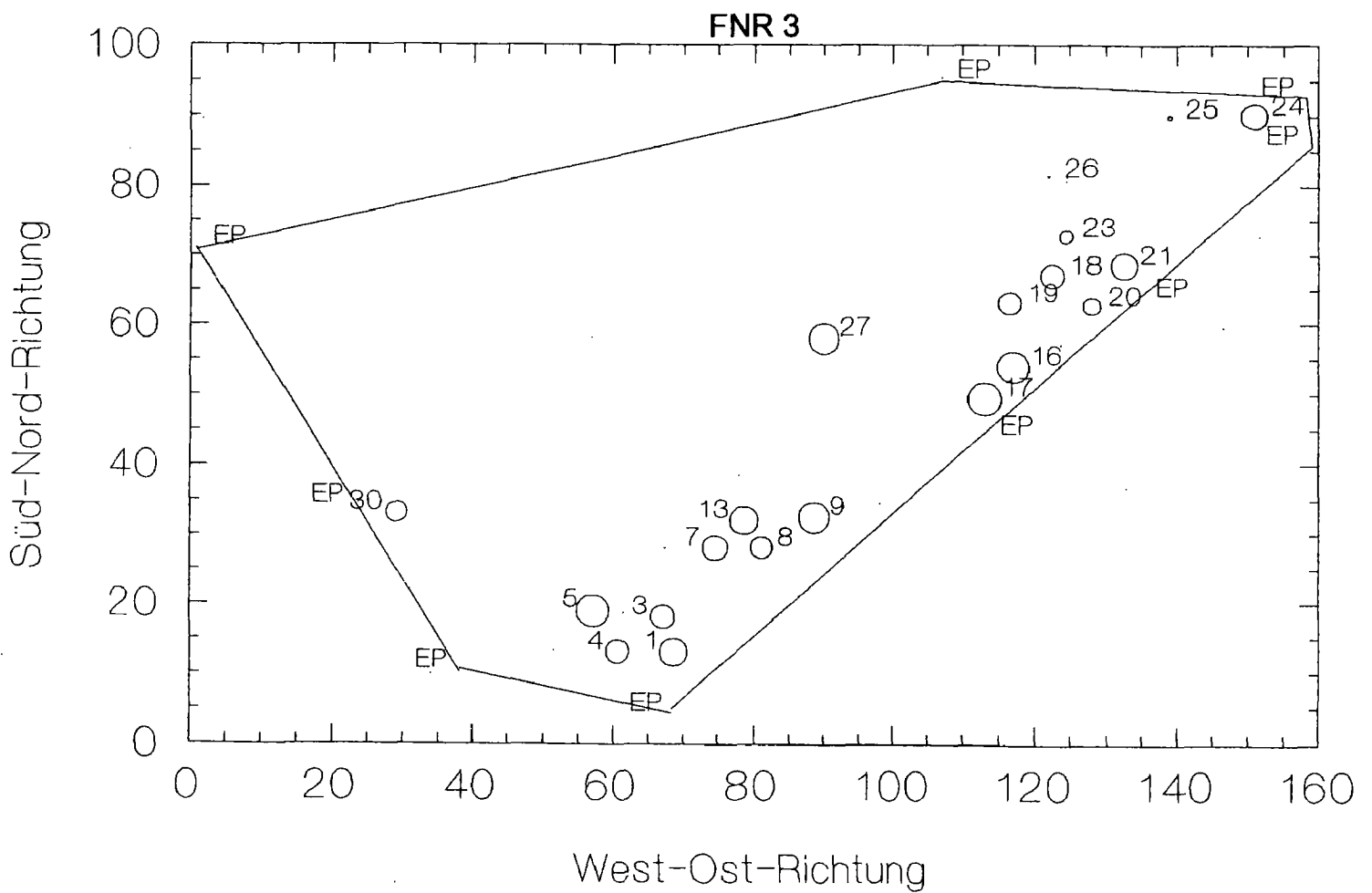


Abb. 5.1-1 d: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 4

Legende: EP = Eckpunkt
 Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000
 Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

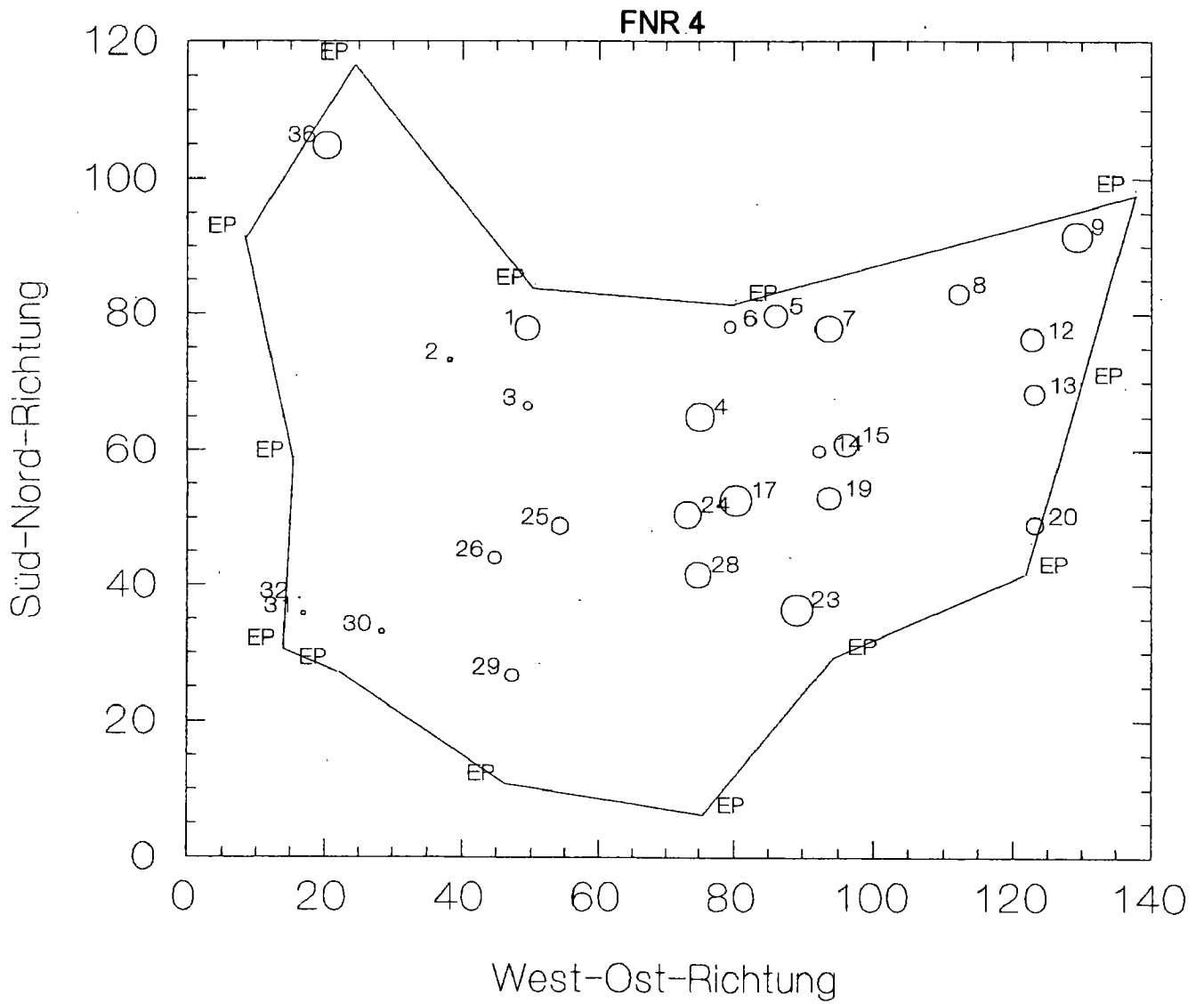


Abb. 5.1-1 e: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 5

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

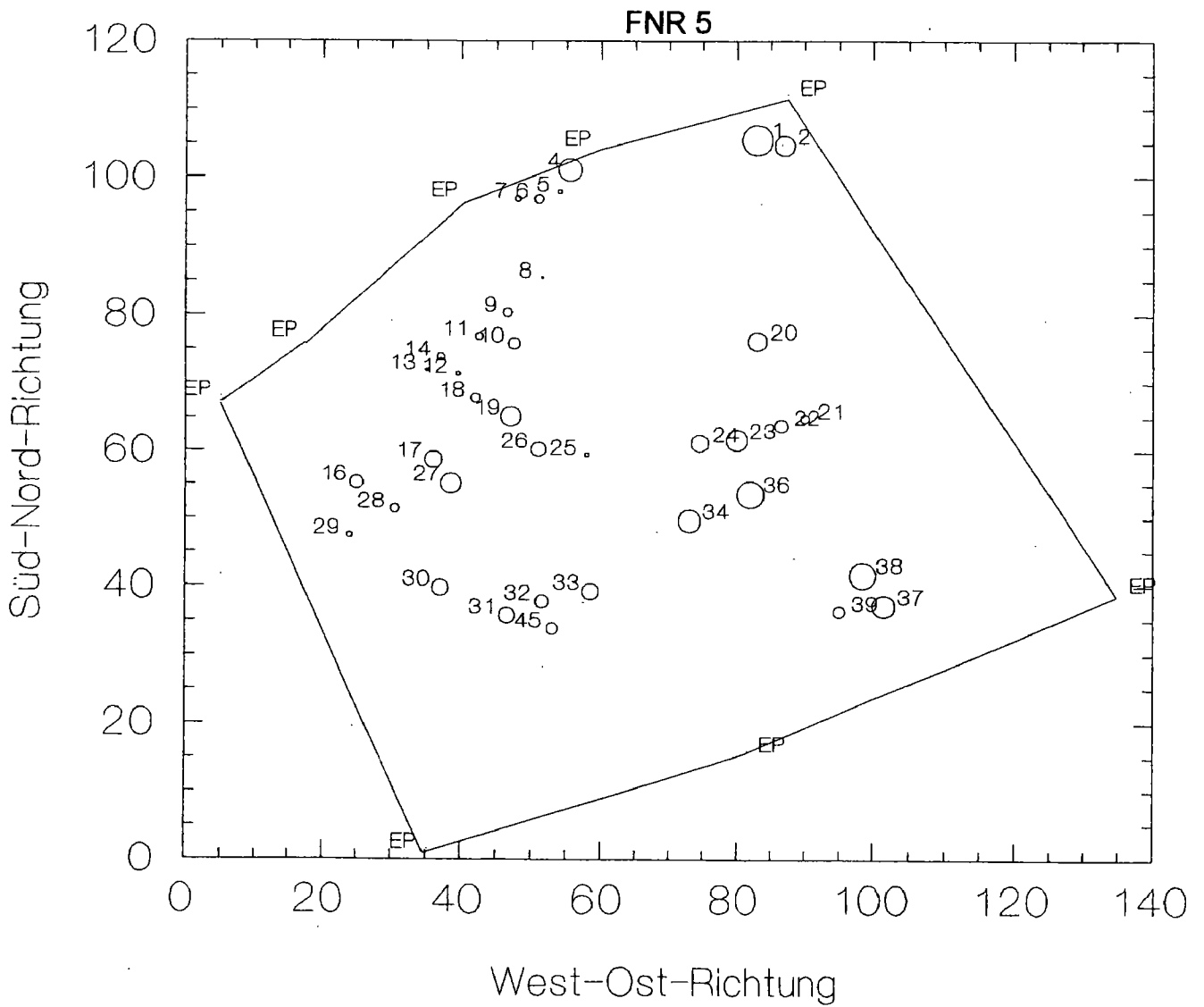


Abb. 5.1-1 f: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 6

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Masstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

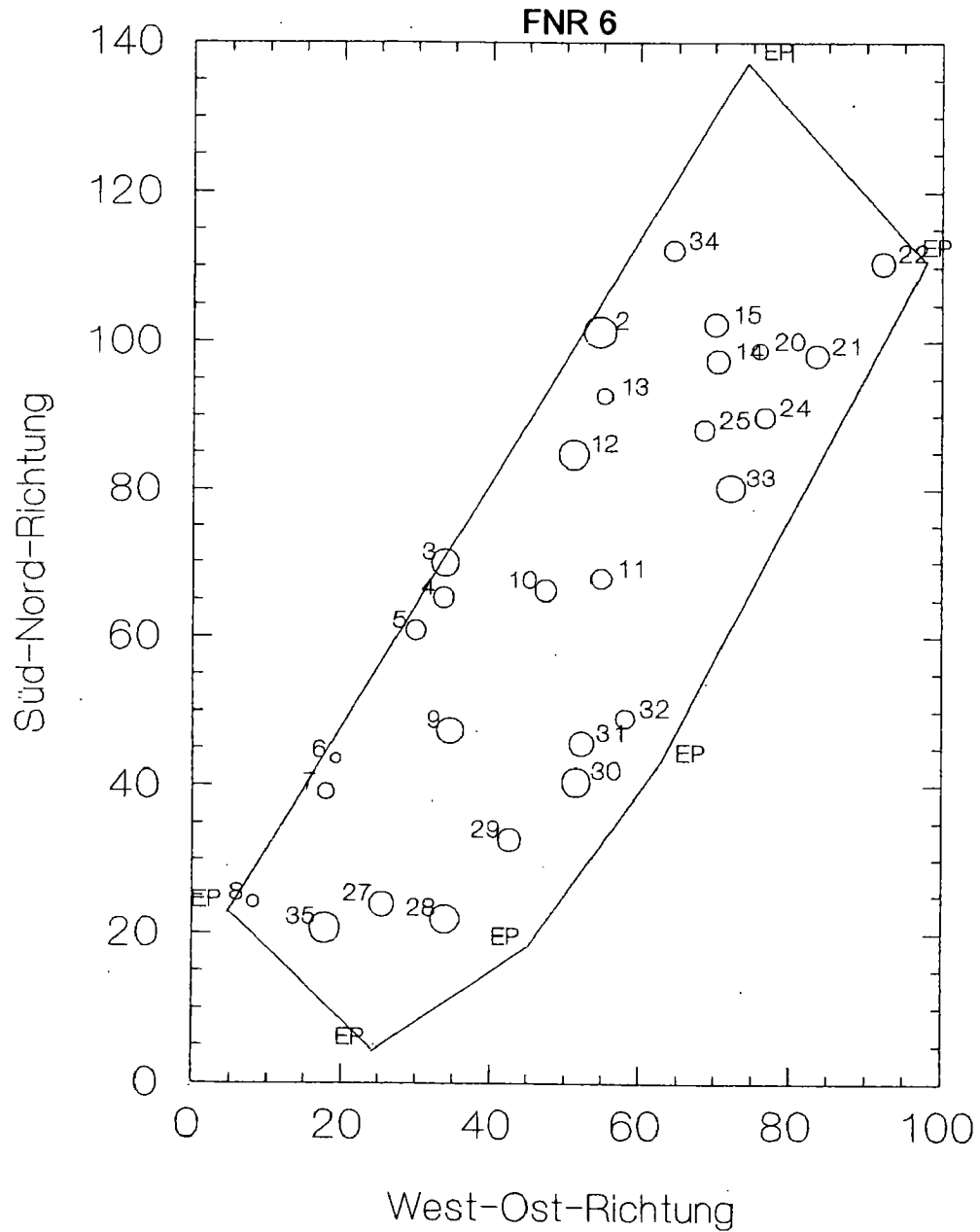


Abb. 5.1-1 g: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 7

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

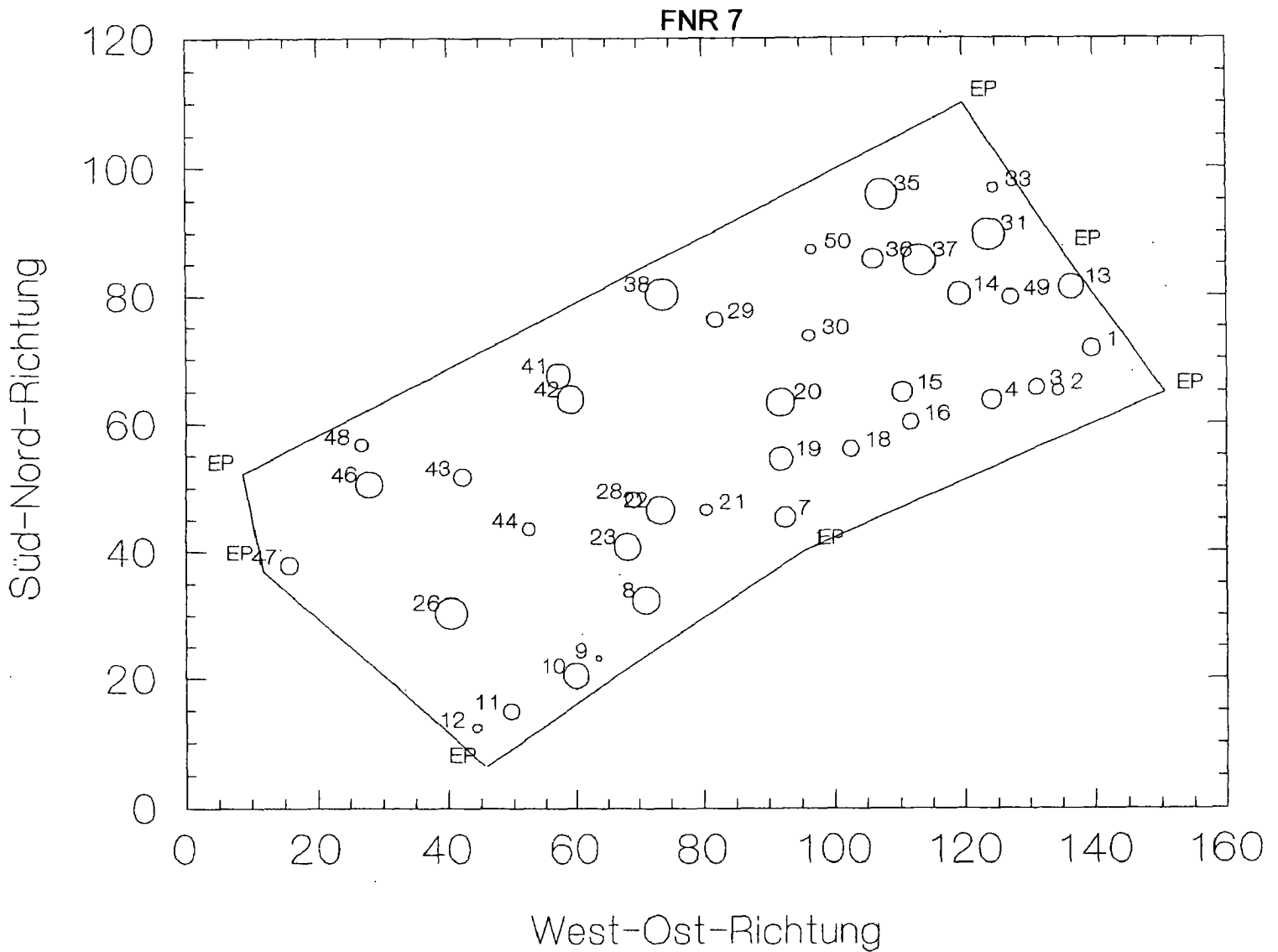


Abb. 5.1-1 h: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 8

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

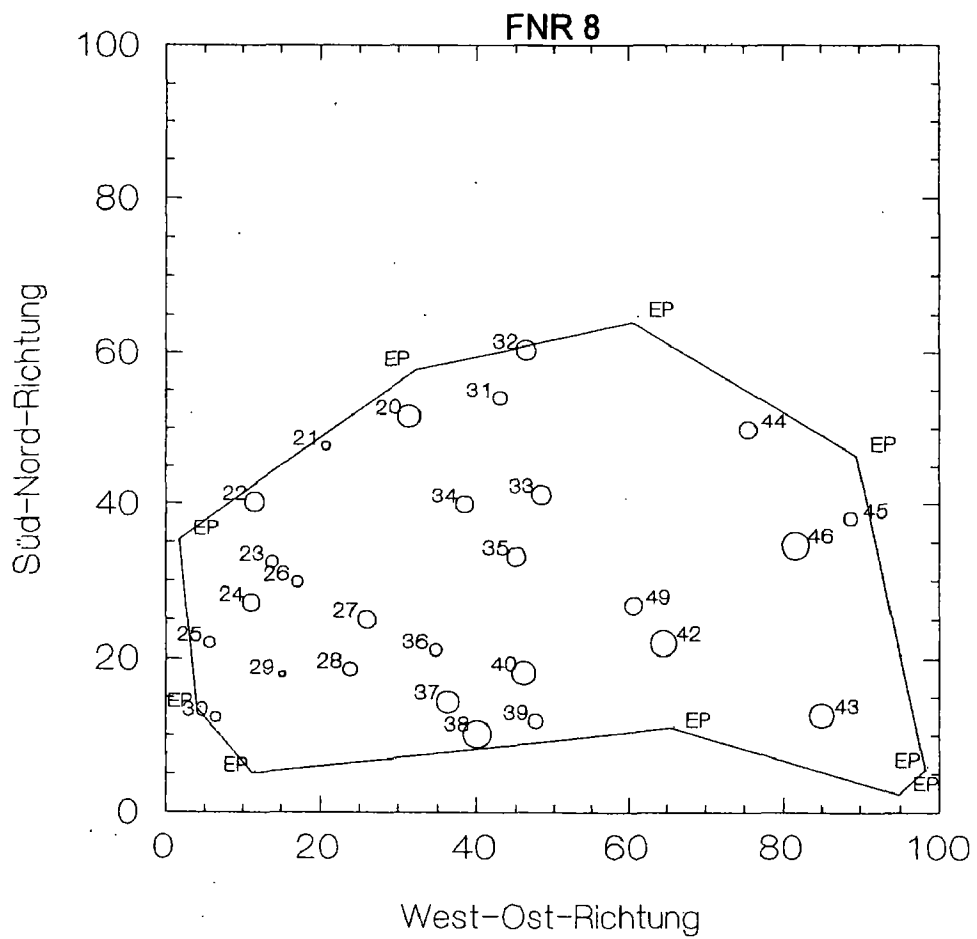


Abb. 5.1-1 i: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 9

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

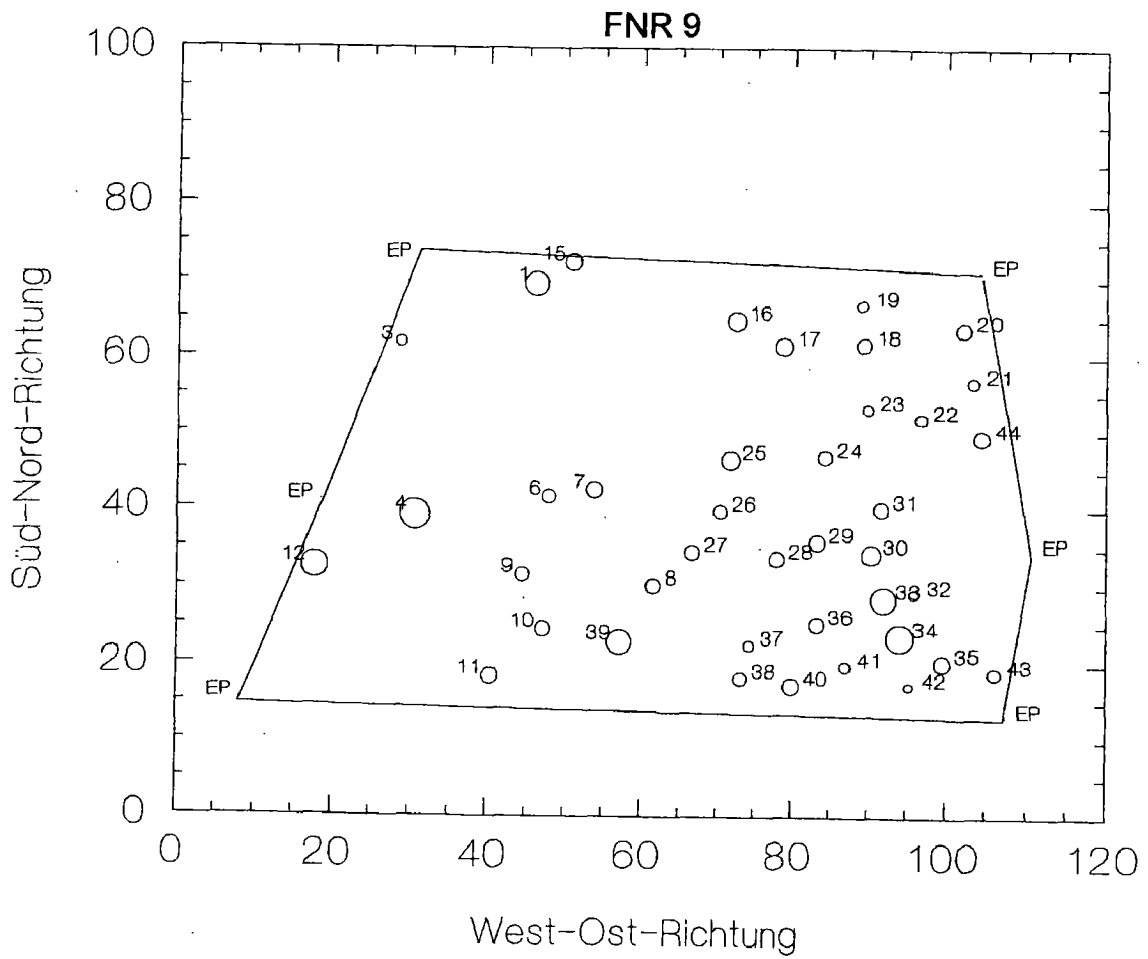


Abb. 5.1-1 j: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 10

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Masstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

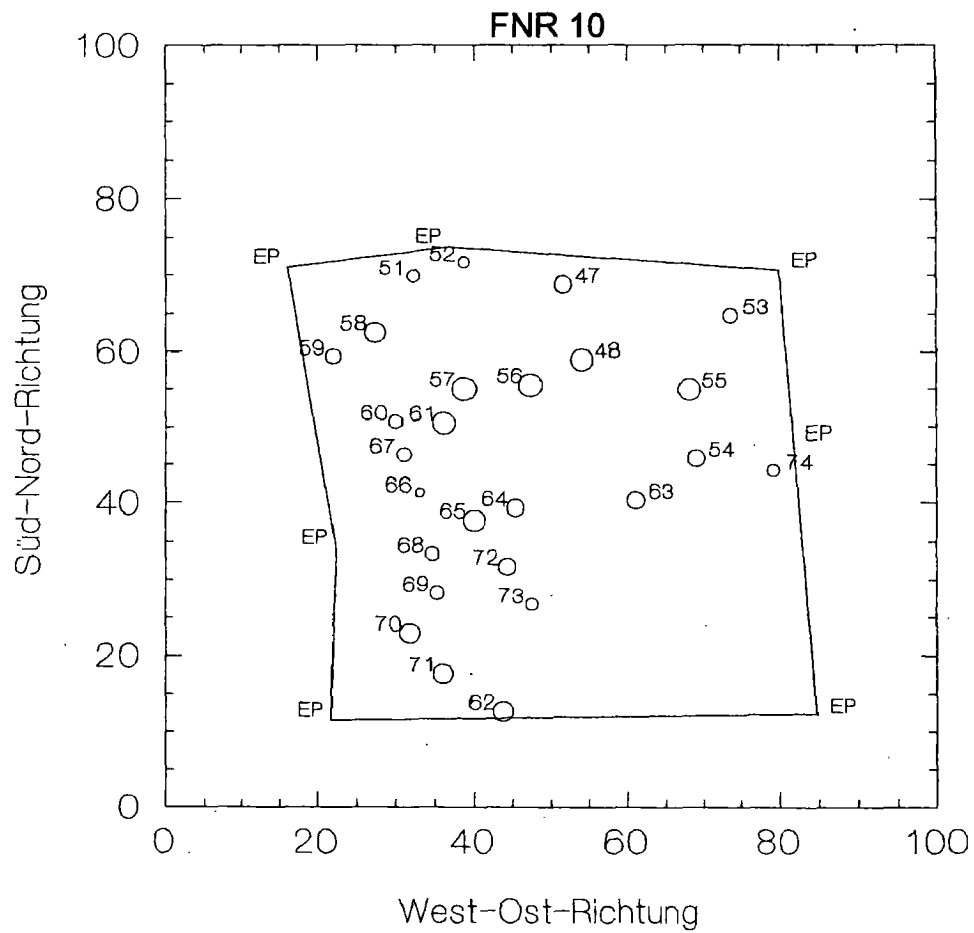


Abb. 5.1-1 k: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 11

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

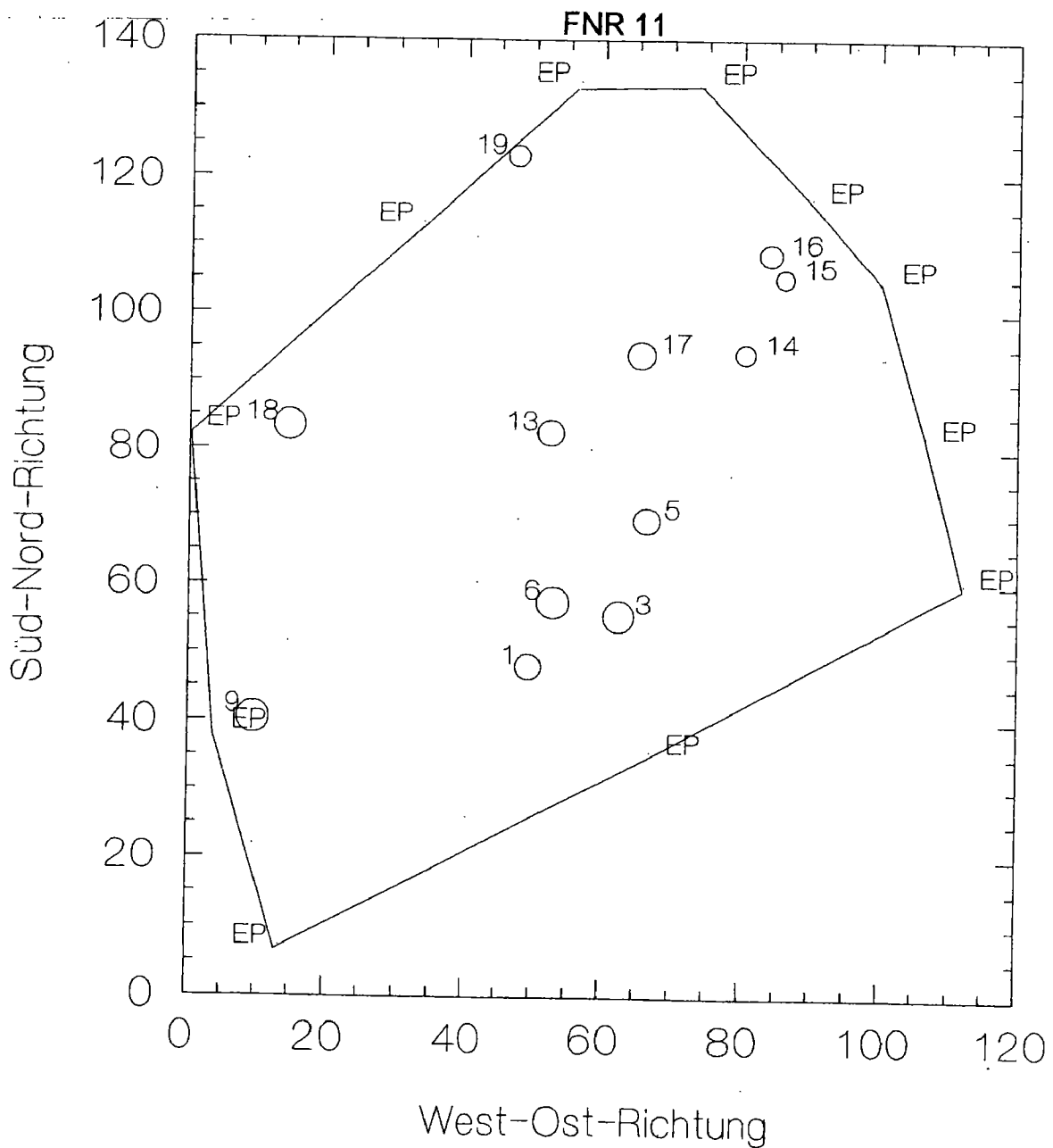


Abb. 5.1-1 I: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 12

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

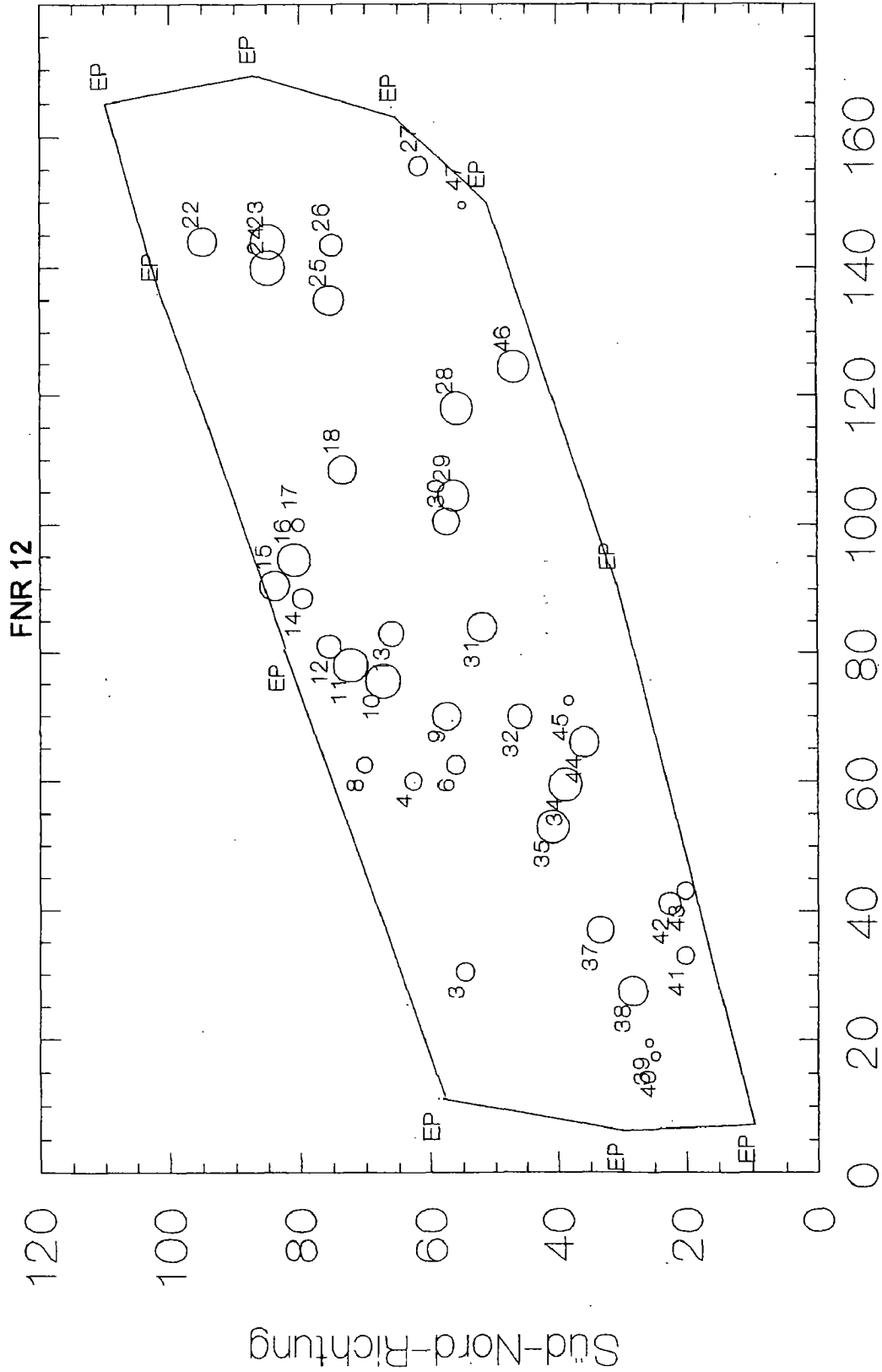


Abb. 5.1-1 m: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 13

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

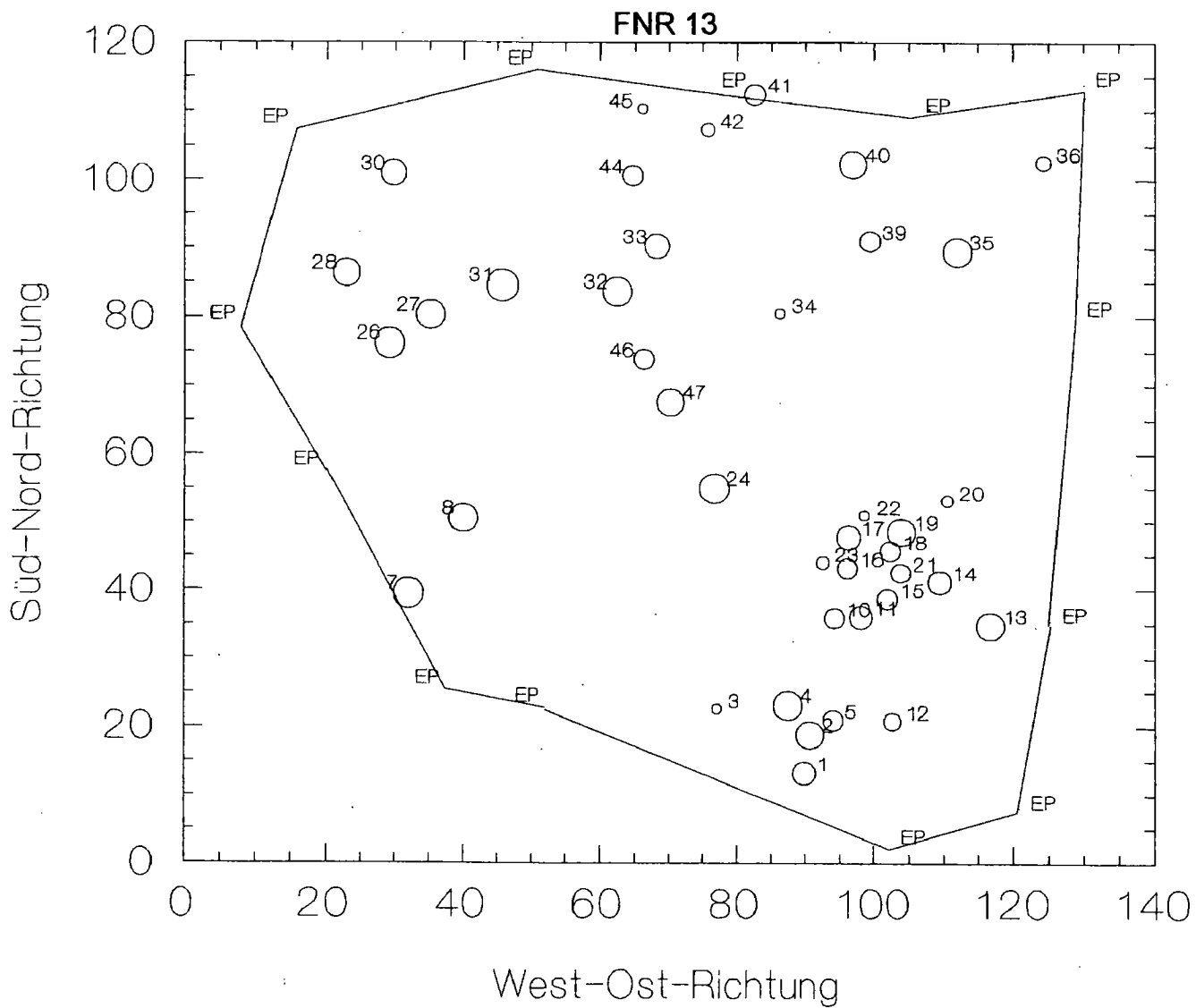


Abb. 5.1-1 n: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 14

Legende: EP = Eckpunkt
 Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000
 Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

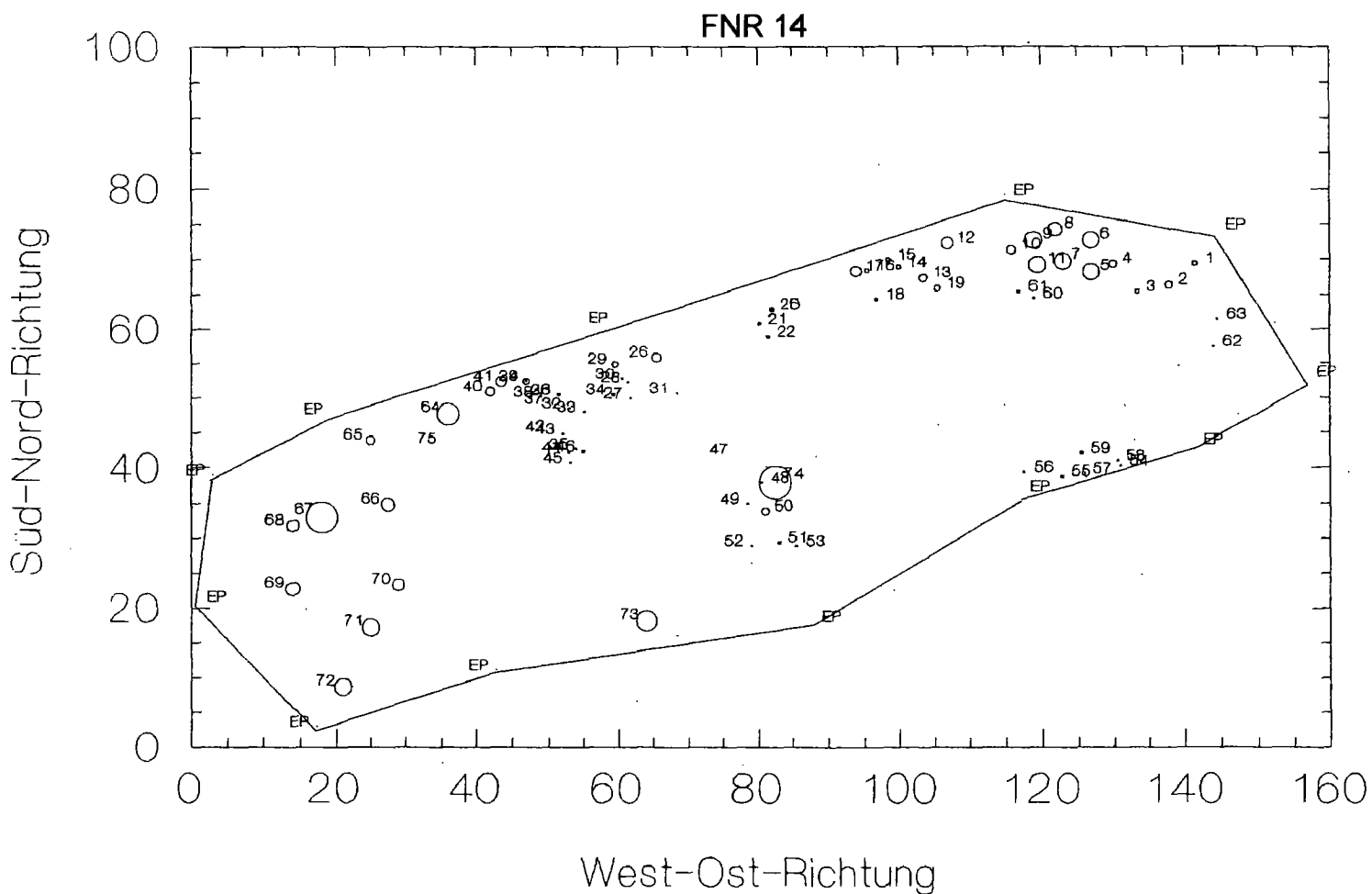


Abb. 5.1-1 o: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 15

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

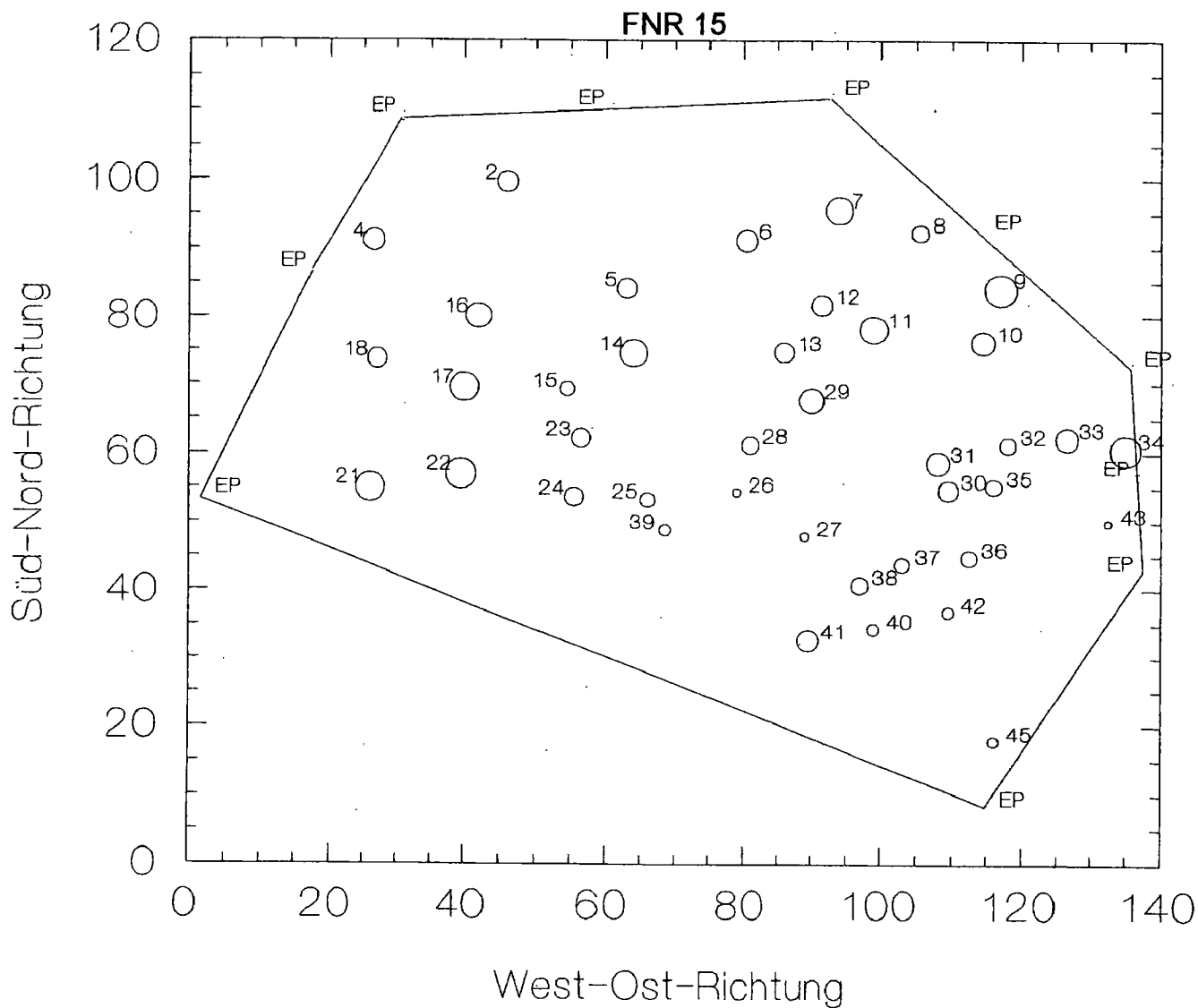


Abb. 5.1-1 p: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 16

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

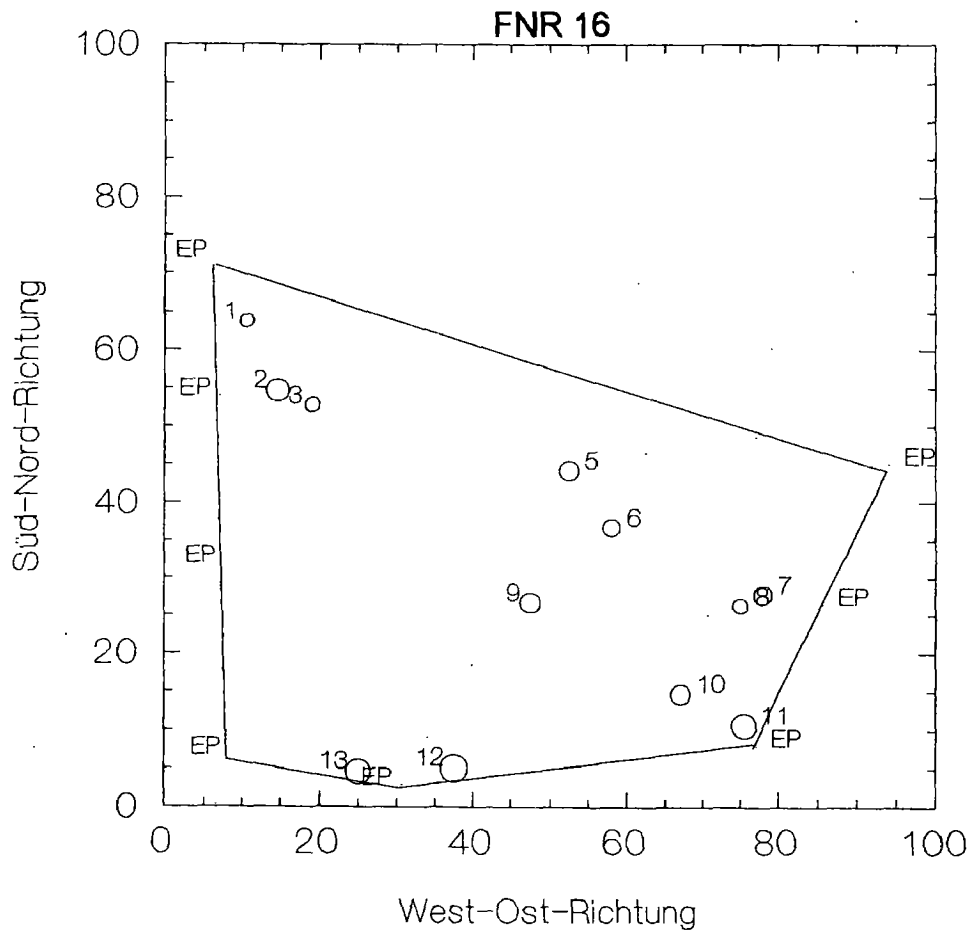


Abb. 5.1-1 q: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 17

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume

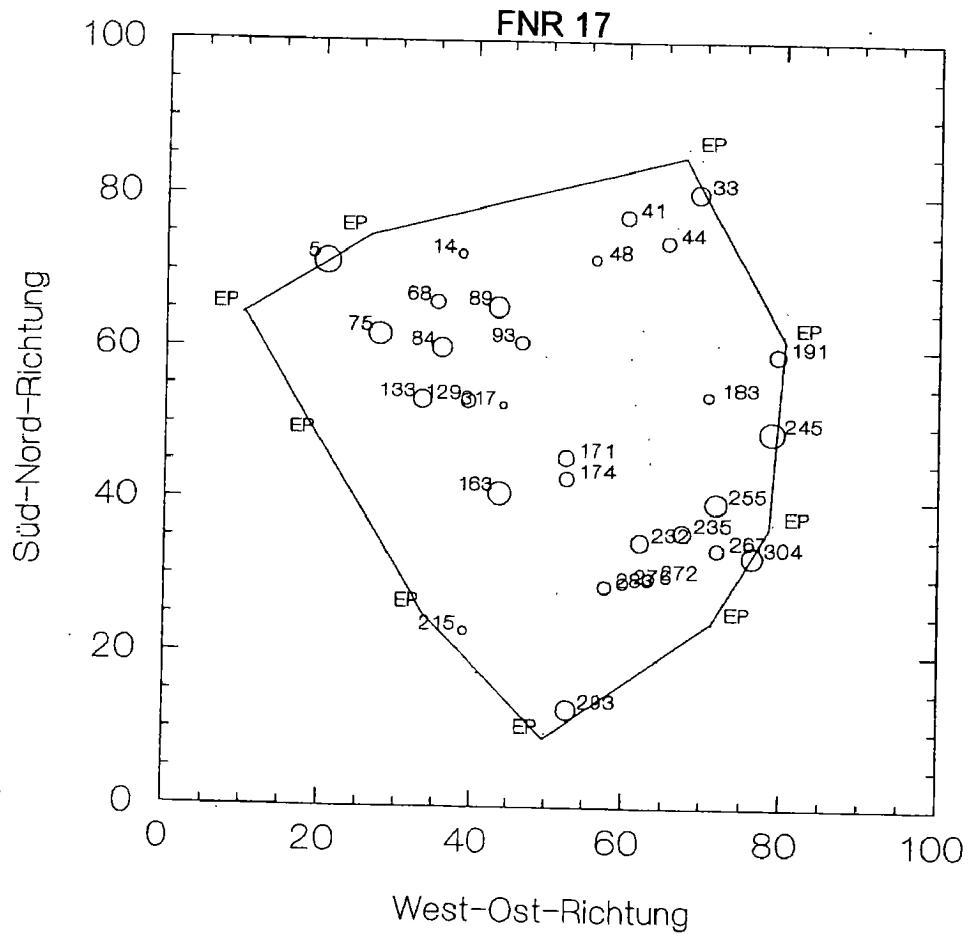
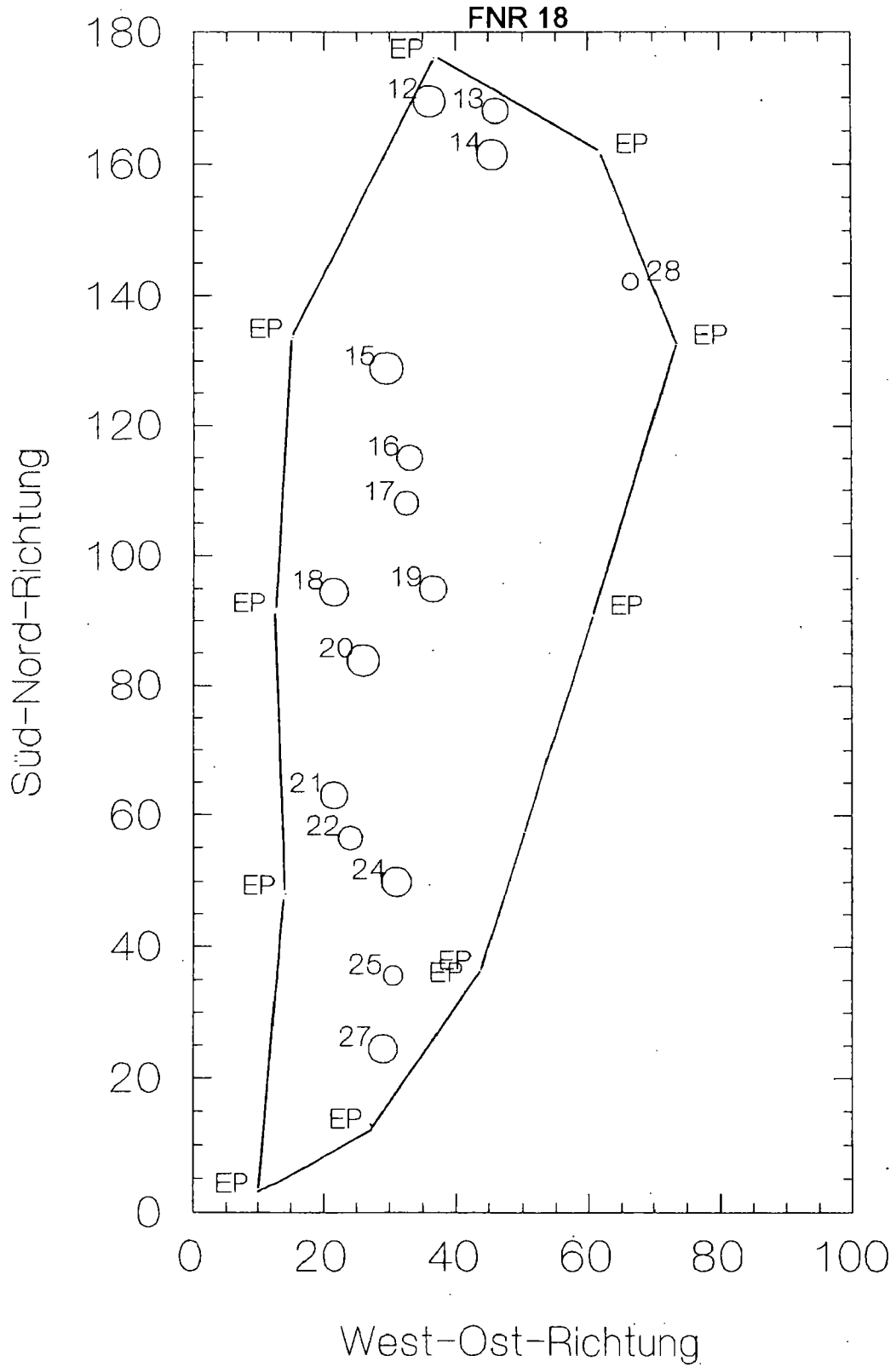


Abb. 5.1-1 r: Räumliche Verteilung der Ausleseebäume auf der Untersuchungsfläche Nr. 18

Legende: EP = Eckpunkt

Erklärungen: Karte im Massstab 1:1000

Kreisdurchmesser proportional zum BHD der Ausleseebäume



Kapitel 5.2: Analyse der Aushiebe

Tab. A.5.2-1: Statistische Kennwerte der Aushiebe

| FNR | ANZ | MW | STD | NVP | P<W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|---------------|-----|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 180 | 4.61 | 4.34 | 0.88 | 0.000 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 6.5 | 13.0 |
| 2 | 89 | 5.46 | 5.51 | 0.87 | 0.000 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 9.0 | 14.5 |
| 3 | 98 | 5.37 | 5.04 | 0.86 | 0.000 | 1.0 | 1.0 | 4.0 | 8.5 | 16.5 |
| 4 | 42 | 6.00 | 4.65 | 0.93 | 0.012 | 1.0 | 2.5 | 5.5 | 10.5 | 12.5 |
| 5 | 66 | 8.95 | 7.07 | 0.86 | 0.000 | 2.0 | 3.5 | 6.2 | 14.0 | 20.5 |
| 6 | 100 | 6.76 | 3.35 | 0.96 | 0.015 | 2.5 | 4.5 | 6.2 | 9.5 | 12.3 |
| 7 | 89 | 8.61 | 6.35 | 0.92 | 0.000 | 1.0 | 3.5 | 7.0 | 12.5 | 19.5 |
| 8 | 87 | 8.67 | 5.29 | 0.94 | 0.000 | 2.5 | 4.0 | 7.5 | 13.5 | 17.0 |
| 9 | 85 | 8.12 | 3.91 | 0.90 | 0.000 | 3.5 | 5.5 | 7.5 | 10.0 | 14.5 |
| 10 | 18 | 9.48 | 5.44 | 0.94 | 0.330 | 1.0 | 5.0 | 10.0 | 13.0 | 18.0 |
| 11 | 35 | 14.27 | 3.84 | 0.97 | 0.490 | 7.5 | 12.2 | 14.7 | 16.6 | 20.5 |
| 12 | 59 | 13.14 | 5.29 | 0.97 | 0.210 | 4.5 | 9.3 | 13.5 | 17.0 | 22.8 |
| 13 | 103 | 11.96 | 5.15 | 0.97 | 0.240 | 4.5 | 7.7 | 11.4 | 15.7 | 20.0 |
| 14 | 150 | 2.85 | 5.28 | 0.61 | 0.000 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 3.7 | 14.7 |
| 15 | 46 | 12.43 | 5.35 | 0.94 | 0.038 | 4.3 | 8.0 | 11.4 | 17.1 | 21.4 |
| 16 | 41 | 12.23 | 5.34 | 0.95 | 0.120 | 5.5 | 8.0 | 11.2 | 16.3 | 21.6 |
| 17 | 57 | 10.38 | 5.52 | 0.92 | 0.001 | 3.7 | 6.0 | 8.5 | 14.5 | 21.0 |
| 18 | 35 | 15.63 | 4.00 | 0.98 | 0.770 | 8.5 | 13.1 | 14.9 | 18.6 | 22.0 |
| ANZ | 18 | | | | | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| MW | | 9.16 | | | | 3.11 | 5.16 | 8.20 | 12.58 | 17.90 |
| Std | | 3.59 | | | | 2.34 | 4.02 | 4.10 | 4.12 | 3.58 |
| NVP | | 0.98 | | | | 0.85 | 0.94 | 0.97 | 0.96 | 0.91 |
| P<W | | 0.88 | | | | 0.01 | 0.27 | 0.70 | 0.55 | 0.08 |
| Q1 | | 6.00 | | | | 1.00 | 2.50 | 5.50 | 9.50 | 14.50 |
| Med | | 8.81 | | | | 2.50 | 4.75 | 7.50 | 13.25 | 18.75 |
| Q3 | | 12.23 | | | | 4.50 | 8.00 | 11.35 | 16.30 | 21.00 |

Legende:

FNR = Flächennummer ANZ = Anzahl Stichproben MW = Mittelwert (Stz./a)

STD = Standardabweichung NVP = Normalverteilungsprüfung

P<W: Wahrscheinlichkeit, dass Verteilung signifikant von Normalverteilung abweicht.

P05: 5%-Perzentil Q1: 1. Quartil MED = Median Q3 = 3. Quartil P95= 95%-Perzent.

Tab. A.5.2-2: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Wahl des Aushiebes (n = 4511).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 450.69 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 3 | 22.18 | 0.0001 | *** |
| Exposition EXP | 1 | 0.01 | 0.9237 | |
| Förstergruppe FGR | 2 | 7.20 | 0.0273 | * |
| BHD-Stufe DSTU | | 2.55 | 0.2791 | |
| BA * EXP | 3 | 0.55 | 0.9088 | |
| BA * FGR | 6 | 11.86 | 0.0652 | (*) |
| BA * DSTU | | 14.36 | 0.0259 | * |
| EXP * DSTU | | 4.84 | 0.0890 | (*) |
| FGR * DSTU | | 28.53 | 0.0000 | *** |
| Likelihood Ratio | 4 | 60.22 | 0.0009 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad

Chi² = Chi² - Wert

Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.5.2-3: Schätzung des Einflusses einzelner Variablen auf den Aushieb (n= 4511).

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.-Err. | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|------------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -1.82 | 0.09 | 450.69 | 0.0000 | |
| BA | and. Lbh | 0.49 | 0.17 | 8.05 | 0.0046 | ** |
| | Buche | 0.23 | 0.11 | 4.51 | 0.0337 | * |
| | Fichte | -0.50 | 0.18 | 7.78 | 0.0053 | ** |
| | Tanne | -0.22 | 0.10 | 4.58 | 0.0323 | * |
| EXP | Nord | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.9237 | |
| | Süd | -0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.9237 | |
| FGR | FGR = 1 | -0.36 | 0.13 | 7.19 | 0.0073 | ** |
| | FGR = 2 | 0.24 | 0.13 | 3.59 | 0.0580 | (*) |
| | FGR = 3 | 0.11 | 0.09 | 1.45 | 0.2286 | |
| DSTU | S10 | 0.02 | 0.10 | 0.04 | 0.8415 | |
| | S15 | 0.16 | 0.11 | 2.33 | 0.1271 | |
| | S20 | -0.18 | 0.13 | 1.90 | 0.1677 | |
| BA * EXP | AL * Nord | 0.06 | 0.18 | 0.11 | 0.7405 | |
| | BU * Nord | -0.06 | 0.11 | 0.36 | 0.5492 | |
| | FI * Nord | 0.07 | 0.19 | 0.13 | 0.7151 | |
| | TA * Nord | -0.06 | 0.10 | 0.36 | 0.5497 | |
| BA * FGR | AL * 1 | -0.39 | 0.25 | 2.37 | 0.1237 | |
| | AL * 2 | 0.61 | 0.27 | 5.03 | 0.0249 | * |
| | AL * 3 | -0.22 | 0.20 | 1.22 | 0.2692 | |
| | BU * 1 | 0.07 | 0.15 | 0.19 | 0.6597 | |
| | BU * 2 | -0.24 | 0.15 | 2.50 | 0.1140 | |
| | BU * 3 | 0.17 | 0.12 | 2.27 | 0.1322 | |
| | FI * 1 | 0.14 | 0.26 | 0.26 | 0.6120 | |
| | FI * 2 | -0.34 | 0.23 | 2.14 | 0.1432 | |
| | FI * 3 | 0.20 | 0.18 | 1.29 | 0.2554 | |
| | TA * 1 | 0.19 | 0.14 | 1.74 | 0.1866 | |
| | TA * 2 | -0.03 | 0.14 | 0.04 | 0.8327 | |
| | TA * 3 | -0.16 | 0.11 | 2.06 | 0.1509 | |
| BA * DSTU | AL * S10 | -0.03 | 0.20 | 0.02 | 0.8888 | |
| | AL * S15 | -0.15 | 0.21 | 0.48 | 0.4893 | |
| | AL * S20 | 0.18 | 0.25 | 0.49 | 0.4833 | |
| | BU * S10 | 0.31 | 0.12 | 6.77 | 0.0093 | ** |
| | BU * S15 | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.8572 | |
| | BU * S20 | -0.33 | 0.16 | 4.41 | 0.0357 | * |
| | FI * S10 | -0.07 | 0.18 | 0.14 | 0.7090 | |
| | FI * S15 | 0.07 | 0.20 | 0.12 | 0.7247 | |
| | FI * S20 | -0.002 | 0.25 | 0.00 | 0.9922 | |
| | TA * S10 | -0.21 | 0.11 | 3.66 | 0.0556 | (*) |
| | TA * S15 | 0.05 | 0.12 | 0.22 | 0.6426 | |
| TA * S20 | 0.16 | 0.14 | 1.25 | 0.2632 | | |
| EXP * DSTU | NORD*S10 | 0.17 | 0.08 | 4.61 | 0.0317 | * |
| | NORD*S15 | -0.08 | 0.08 | 0.92 | 0.3372 | |
| | NORD*S20 | -0.09 | 0.10 | 0.79 | 0.3755 | |
| FGR * DSTU | 1 * S10 | 0.56 | 0.11 | 26.05 | 0.0000 | *** |
| | 1 * S15 | -0.04 | 0.12 | 0.13 | 0.7228 | |
| | 1 * S20 | -0.52 | 0.16 | 10.83 | 0.0010 | ** |
| | 2 * S10 | -0.26 | 0.11 | 5.84 | 0.0156 | * |
| | 2 * S15 | 0.02 | 0.12 | 0.02 | 0.8773 | |
| | 2 * S20 | 0.25 | 0.15 | 2.81 | 0.0935 | (*) |
| | 3 * S10 | -0.29 | 0.09 | 12.04 | 0.0005 | *** |
| | 3 * S15 | 0.02 | 0.09 | 0.07 | 0.7844 | |
| | 3 * S20 | 0.27 | 0.11 | 5.97 | 0.0145 | * |

Tab. A.5.2-4: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf den BHD-Bereich des Aushiebes.
 Zielvariable: Wahl eines Aushiebes mit BHD < 7.5 cm. (n= 1111).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz | |
|------------------|-----|------------------|----------------------|-------------|-----|
| Konstante | 1 | 15.42 | 0.0001 | *** | |
| Baumart | BA | 3 | 31.62 | 0.0000 | *** |
| Exposition | EXP | 1 | 0.25 | 0.1146 | |
| Förstergruppe | FGR | 2 | 41.33 | 0.0000 | *** |
| BA * EXP | | 3 | 0.72 | 0.8691 | |
| BA * FGR | | 6 | 24.35 | 0.0004 | ** |
| Likelihood Ratio | 4 | 7.16 | 0.1276 | | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Der Interaktionseffekt EXP * FGR konnte nicht berechnet werden, da die FGR 2 am Südhang keine Fläche bearbeitet hat.

Tab. A.5.2-5: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen
 auf die Wahl eines Aushiebes mit BHD < 7.5 cm

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.-Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|---------------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------------------|
| Konstante | | -0.53 | 0.14 | 15.42 | 0.0001 |
| Baumart | and. Lbh | -0.51 | 0.33 | 2.41 | 0.1204 |
| | Buche | 0.56 | 0.15 | 13.48 | 0.0002 |
| | Fichte | 0.33 | 0.24 | 1.80 | 0.1791 |
| | Tanne | -0.38 | 0.17 | 4.93 | 0.0265 |
| Exposition | Nord | -0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.6204 |
| | Süd | 0.07 | 0.14 | 0.25 | 0.6204 |
| Förstergruppe | FGR = 1 | 0.99 | 0.19 | 27.81 | 0.0000 |
| | FGR = 2 | 0.28 | 0.19 | 2.14 | 0.1435 |
| | FGR = 3 | -1.27 | 0.21 | 35.45 | 0.0000 |
| BA * FGR | BU * 1 | -0.76 | 0.22 | 12.21 | 0.0005 |
| | BU * 2 | 0.38 | 0.23 | 2.86 | 0.0906 |
| | BU * 3 | 0.38 | 0.24 | 2.61 | 0.1060 |
| | TA * 3 | -0.47 | 0.23 | 4.02 | 0.0449 |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind.

Tab. A.5.2-8: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf den Aushiebsgrund "negativ" (inkl. "tot") für den Bereich 2.4 bis 22.5 cm BHD (n = 1111)

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 8.44 | 0.0037 | ** |
| Baumart BA | 3 | 16.43 | 0.0009 | *** |
| Förstergruppe FGR | 2 | 13.91 | 0.0010 | ** |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 33.02 | 0.0000 | *** |
| BA * FGR | 6 | 10.14 | 0.1189 | |
| BA * DSTU | 9 | 6.16 | 0.7242 | |
| FGR * DSTU | 6 | 18.01 | 0.0062 | ** |
| Likelihood Ratio | 34 | 46.40 | 0.0762 | |

Tab. A.5.2-9: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf den Aushiebsgrund "negativ".

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|----------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konst. | | -0.49 | 0.17 | 8.44 | 0.0037 |
| BA | and. Lbh | 0.62 | 0.29 | 4.72 | 0.0298 |
| | Buche | -0.69 | 0.21 | 11.13 | 0.0009 |
| | Fichte | -0.16 | 0.33 | 0.23 | 0.6333 |
| | Tanne | 0.22 | 0.20 | 1.33 | 0.2484 |
| FGR | FGR = 1 | 0.88 | 0.29 | 9.14 | 0.0000 |
| | FGR = 2 | -0.20 | 0.28 | 0.48 | 0.4875 |
| | FGR = 3 | -0.68 | 0.21 | 10.31 | 0.0013 |
| DSTU | S05 | 1.26 | 0.23 | 31.16 | 0.0000 |
| | S10 | 0.34 | 0.21 | 2.57 | 0.1090 |
| | S15 | -0.34 | 0.25 | 1.88 | 0.1707 |
| | S20 | -1.27 | 0.41 | 9.59 | 0.0020 |
| BA*FGR | AL * 1 | -1.14 | 0.42 | 7.44 | 0.0064 |
| | AL * 2 | 1.27 | 0.48 | 7.08 | 0.0078 |
| | FI * 1 | 0.80 | 0.45 | 3.08 | 0.0794 |
| FGR*DSTU | 1 * S10 | -0.55 | 0.28 | 3.95 | 0.0468 |
| | 1 * S20 | 1.19 | 0.68 | 3.07 | 0.0796 |
| | 2 * S05 | 0.81 | 0.28 | 8.20 | 0.0042 |
| | 2 * S20 | -1.35 | 0.64 | 4.41 | 0.0356 |
| | 3 * S05 | -0.66 | 0.22 | 8.81 | 0.0030 |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind.

Tab. A.5.2-10: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf den Aushiebsgrund "positiv" für den Bereich 2.4 bis 22.5 cm BHD (n = 1111)

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 23.40 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 3 | 6.46 | 0.0911 | * |
| Förstergruppe FGR | 2 | 17.08 | 0.0002 | *** |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 32.96 | 0.0000 | *** |
| BA * FGR | 6 | 13.85 | 0.0314 | * |
| BA * DSTU | 9 | 15.21 | 0.0853 | (*) |
| FGR * DSTU | 6 | 9.77 | 0.1346 | |
| Likelihood Ratio | 34 | 46.40 | 0.0762 | |

Tab. A.5.2-11: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf den Aushiebsgrund "positiv".

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.-Abw. | Chi ² | Prob>Chi ² |
|---------------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------------------|
| Konstante | | -0.68 | 0.14 | 23.40 | 0.0000 |
| Baumart | and. Lbh | -0.29 | 0.29 | 0.40 | 0.5254 |
| | Buche | -0.20 | 0.18 | 1.20 | 0.2724 |
| | Fichte | 0.69 | 0.29 | 5.61 | 0.0179 |
| | Tanne | -0.31 | 0.18 | 2.96 | 0.0856 |
| Förstergruppe | FGR = 1 | -0.70 | 0.19 | 13.74 | 0.0002 |
| | FGR = 2 | 0.16 | 0.20 | 0.60 | 0.4382 |
| | FGR = 3 | 0.55 | 0.18 | 9.73 | 0.0018 |
| BHD-Stufe | S05 | -1.13 | 0.23 | 25.07 | 0.0000 |
| | S10 | -0.42 | 0.19 | 4.81 | 0.0283 |
| | S15 | 0.47 | 0.22 | 4.39 | 0.0362 |
| | S20 | 1.07 | 0.31 | 12.18 | 0.0005 |
| BA*FGR | AL * 1 | -0.79 | 0.37 | 4.58 | 0.0323 |
| | AL * 2 | -1.14 | 0.46 | 6.27 | 0.0123 |
| | BU * 2 | 0.75 | 0.24 | 10.10 | 0.0015 |
| | BU * 3 | -0.44 | 0.21 | 4.29 | 0.0383 |
| | TA * 2 | 0.42 | 0.24 | 2.98 | 0.0844 |
| FGR*DSTU | 1 * S05 | -0.82 | 0.29 | 8.29 | 0.0040 |
| | 3 * S05 | 0.48 | 0.23 | 4.53 | 0.0333 |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind.

Tab. A. 5.2-12: Verbleibender Bestand, Aushieb und Eingriffsstärke im Nachwuchs.

| | | Stammzahl nach Pflege | | | | Aushieb Pflege | | | | Eingriffsstärke der Pflege (%) | | | | | |
|-----|-----|-----------------------|----|----|----|----------------|----|----|----|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| FNR | STU | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | NDH | LBH |
| 1 | 5 | 59 | 25 | 95 | 34 | 14 | 11 | 54 | 11 | 19.1 | 30.4 | 36.2 | 24.3 | 22.8 | 33.4 |
| 1 | 10 | 27 | 22 | 55 | 14 | 2 | 5 | 19 | 2 | 6.9 | 18.5 | 25.7 | 12.5 | 12.5 | 23.3 |
| 1 | 15 | 10 | 3 | 21 | 9 | 0 | 0 | 6 | 2 | 0.0 | 0.0 | 22.2 | 18.2 | 0.0 | 21.1 |
| 1 | 20 | 2 | 3 | 9 | 13 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0.0 | 0.0 | 18.2 | 7.1 | 0.0 | 12.0 |
| 2 | 5 | 48 | 5 | 0 | 20 | 27 | 0 | 0 | 2 | 36.1 | 0.0 | 0.0 | 8.9 | 34.1 | 8.9 |
| 2 | 10 | 73 | 5 | 1 | 5 | 13 | 1 | 0 | 2 | 15.1 | 16.7 | 0.0 | 28.6 | 15.2 | 25.0 |
| 2 | 15 | 67 | 1 | 0 | 7 | 10 | 0 | 0 | 0 | 13.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 12.8 | 0.0 |
| 2 | 20 | 39 | 2 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.4 | 0.0 |
| 3 | 5 | 55 | 0 | 30 | 25 | 23 | 0 | 19 | 3 | 29.7 | 0.0 | 38.8 | 10.9 | 29.7 | 28.8 |
| 3 | 10 | 68 | 1 | 23 | 5 | 12 | 0 | 4 | 0 | 15.0 | 0.0 | 14.8 | 0.0 | 14.8 | 12.5 |
| 3 | 15 | 42 | 0 | 15 | 4 | 6 | 0 | 3 | 1 | 12.5 | 0.0 | 16.7 | 20.0 | 12.5 | 17.4 |
| 3 | 20 | 28 | 0 | 16 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 6.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 0.0 |
| 4 | 5 | 48 | 30 | 21 | 21 | 2 | 1 | 9 | 4 | 4.0 | 3.2 | 30.1 | 16.1 | 3.7 | 23.7 |
| 4 | 10 | 35 | 3 | 7 | 3 | 9 | 0 | 3 | 1 | 20.5 | 0.0 | 30.0 | 25.0 | 19.1 | 28.6 |
| 4 | 15 | 37 | 4 | 6 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 7.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.8 | 0.0 |
| 4 | 20 | 20 | 3 | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 5 | 5 | 26 | 60 | 40 | 0 | 5 | 10 | 14 | 0 | 16.4 | 14.4 | 26.1 | 0.0 | 15.0 | 26.1 |
| 5 | 10 | 47 | 27 | 23 | 0 | 5 | 3 | 3 | 0 | 9.6 | 10.0 | 11.5 | 0.0 | 9.8 | 11.5 |
| 5 | 15 | 34 | 18 | 15 | 0 | 4 | 1 | 1 | 0 | 10.5 | 5.3 | 6.2 | 0.0 | 8.8 | 6.2 |
| 5 | 20 | 21 | 8 | 8 | 0 | 8 | 2 | 1 | 0 | 27.6 | 20.0 | 11.1 | 0.0 | 25.6 | 11.1 |
| 6 | 5 | 55 | 2 | 14 | 0 | 39 | 4 | 14 | 0 | 41.4 | 69.0 | 49.5 | 0.0 | 43.0 | 49.5 |
| 6 | 10 | 72 | 4 | 25 | 0 | 18 | 1 | 16 | 0 | 20.0 | 20.0 | 39.0 | 0.0 | 20.0 | 39.0 |
| 6 | 15 | 46 | 1 | 9 | 0 | 1 | 0 | 4 | 0 | 2.1 | 0.0 | 30.8 | 0.0 | 2.1 | 30.8 |
| 6 | 20 | 24 | 1 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 7 | 5 | 110 | 36 | 68 | 2 | 11 | 7 | 16 | 1 | 9.1 | 16.3 | 19.1 | 30.3 | 10.9 | 19.6 |
| 7 | 10 | 32 | 30 | 74 | 7 | 5 | 2 | 11 | 1 | 13.5 | 6.2 | 12.9 | 12.5 | 10.1 | 12.9 |
| 7 | 15 | 25 | 11 | 25 | 8 | 5 | 1 | 6 | 1 | 16.7 | 8.3 | 19.4 | 11.1 | 14.3 | 17.5 |
| 7 | 20 | 14 | 5 | 23 | 3 | 0 | 0 | 7 | 1 | 0.0 | 0.0 | 23.3 | 25.0 | 0.0 | 23.5 |
| 8 | 5 | 108 | 7 | 85 | 8 | 11 | 0 | 23 | 4 | 9.3 | 0.0 | 21.3 | 32.8 | 8.8 | 22.5 |
| 8 | 10 | 68 | 5 | 21 | 7 | 7 | 0 | 8 | 4 | 9.3 | 0.0 | 27.6 | 36.4 | 8.8 | 30.0 |
| 8 | 15 | 42 | 2 | 8 | 3 | 12 | 1 | 3 | 6 | 22.2 | 33.3 | 27.3 | 66.7 | 22.8 | 45.0 |
| 8 | 20 | 31 | 0 | 5 | 3 | 4 | 0 | 0 | 0 | 11.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 11.4 | 0.0 |
| 9 | 5 | 49 | 2 | 32 | 0 | 6 | 0 | 35 | 0 | 11.0 | 0.0 | 52.5 | 0.0 | 10.6 | 52.5 |
| 9 | 10 | 50 | 0 | 90 | 2 | 6 | 0 | 28 | 0 | 10.7 | 0.0 | 23.7 | 0.0 | 10.7 | 23.3 |
| 9 | 15 | 17 | 1 | 26 | 1 | 5 | 0 | 3 | 0 | 22.7 | 0.0 | 10.3 | 0.0 | 21.7 | 10.0 |
| 9 | 20 | 18 | 1 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 |

| | | Stammzahl nach Pflege | | | | Aushieb Pflege | | | | Eingriffsstärke der Pflege (%) | | | | | |
|-----|-----|-----------------------|----|----|----|----------------|----|----|----|--------------------------------|-------|------|-------|------|------|
| FNR | STU | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | TA | FI | BU | AL | NDH | LBH |
| 10 | 5 | 44 | 0 | 33 | 0 | 1 | 0 | 6 | 0 | 2.2 | 0.0 | 15.5 | 0.0 | 2.2 | 15.5 |
| 10 | 10 | 56 | 3 | 16 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 1.8 | 0.0 | 15.8 | 0.0 | 1.7 | 15.8 |
| 10 | 15 | 27 | 7 | 12 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 6.9 | 0.0 | 14.3 | 0.0 | 5.6 | 14.3 |
| 10 | 20 | 17 | 4 | 4 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5.6 | 0.0 | 20.0 | 0.0 | 4.5 | 20.0 |
| 11 | 5 | 32 | 0 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 0.0 |
| 11 | 10 | 66 | 0 | 20 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 7.0 | 0.0 | 13.0 | 0.0 | 7.0 | 13.0 |
| 11 | 15 | 58 | 0 | 24 | 0 | 8 | 2 | 10 | 0 | 12.1 | 100.0 | 29.4 | 0.0 | 14.7 | 29.4 |
| 11 | 20 | 41 | 1 | 21 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 4.7 | 0.0 | 12.5 | 0.0 | 4.5 | 12.5 |
| 12 | 5 | 58 | 15 | 52 | 0 | 2 | 1 | 6 | 0 | 3.3 | 6.1 | 10.3 | 0.0 | 3.9 | 10.3 |
| 12 | 10 | 78 | 24 | 25 | 0 | 9 | 1 | 7 | 1 | 10.3 | 4.0 | 21.9 | 100.0 | 8.9 | 24.2 |
| 12 | 15 | 77 | 8 | 25 | 0 | 11 | 3 | 5 | 0 | 12.5 | 27.3 | 16.7 | 0.0 | 14.1 | 16.7 |
| 12 | 20 | 26 | 6 | 23 | 0 | 3 | 1 | 6 | 0 | 10.3 | 14.3 | 20.7 | 0.0 | 11.1 | 20.7 |
| 13 | 5 | 41 | 57 | 91 | 10 | 1 | 1 | 17 | 1 | 2.4 | 1.7 | 15.7 | 9.0 | 2.0 | 15.1 |
| 13 | 10 | 93 | 20 | 47 | 13 | 10 | 1 | 22 | 2 | 9.7 | 4.8 | 31.9 | 13.3 | 8.9 | 28.6 |
| 13 | 15 | 72 | 9 | 40 | 10 | 11 | 2 | 14 | 2 | 13.3 | 18.2 | 25.9 | 16.7 | 13.8 | 24.2 |
| 13 | 20 | 50 | 5 | 30 | 7 | 8 | 0 | 4 | 2 | 13.8 | 0.0 | 11.8 | 22.2 | 12.7 | 14.0 |
| 14 | 5 | 9 | 42 | 16 | 0 | 2 | 4 | 17 | 0 | 17.5 | 8.7 | 50.9 | 0.0 | 10.4 | 50.9 |
| 14 | 10 | 38 | 36 | 2 | 0 | 4 | 5 | 1 | 0 | 9.5 | 12.2 | 33.3 | 0.0 | 10.8 | 33.3 |
| 14 | 15 | 22 | 11 | 2 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.5 | 0.0 |
| 14 | 20 | 15 | 4 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 28.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 24.0 | 0.0 |
| 15 | 5 | 120 | 31 | 3 | 0 | 8 | 1 | 0 | 0 | 6.2 | 3.1 | 0.0 | 0.0 | 5.6 | 0.0 |
| 15 | 10 | 117 | 12 | 22 | 19 | 3 | 4 | 5 | 5 | 2.5 | 25.0 | 18.5 | 20.8 | 5.1 | 19.6 |
| 15 | 15 | 52 | 4 | 17 | 15 | 2 | 0 | 7 | 1 | 3.7 | 0.0 | 29.2 | 6.2 | 3.4 | 20.0 |
| 15 | 20 | 30 | 2 | 21 | 7 | 2 | 0 | 3 | 4 | 6.2 | 0.0 | 12.5 | 36.4 | 5.9 | 20.0 |
| 16 | 5 | 42 | 9 | 17 | 0 | 4 | 1 | 5 | 0 | 8.6 | 10.5 | 22.7 | 0.0 | 8.9 | 22.7 |
| 16 | 10 | 45 | 27 | 22 | 0 | 5 | 3 | 6 | 0 | 10.0 | 10.0 | 21.4 | 0.0 | 10.0 | 21.4 |
| 16 | 15 | 29 | 9 | 14 | 0 | 5 | 1 | 4 | 0 | 14.7 | 10.0 | 22.2 | 0.0 | 13.6 | 22.2 |
| 16 | 20 | 12 | 7 | 9 | 1 | 4 | 1 | 1 | 0 | 25.0 | 12.5 | 10.0 | 0.0 | 20.8 | 9.1 |
| 17 | 5 | 129 | 34 | 6 | 0 | 4 | 1 | 18 | 0 | 3.0 | 2.9 | 76.3 | 0.0 | 3.0 | 76.3 |
| 17 | 10 | 70 | 44 | 9 | 1 | 7 | 2 | 5 | 0 | 9.1 | 4.3 | 35.7 | 0.0 | 7.3 | 33.3 |
| 17 | 15 | 33 | 17 | 9 | 0 | 6 | 4 | 2 | 0 | 15.4 | 19.0 | 18.2 | 0.0 | 16.7 | 18.2 |
| 17 | 20 | 7 | 5 | 11 | 0 | 2 | 2 | 2 | 0 | 22.2 | 28.6 | 15.4 | 0.0 | 25.0 | 15.4 |
| 18 | 5 | 6 | 3 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 18 | 10 | 77 | 0 | 13 | 0 | 4 | 0 | 3 | 0 | 4.9 | 0.0 | 18.8 | 0.0 | 4.9 | 18.8 |
| 18 | 15 | 66 | 1 | 5 | 0 | 13 | 0 | 1 | 0 | 16.5 | 0.0 | 16.7 | 0.0 | 16.2 | 16.7 |
| 18 | 20 | 41 | 0 | 4 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 24.1 | 0.0 |

Tab. A.5.2-13: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf kleine Eingriffsstärken (ES < 5 %, n= 207)

| Faktoren | FG | Chi ⁻² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|-------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 34.45 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 3 | 14.12 | 0.0027 | ** |
| Exposition EXP | 1 | 4.84 | 0.0278 | * |
| Förstergruppe FGR | 2 | 3.58 | 0.1673 | |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 9.40 | 0.0245 | * |
| BA * EXP | 3 | 2.15 | 0.5414 | |
| FGR * DSTU | 6 | 24.22 | 0.0005 | *** |
| Likelihood Ratio | 57 | 50.69 | 0.7093 | |

Die Interaktionseffekte zwischen Baumart und Förstergruppe, Baumart und BHD-Stufe, Exposition und Förstergruppe und zwischen Exposition und BHD-Stufe konnten nicht berechnet werden.

Tab. A.5.2-14: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf eine kleine Eingriffsstärke (n= 207).

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|---------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konstante | | -1.89 | 0.32 | 34.45 | 0.0000 |
| Baumart | and. Lbh | -0.76 | 0.58 | 1.70 | 0.1916 |
| | Buche | -1.14 | 0.54 | 4.53 | 0.0334 |
| | Fichte | 1.68 | 0.46 | 13.20 | 0.0003 |
| | Tanne | 0.22 | 0.42 | 0.28 | 0.5970 |
| Exposition | Nord | 0.74 | 0.33 | 4.84 | 0.0278 |
| | Süd | -0.74 | 0.33 | 4.84 | 0.0278 |
| Förstergruppe | FGR 1 | 0.61 | 0.35 | 3.16 | 0.0756 |
| | FGR 2 | -0.53 | 0.32 | 2.70 | 0.1004 |
| | FGR 3 | -0.08 | 0.28 | 0.09 | 0.7668 |
| BHD-Stufe | S05 | 0.09 | 0.34 | 0.07 | 0.7905 |
| | S10 | -0.80 | 0.40 | 3.95 | 0.0469 |
| | S15 | -0.31 | 0.36 | 0.73 | 0.3940 |
| | S20 | 1.02 | 0.36 | 8.04 | 0.0046 |
| FGR * DSTU | FGR1*S05 | -1.13 | 0.51 | 4.95 | 0.0261 |
| | FGR1*S10 | -1.40 | 0.64 | 4.78 | 0.0288 |
| | FGR1*S15 | 0.77 | 0.50 | 2.41 | 0.1207 |
| | FGR1*S20 | 1.75 | 0.54 | 10.44 | 0.0012 |
| | FGR3*S05 | 1.52 | 0.45 | 11.46 | 0.0007 |
| | FGR3*S10 | 0.84 | 0.49 | 2.93 | 0.0868 |
| | FGR3*S15 | -0.84 | 0.52 | 2.64 | 0.1040 |
| | FGR3*S20 | -1.53 | 0.49 | 9.86 | 0.0017 |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind.

Tab. A.5.2-15: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf grosse Eingriffsstärken (ES > 15 %, n= 207).

| Faktoren | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 2.95 | 0.0858 | |
| Baumart BA | 3 | 21.58 | 0.0001 | *** |
| Exposition EXP | 1 | 0.10 | 0.7489 | |
| Förstergruppe FGR | 2 | 0.72 | 0.6972 | |
| BHD-Stufe DSTU | | 4.08 | 0.2531 | |
| BA * EXP | 3 | 4.42 | 0.2195 | |
| FGR * DSTU | | 19.08 | 0.0040 | ** |
| Likelihood Ratio | 4 | 28.26 | 0.9595 | |

Tab. A.5.2-16: Schätzung des Einflusses der einzelnen Variablen auf eine grosse Eingriffsstärke (n= 207).

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² |
|---------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Konstante | | -0.37 | 0.22 | 2.95 | 0.0858 |
| Baumart | and. Lbh | 0.45 | 0.38 | 1.42 | 0.2333 |
| | Buche | 1.28 | 0.34 | 13.97 | 0.0002 |
| | Fichte | -0.71 | 0.36 | 3.87 | 0.0492 |
| | Tanne | -1.02 | 0.34 | 9.15 | 0.0025 |
| Exposition | Nord | 0.07 | 0.23 | 0.10 | 0.7489 |
| | Süd | -0.07 | 0.23 | 0.10 | 0.7489 |
| Förstergruppe | FGR 1 | 0.18 | 0.27 | 0.44 | 0.5059 |
| | FGR 2 | 0.00 | 0.27 | 0.00 | 0.9909 |
| | FGR 3 | -0.18 | 0.23 | 0.59 | 0.4436 |
| BHD-Stufe | S05 | 0.27 | 0.30 | 0.84 | 0.3602 |
| | S10 | 0.02 | 0.28 | 0.01 | 0.9309 |
| | S15 | 0.30 | 0.28 | 1.12 | 0.2898 |
| | S20 | -0.60 | 0.31 | 3.66 | 0.0557 |
| FGR * DSTU | FGR1*S05 | 1.14 | 0.41 | 7.65 | 0.0057 |
| | FGR1*S20 | -1.06 | 0.46 | 5.25 | 0.0219 |
| | FGR3*S05 | -1.61 | 0.44 | 13.51 | 0.0002 |
| | FGR3*S15 | 0.91 | 0.38 | 5.60 | 0.0179 |
| | FGR3*S20 | 0.69 | 0.40 | 2.88 | 0.0900 |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Es sind nur diejenigen Interaktionseffekte aufgelistet, welche auf dem 10%-Niveau signifikant sind.

Anhang 5.3: Förstervergleich

Tab. A.5.3-1: Alphabetische Liste der Testpersonen für den Pflegevergleich.

| NAME | Funktion |
|---------------|------------------------------|
| Benoit | Förster Couvet/Môtiers |
| Chedel (père) | Forstwart |
| Chedel (fils) | Abschluss Forstwartlehre |
| Gertsch | Förster Fleurier/St.-Sulpice |
| Giroud | Förster Buttes |
| Grandjean | Forstwart |
| Hirschy | Forstwart |
| Jaquet | Forstwart Chef Couvet |
| Mercier | Förster Les Bayards |
| Nicolet | Förster Les Verrières |
| Piazza | Absolvent Försterschule |
| Rota | Forstwart |

Bemerkung: Die Reihenfolge der Testpersonen in dieser Liste entspricht aus Gründen des Persönlichkeitsschutzes nicht der in Kap. 5.3 verwendeten Reihenfolge.

Kapitel 6.1: Einflussfaktoren: Standort, Schirm, Konkurrenz und Beschattung.

Tab. A.6.1-1: Klassenmittelhöhen der BHD-Klasse 50-69 cm, pro Baumart.

| FNR | BA | ANZ | MW | STD | STD MW | MIN | MAX |
|-----|----|-----|-------|------|--------|------|------|
| 1 | TA | 7 | 35.51 | 1.42 | 0.54 | 32.8 | 37.0 |
| 2 | FI | 5 | 37.84 | 3.50 | 1.56 | 33.8 | 42.8 |
| 2 | TA | 5 | 32.80 | 1.80 | 0.81 | 30.3 | 34.8 |
| 3 | FI | 3 | 35.60 | 2.35 | 1.36 | 34.0 | 38.3 |
| 3 | TA | 1 | 38.00 | . | . | 38.0 | 38.0 |
| 4 | FI | 9 | 38.36 | 2.86 | 0.95 | 34.1 | 42.3 |
| 4 | TA | 13 | 36.68 | 3.60 | 1.00 | 30.3 | 42.8 |
| 5 | FI | 3 | 32.40 | 5.13 | 2.96 | 27.0 | 37.2 |
| 5 | TA | 13 | 33.32 | 2.44 | 0.68 | 29.8 | 37.8 |
| 6 | FI | 18 | 33.07 | 2.41 | 0.57 | 27.1 | 36.3 |
| 6 | TA | 12 | 31.17 | 2.18 | 0.63 | 27.3 | 35.0 |
| 7 | FI | 1 | 29.80 | . | . | 29.8 | 29.8 |
| 7 | TA | 11 | 29.62 | 2.80 | 0.84 | 25.3 | 35.0 |
| 8 | FI | 5 | 36.88 | 2.63 | 1.18 | 32.8 | 39.0 |
| 8 | TA | 1 | 29.50 | . | . | 29.5 | 29.5 |
| 9 | FI | 12 | 37.94 | 2.17 | 0.63 | 34.3 | 41.5 |
| 9 | TA | 1 | 36.10 | . | . | 36.1 | 36.1 |
| 10 | FI | 13 | 37.87 | 2.00 | 0.55 | 35.0 | 41.0 |
| 10 | TA | 4 | 35.43 | 2.99 | 1.50 | 31.9 | 39.0 |
| 11 | FI | 7 | 38.06 | 2.73 | 1.03 | 34.1 | 41.0 |
| 11 | TA | 2 | 36.25 | 1.06 | 0.75 | 35.5 | 37.0 |
| 12 | FI | 3 | 38.23 | 1.72 | 1.00 | 36.7 | 40.1 |
| 12 | TA | 1 | 35.50 | . | . | 35.5 | 35.5 |
| 13 | FI | 1 | 30.00 | . | . | 30.0 | 30.0 |
| 13 | TA | 7 | 28.83 | 3.61 | 1.36 | 23.5 | 33.2 |
| 14 | FI | 1 | 31.20 | . | . | 31.2 | 31.2 |
| 14 | TA | 6 | 30.20 | 1.92 | 0.78 | 27.4 | 32.8 |
| 15 | FI | 6 | 39.68 | 3.49 | 1.43 | 36.0 | 44.2 |
| 15 | TA | 10 | 41.75 | 1.94 | 0.61 | 37.5 | 44.0 |
| 16 | FI | 1 | 34.00 | . | . | 34.0 | 34.0 |
| 16 | TA | 5 | 33.56 | 1.43 | 0.64 | 32.0 | 35.0 |
| 18 | FI | 6 | 37.00 | 1.90 | 0.77 | 35.5 | 40.5 |
| 18 | TA | 2 | 35.20 | 1.41 | 1.00 | 34.2 | 36.2 |

Legende:

FNR = Flächennummer

ANZ = Anzahl Stichproben

MW = Mittelwert (Stz./a)

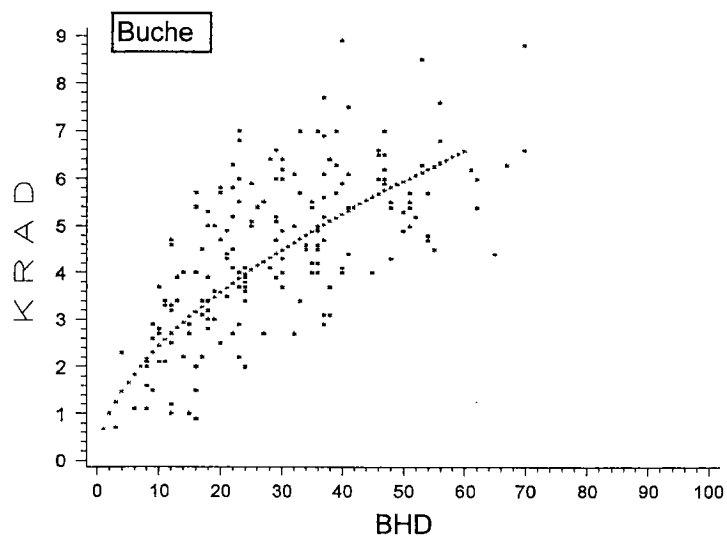
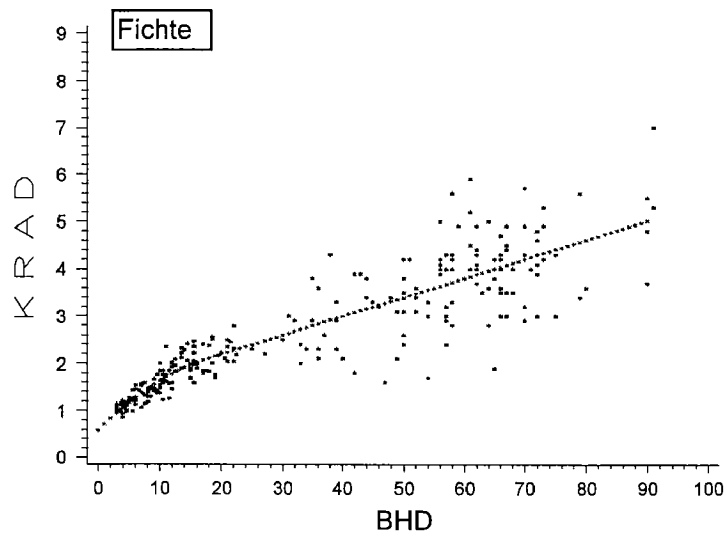
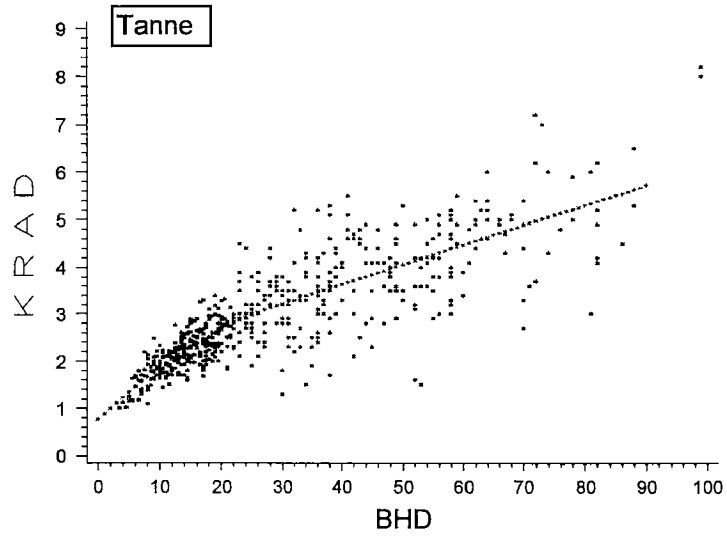
STD = Standardabweichung

STDMW = Standardfehler des Mittelwertes

MIN = Minimum

MAX = Maximum

Abb. A.6.1-1: Beziehung BHD zu Kronenradius, beob. Werte und Anpassungskurve.



Kapitel 6.2: Höhenkurve und Stabilität

Tab. 6.2-1: Prüfung des Einflusses von Faktoren auf den Schlankheitsgrad (n= 392).

| Faktor | FG | Chi ² | P> Chi ² | Signifikanz |
|--------------------|-----|------------------|---------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 1.48 | 0.2242 | |
| Baumart BA | 1 | 0.03 | 0.8556 | |
| Standort STAO | 5 | 13.29 | 0.0208 | * |
| Grundfläche GFK | 4 | 7.41 | 0.1157 | |
| Überschirmung SKLA | 2 | 0.45 | 0.7989 | |
| Konkurrenz KKLA | 3 | 23.23 | 0.0000 | *** |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 4.19 | 0.2419 | |
| LIKELIHOOD RATIO | 280 | 367.27 | 0.0004 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert P> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit
 Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Tab. A.6.2-2: Schätzung der Variablen mit signifik. Einfluss auf den Schlankheitsgrad.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | 0.22 | 0.18 | 1.48 | 0.2242 | |
| BA | Fichte | -0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.8556 | |
| | Tanne | 0.02 | 0.13 | 0.03 | 0.8556 | |
| STAO | Nord ausgez. | 1.00 | 0.38 | 6.84 | 0.0089 | ** |
| | Nord gut | 0.03 | 0.20 | 0.02 | 0.9021 | |
| | Nord mittel | 0.13 | 0.24 | 0.29 | 0.5914 | |
| | Nord schlecht | -0.68 | 0.39 | 3.05 | 0.0809 | (*) |
| | Süd gut | 0.36 | 0.37 | 0.98 | 0.3231 | |
| | Süd schlecht | -0.83 | 0.33 | 6.49 | 0.0108 | * |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.53 | 0.24 | 4.68 | 0.0305 | * |
| | 20 - 30 m ² | -0.02 | 0.21 | 0.01 | 0.9108 | |
| | 30 - 40 m ² | -0.11 | 0.21 | 0.28 | 0.5981 | |
| | 40 - 50 m ² | 0.56 | 0.26 | 4.55 | 0.0329 | * |
| | > 50 m ² | 0.10 | 0.32 | 0.10 | 0.7513 | |
| SKLA | nicht über. | 0.07 | 0.16 | 0.19 | 0.6620 | |
| | Traubereich | -0.11 | 0.17 | 0.42 | 0.5163 | |
| | überschirmt | 0.04 | 0.18 | 0.06 | 0.8102 | |
| KKLA | einzel (0) | -0.79 | 0.19 | 17.04 | 0.0000 | *** |
| | klein (1/2) | -0.55 | 0.22 | 6.13 | 0.0133 | * |
| | mittel (3/4) | 0.18 | 0.20 | 0.76 | 0.3827 | |
| | stark (> 4) | 1.16 | 0.33 | 12.30 | 0.0005 | *** |
| DSTU | 5 | -0.46 | 0.29 | 2.55 | 0.1103 | |
| | 10 | -0.01 | 0.19 | 0.00 | 0.9583 | |
| | 15 | 0.35 | 0.19 | 3.51 | 0.0609 | (*) |
| | 20 | 0.12 | 0.21 | 0.29 | 0.5872 | |

Kapitel 6.3: Kronenkennwerte und Vitalität

Tab. A.6.3-1: Prüfung des Einflusses von Faktoren auf die relative Kronenlänge (n= 392).

| Faktor | | FG | Chi ² | Prob> Chi ² | Signifikanz |
|-------------------------|------|-----|------------------|------------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 12.24 | 0.0005 | |
| Baumart | BA | 1 | 0.78 | 0.3759 | |
| Standort | STAO | 5 | 0.95 | 0.9665 | |
| Grundfläche | GFK | 4 | 16.42 | 0.0025 | ** |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 0.69 | 0.7083 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 4.34 | 0.2269 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 13.18 | 0.0043 | ** |
| LIKELIHOOD RATIO | | 283 | 361.62 | 0.0011 | |

Legende:

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.3-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die relative Kronenlänge.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | Prob Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|------------------|-----------------------|-------------|
| Konst. | | -0.70 | 0.20 | 12.24 | 0.0005 | |
| BA | Fichte | -0.13 | 0.14 | 0.78 | 0.3759 | |
| | Tanne | 0.13 | 0.14 | 0.78 | 0.3759 | |
| STAO | Nord ausgez. | -0.17 | 0.37 | 0.20 | 0.6524 | |
| | Nord gut | -0.06 | 0.21 | 0.08 | 0.7801 | |
| | Nord mittel | 0.16 | 0.25 | 0.41 | 0.5195 | |
| | Nord schlecht | -0.14 | 0.44 | 0.10 | 0.7481 | |
| | Süd gut | 0.13 | 0.38 | 0.12 | 0.7276 | |
| | Süd schlecht | 0.07 | 0.32 | 0.05 | 0.8174 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.92 | 0.27 | 11.22 | 0.0008 | *** |
| | 20 - 30 m ² | -0.09 | 0.21 | 0.18 | 0.6697 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.29 | 0.21 | 1.85 | 0.1742 | |
| | 40 - 50 m ² | 0.73 | 0.26 | 7.70 | 0.0055 | ** |
| | > 50 m ² | -0.01 | 0.33 | 0.00 | 0.9816 | |
| SKLA | nicht über. | -0.14 | 0.17 | 0.69 | 0.4072 | |
| | Traubereich | 0.06 | 0.18 | 0.10 | 0.7544 | |
| | überschirmt | 0.08 | 0.18 | 0.20 | 0.6578 | |
| KKLA | einzel | -0.28 | 0.19 | 2.26 | 0.1326 | |
| | klein | -0.18 | 0.22 | 0.70 | 0.4023 | |
| | mittel | -0.14 | 0.20 | 0.45 | 0.5025 | |
| | stark | 0.61 | 0.30 | 3.99 | 0.0457 | * |
| DSTU | 5 | -1.41 | 0.40 | 12.54 | 0.0004 | *** |
| | 10 | 0.29 | 0.21 | 1.85 | 0.1737 | |
| | 15 | 0.55 | 0.20 | 7.28 | 0.0070 | ** |
| | 20 | 0.56 | 0.24 | 5.72 | 0.0168 | * |

Legende:

FG = Freiheitsgrad

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - WertProb Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.3-3: Prüfung des Einflusses auf die relative Lichtkronenlänge (n = 392).

| Faktor | | FG | Chi ² | Prob> Chi ² | Signifikanz |
|------------------|------|-----|------------------|------------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 33.49 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 2.75 | 0.0971 | (*) |
| Standort | STAO | 5 | 0.73 | 0.9811 | |
| Grundfläche | GFKL | 5 | 6.25 | 0.2824 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 0.53 | 0.7658 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 10.24 | 0.0166 | * |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 9.45 | 0.0239 | * |
| LIKELIHOOD RATIO | | 289 | 345.88 | 0.0121 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert

Prob Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.3-4: Prüfung des Einflusses auf die relative Schattenkronenlänge (n = 392).

| Faktor | | FG | Chi ² | Prob> Chi ² | Signifikanz |
|------------------|------|-----|------------------|------------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 19.91 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 6.43 | 0.0112 | ** |
| Standort | STAO | 5 | 9.45 | 0.0924 | (*) |
| Grundfläche | GFKL | 5 | 7.46 | 0.1888 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 1.31 | 0.5193 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 1.06 | 0.7875 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 1.98 | 0.5773 | |
| LIKELIHOOD RATIO | | 289 | 352.00 | 0.0066 | |

Tab. A.6.3-5: Prüfung des Einflusses auf die relative Kronenschirmfläche (n= 392).

| Faktor | | FG | Chi2 | P> Chi2 | Signifikanz |
|---------------------------|-------------|-----|--------|---------|-------------|
| Konstante | | 1 | 8.39 | 0.0038 | |
| Baumart | BA | 1 | 31.3 | 0.0000 | *** |
| Standort | STAO | 5 | 4.48 | 0.4825 | |
| Grundfläche | GFK | 4 | 5.46 | 0.2431 | |
| Überschirmung SKLA | | 2 | 0.85 | 0.6535 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 20.97 | 0.0001 | *** |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 5.66 | 0.1293 | |
| LIKELIHOOD RATIO | | 274 | 315.72 | 0.0421 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad $\text{Chi}^2 = \text{Chi}^2 - \text{Wert}$ $\text{Prob} > \text{Chi}^2 = \text{Überschreitungswahrscheinlichkeit}$.

Tab. A.6.3-6: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die relative Kronenschirmfläche.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|------------------|--------------------|-------------|
| Konst. | | -0.60 | 0.21 | 8.39 | 0.0038 | |
| BA | Fichte | 0.80 | 0.14 | 31.30 | 0.0000 | *** |
| | Tanne | -0.80 | 0.14 | 31.30 | 0.0000 | *** |
| STAO | Nord ausgez. | -0.43 | 0.49 | 0.78 | 0.3761 | |
| | Nord gut | 0.02 | 0.24 | 0.01 | 0.9247 | |
| | Nord mittel | 0.54 | 0.28 | 3.90 | 0.0483 | * |
| | Nord schlecht | -0.09 | 0.40 | 0.05 | 0.8168 | |
| | Süd gut | -0.23 | 0.45 | 0.27 | 0.6037 | |
| | Süd schlecht | 0.19 | 0.34 | 0.32 | 0.5689 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | 0.57 | 0.27 | 4.55 | 0.0329 | |
| | 20 - 30 m ² | -0.09 | 0.25 | 0.13 | 0.7154 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.06 | 0.26 | 0.05 | 0.8242 | |
| | 40 - 50 m ² | -0.34 | 0.33 | 1.06 | 0.3035 | |
| | > 50 m ² | -0.19 | 0.46 | 0.17 | 0.6779 | |
| SKLA | nicht über. | -0.04 | 0.19 | 0.04 | 0.8507 | |
| | Traubereich | 0.18 | 0.20 | 0.80 | 0.3696 | |
| | überschirmt | -0.14 | 0.21 | 0.47 | 0.4948 | |
| KKLA | einzel | -1.00 | 0.30 | 11.31 | 0.0008 | *** |
| | klein | -0.49 | 0.21 | 5.39 | 0.0202 | * |
| | mittel | 0.24 | 0.22 | 1.16 | 0.2822 | |
| | gross | 1.25 | 0.32 | 14.79 | 0.0001 | *** |
| DSTU | 5 | 0.29 | 0.30 | 0.92 | 0.3362 | |
| | 10 | 0.22 | 0.22 | 1.04 | 0.3075 | |
| | 15 | -0.54 | 0.23 | 5.49 | 0.0191 | * |
| | 20 | 0.03 | 0.24 | 0.01 | 0.9034 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

 $\text{Chi}^2 = \text{Chi}^2 - \text{Wert}$ $\text{Prob} > \text{Chi}^2 = \text{Überschreitungswahrscheinlichkeit}$.

Tab. A.6.3-7: Prüfung des Einflusses auf die Ausbildung einer Spitzkrone.

| Faktor | | FG | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|------------------|------|-----|------------------|--------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 21.92 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 5.96 | 0.0146 | * |
| Standort | STAO | 5 | 8.67 | 0.1230 | |
| Grundfläche | GFK | 4 | 7.94 | 0.0939 | (*) |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 1.99 | 0.3704 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 11.93 | 0.0076 | ** |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 34.92 | 0.0000 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | | 274 | 289.16 | 0.2532 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.3-8: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Ausbildung einer Spitzkrone.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|---------|------------------|--------------------|-------------|
| Konst. | | -1.15 | 0.25 | 21.92 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | 0.37 | 0.15 | 5.96 | 0.0146 | * |
| | Tanne | -0.37 | 0.15 | 5.96 | 0.0146 | * |
| STAO | Nord ausgez. | 0.61 | 0.42 | 2.11 | 0.1465 | |
| | Nord gut | -0.56 | 0.24 | 5.70 | 0.0170 | * |
| | Nord mittel | 0.18 | 0.27 | 0.43 | 0.5126 | |
| | Nord schlecht | -0.31 | 0.46 | 0.45 | 0.5032 | |
| | Süd gut | 0.04 | 0.42 | 0.01 | 0.9226 | |
| | Süd schlecht | 0.04 | 0.34 | 0.02 | 0.8987 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | 0.74 | 0.29 | 6.46 | 0.0110 | * |
| | 20 - 30 m ² | 0.28 | 0.25 | 1.22 | 0.2698 | |
| | 30 - 40 m ² | -0.03 | 0.26 | 0.02 | 0.8995 | |
| | 40 - 50 m ² | 0.20 | 0.31 | 0.42 | 0.5190 | |
| | > 50 m ² | -1.18 | 0.55 | 4.57 | 0.0325 | * |
| SKLA | nicht über. | 0.08 | 0.18 | 0.18 | 0.6726 | |
| | Traubereich | 0.22 | 0.20 | 1.25 | 0.2633 | |
| | überschirmt | -0.30 | 0.22 | 1.87 | 0.1709 | |
| KKLA | einzel | -0.58 | 0.30 | 3.73 | 0.0535 | (*) |
| | klein | -0.27 | 0.21 | 1.65 | 0.1985 | |
| | mittel | 0.61 | 0.22 | 8.17 | 0.0043 | ** |
| | gross | 0.24 | 0.31 | 0.60 | 0.4388 | |
| DSTU | 5 | -1.95 | 0.50 | 15.00 | 0.0001 | *** |
| | 10 | -0.25 | 0.26 | 0.95 | 0.3293 | |
| | 15 | 0.70 | 0.25 | 8.18 | 0.0042 | ** |
| | 20 | 1.50 | 0.27 | 31.37 | 0.0000 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.3-9: Prüfung des Einflusses verschiedener Faktoren auf die Ausbildung eines vorwachsenden Gipfeltriebes.

| Faktor | FG | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 15.47 | 0.0001 | |
| Baumart BA | 1 | 0.96 | 0.3266 | |
| Standort STAO | 5 | 9.97 | 0.0761 | (*) |
| Grundfläche GFK | 4 | 9.91 | 0.0419 | * |
| Überschirmung SKLA | 2 | 2.52 | 0.2832 | |
| Konkurrenz KKLA | 3 | 1.27 | 0.7372 | |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 17.66 | 0.0005 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | 272 | 297.21 | 0.1406 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.3-10: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Ausbildung eines vorwachsenden Gipfeltriebes.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|---------|------------------|--------------------|-------------|
| Konst. | | 0.78 | 0.20 | 15.47 | 0.0001 | |
| BA | Fichte | 0.15 | 0.15 | 0.96 | 0.3266 | |
| | Tanne | -0.15 | 0.15 | 0.96 | 0.3266 | |
| STAO | Nord ausgez. | 0.15 | 0.40 | 0.14 | 0.7126 | |
| | Nord gut | 0.33 | 0.24 | 1.89 | 0.1695 | |
| | Nord mittel | -0.49 | 0.25 | 3.82 | 0.0508 | * |
| | Nord schlecht | 0.65 | 0.41 | 2.48 | 0.1151 | |
| | Süd gut | -0.31 | 0.43 | 0.53 | 0.4671 | |
| | Süd schlecht | -0.32 | 0.34 | 0.89 | 0.3460 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | 0.41 | 0.27 | 2.28 | 0.1308 | |
| | 20 - 30 m ² | 0.29 | 0.23 | 1.53 | 0.2168 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.47 | 0.25 | 3.62 | 0.0570 | (*) |
| | 40 - 50 m ² | -0.45 | 0.27 | 2.64 | 0.1042 | |
| | > 50 m ² | -0.72 | 0.34 | 4.61 | 0.0318 | * |
| SKLA | nicht über. | 0.18 | 0.19 | 0.94 | 0.3328 | |
| | Traubereich | -0.29 | 0.19 | 2.47 | 0.1164 | |
| | überschirmt | 0.11 | 0.19 | 0.35 | 0.5513 | |
| KKLA | einzel | -0.15 | 0.26 | 0.34 | 0.5594 | |
| | klein | 0.19 | 0.21 | 0.87 | 0.3518 | |
| | mittel | -0.04 | 0.24 | 0.03 | 0.8517 | |
| | gross | -0.00 | 0.36 | 0.00 | 0.9995 | |
| DSTU | 5 | -0.92 | 0.29 | 9.97 | 0.0016 | ** |
| | 10 | -0.30 | 0.21 | 2.10 | 0.1472 | |
| | 15 | 0.12 | 0.21 | 0.35 | 0.5545 | |
| | 20 | 1.10 | 0.28 | 15.0 | 0.0001 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-1: Prüfung des Einflusses auf den BHD-Quotienten (n= 391).

| Faktor | | FG | Chi ² | Prob>Chi ² | Signifikanz |
|-------------------------|--------|-----|------------------|-----------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 21.66 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 0.37 | 0.5412 | |
| Standort | STAO | 5 | 2.78 | 0.7333 | |
| Grundfläche | GFK | 4 | 3.56 | 0.4688 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 0.93 | 0.6287 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 7.35 | 0.0614 | (*) |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 10.77 | 0.0130 | * |
| Hangneigung | HNKLA | 3 | 1.67 | 0.6427 | |
| Kronensymmetrie | KROSYM | 2 | 7.89 | 0.0193 | * |
| LIKELIHOOD RATIO | | 337 | 350.02 | 0.3012 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den BHD-Quotienten.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | Prob>Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|------------------|-----------------------|-------------|
| Konst. | | -1.26 | 0.27 | 21.66 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | 0.09 | 0.15 | 0.37 | 0.5412 | |
| | Tanne | -0.09 | 0.15 | 0.37 | 0.5412 | |
| STAO | Nord ausgez. | -0.10 | 0.45 | 0.05 | 0.8202 | |
| | Nord gut | -0.08 | 0.25 | 0.10 | 0.7532 | |
| | Nord mittel | -0.43 | 0.30 | 1.98 | 0.1589 | |
| | Nord schlecht | -0.09 | 0.47 | 0.03 | 0.8566 | |
| | Süd gut | 0.61 | 0.51 | 1.42 | 0.2342 | |
| | Süd schlecht | 0.08 | 0.36 | 0.05 | 0.8147 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | 0.34 | 0.26 | 1.70 | 0.1928 | |
| | 20 - 30 m ² | -0.13 | 0.25 | 0.26 | 0.6132 | |
| | 30 - 40 m ² | -0.34 | 0.26 | 1.68 | 0.1951 | |
| | 40 - 50 m ² | -0.01 | 0.31 | 0.00 | 0.9798 | |
| | > 50 m ² | 0.13 | 0.40 | 0.10 | 0.7495 | |
| SKLA | nicht über. | 0.10 | 0.19 | 0.28 | 0.5999 | |
| | Traubereich | 0.10 | 0.20 | 0.27 | 0.6025 | |
| | überschirmt | -0.20 | 0.21 | 0.93 | 0.3356 | |
| KKLA | einzel | -0.39 | 0.30 | 1.74 | 0.1873 | |
| | klein | 0.19 | 0.21 | 0.82 | 0.3664 | |
| | mittel | -0.41 | 0.24 | 2.91 | 0.0881 | (*) |
| | gross | 0.62 | 0.32 | 3.81 | 0.0509 | * |
| DSTU | 5 | 0.48 | 0.30 | 2.59 | 0.1074 | |
| | 10 | -0.76 | 0.25 | 9.15 | 0.0025 | ** |
| | 15 | -0.06 | 0.22 | 0.07 | 0.7907 | |
| | 20 | 0.34 | 0.23 | 2.05 | 0.1526 | |
| HNKLA | < 20 % | -0.29 | 0.55 | 0.28 | 0.5988 | |
| | 20 - 39 % | 0.42 | 0.34 | 1.58 | 0.2093 | |
| | 40 - 59 % | 0.03 | 0.27 | 0.01 | 0.9125 | |
| | ≥ 60 % | -0.16 | 0.50 | 0.10 | 0.7494 | |
| KROSYM | Kalsud>Kalnor | -0.06 | 0.21 | 0.07 | 0.7935 | |
| | Kalsud=Kalnor | -0.41 | 0.21 | 3.74 | 0.0531 | * |
| | Kalsud<Kalnor | 0.47 | 0.18 | 7.13 | 0.0076 | ** |

Tab. A.6.4-3: Prüfung des Einflusses auf die relative Länge des Dürrestbereichs (n= 391).

| Faktor | | FG | Chi2 | P > Chi2 | Signifikanz |
|------------------|------|-----|--------|----------|-------------|
| Konstante | | 1 | 3.39 | 0.0655 | |
| Baumart | BA | 1 | 8.59 | 0.0034 | ** |
| Standort | STAO | 5 | 6.65 | 0.2482 | |
| Grundfläche | GFK | 4 | 4.58 | 0.3334 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 1.61 | 0.4474 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 14.62 | 0.0022 | ** |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 17.11 | 0.0007 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | | 274 | 325.27 | 0.0181 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad $\chi^2 = \chi^2$ - Wert $P > \chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-4: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Länge des Dürrestbereichs.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | χ^2 | $P > \chi^2$ | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|----------|----------|--------------|-------------|
| Konst. | | -0.34 | 0.18 | 3.39 | 0.0655 | |
| BA | Fichte | 0.41 | 0.14 | 8.59 | 0.0034 | ** |
| | Tanne | -0.41 | 0.14 | 8.59 | 0.0034 | ** |
| STAO | Nord ausgez. | 0.30 | 0.37 | 0.65 | 0.4213 | |
| | Nord gut | -0.37 | 0.21 | 2.99 | 0.0840 | |
| | Nord mittel | -0.41 | 0.25 | 2.66 | 0.1032 | |
| | Nord schlecht | 0.09 | 0.37 | 0.06 | 0.7989 | |
| | Süd gut | 0.58 | 0.39 | 2.26 | 0.1324 | |
| | Süd schlecht | -0.19 | 0.31 | 0.38 | 0.5389 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.34 | 0.26 | 1.75 | 0.1863 | |
| | 20 - 30 m ² | 0.28 | 0.22 | 1.61 | 0.2044 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.10 | 0.22 | 0.21 | 0.6452 | |
| | 40 - 50 m ² | 0.25 | 0.27 | 0.84 | 0.3592 | |
| | > 50 m ² | -0.29 | 0.39 | 0.53 | 0.4646 | |
| SKLA | nicht über. | -0.21 | 0.17 | 1.47 | 0.2253 | |
| | Traubereich | 0.15 | 0.18 | 0.72 | 0.3962 | |
| | überschirmt | 0.06 | 0.19 | 0.09 | 0.7588 | |
| KKLA | einzel | -1.00 | 0.29 | 12.03 | 0.0005 | *** |
| | klein | -0.10 | 0.19 | 0.29 | 0.5894 | |
| | mittel | 0.18 | 0.21 | 0.78 | 0.3773 | |
| | stark | 0.92 | 0.30 | 9.23 | 0.0024 | ** |
| DSTU | 5 | -0.31 | 0.30 | 1.10 | 0.2934 | |
| | 10 | -0.69 | 0.22 | 10.15 | 0.0014 | ** |
| | 15 | 0.30 | 0.20 | 2.33 | 0.1265 | |
| | 20 | 0.71 | 0.22 | 10.34 | 0.0013 | ** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

 $\chi^2 = \chi^2$ - Wert $Prob > \chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-5: Prüfung des Einflusses auf die relative astfreie Schaftlänge (n= 391)

| Faktor | | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|------------------|------|-----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 22.55 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 44.11 | 0.0000 | *** |
| Standort | STAO | 5 | 17.85 | 0.0031 | ** |
| Grundfläche | GFK | 4 | 5.65 | 0.2272 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 3.46 | 0.1773 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 1.16 | 0.7622 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 11.22 | 0.0106 | ** |
| LIKELIHOOD RATIO | | 274 | 309.57 | 0.0686 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-6: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die relative astfreie Schaftlänge.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -1.04 | 0.22 | 22.55 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | -1.11 | 0.17 | 44.11 | 0.0000 | *** |
| | Tanne | 1.11 | 0.17 | 44.11 | 0.0000 | *** |
| STAO | Nord ausgez. | -0.50 | 0.39 | 1.65 | 0.1983 | |
| | Nord gut | 0.04 | 0.22 | 0.04 | 0.8398 | |
| | Nord mittel | 1.08 | 0.27 | 15.89 | 0.0001 | *** |
| | Nord schlecht | -0.34 | 0.46 | 0.54 | 0.4606 | |
| | Süd gut | -0.60 | 0.41 | 2.10 | 0.1475 | |
| | Süd schlecht | 0.32 | 0.34 | 0.88 | 0.3483 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.50 | 0.27 | 3.55 | 0.0594 | (*) |
| | 20 - 30 m ² | -0.17 | 0.23 | 0.60 | 0.4404 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.34 | 0.23 | 2.16 | 0.1417 | |
| | 40 - 50 m ² | 0.08 | 0.27 | 0.08 | 0.7749 | |
| | > 50 m ² | 0.26 | 0.36 | 0.55 | 0.4599 | |
| SKLA | nicht über. | -0.25 | 0.17 | 2.11 | 0.1465 | |
| | Traubereich | 0.32 | 0.19 | 2.91 | 0.0879 | (*) |
| | überschirmt | -0.07 | 0.19 | 0.14 | 0.7104 | |
| KKLA | einzel | 0.17 | 0.26 | 0.46 | 0.4998 | |
| | klein | 0.15 | 0.20 | 0.54 | 0.4607 | |
| | mittel | 0.00 | 0.22 | 0.00 | 0.9845 | |
| | stark | -0.32 | 0.34 | 0.89 | 0.3455 | |
| DSTU | 5 | -0.47 | 0.33 | 2.07 | 0.1505 | |
| | 10 | 0.72 | 0.22 | 10.74 | 0.0011 | ** |
| | 15 | 0.01 | 0.20 | 0.00 | 0.9569 | |
| | 20 | -0.26 | 0.23 | 1.21 | 0.2719 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-7: Prüfung des Einflusses auf die Aststärke der Auslesebäume (n=391).

| Faktor | | FG | Chi2 | P> Chi2 | Signifikanz |
|------------------|------|-----|--------|---------|-------------|
| Konstante | | 1 | 22.34 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 4.49 | 0.0341 | * |
| Standort | STAO | 5 | 6.53 | 0.2583 | |
| Grundfläche | GFK | 4 | 3.99 | 0.4067 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 2.21 | 0.3310 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 2.06 | 0.5598 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 68.90 | 0.0000 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | | 274 | 269.41 | 0.5670 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad $\chi^2 = \chi^2$ - Wert $P > \chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-8: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Aststärke.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi2 | P> Chi2 | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|-------|---------|-------------|
| Konst. | | 1.33 | 0.28 | 22.34 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | 0.35 | 0.16 | 4.49 | 0.0341 | * |
| | Tanne | -0.35 | 0.16 | 4.49 | 0.0341 | * |
| STAO | Nord ausgez. | 0.86 | 0.46 | 3.41 | 0.0648 | (*) |
| | Nord gut | -0.22 | 0.24 | 0.81 | 0.3678 | |
| | Nord mittel | 0.32 | 0.29 | 1.20 | 0.2737 | |
| | Nord schlecht | -0.66 | 0.53 | 1.55 | 0.2130 | |
| | Süd gut | -0.18 | 0.46 | 0.15 | 0.6986 | |
| | Süd schlecht | -0.12 | 0.37 | 0.11 | 0.7406 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.28 | 0.29 | 0.92 | 0.3366 | |
| | 20 - 30 m ² | -0.06 | 0.24 | 0.05 | 0.8165 | |
| | 30 - 40 m ² | -0.18 | 0.25 | 0.51 | 0.4761 | |
| | 40 - 50 m ² | 0.61 | 0.32 | 3.67 | 0.0553 | (*) |
| | > 50 m ² | -0.09 | 0.40 | 0.05 | 0.8270 | |
| SKLA | nicht über. | -0.18 | 0.18 | 0.90 | 0.3416 | |
| | Traubereich | 0.30 | 0.21 | 2.03 | 0.1542 | |
| | überschirmt | -0.12 | 0.22 | 0.33 | 0.5679 | |
| KKLA | einzel | -0.21 | 0.30 | 0.47 | 0.4920 | |
| | klein | 0.28 | 0.22 | 1.69 | 0.1930 | |
| | mittel | -0.06 | 0.24 | 0.06 | 0.8028 | |
| | stark | -0.01 | 0.35 | 0.00 | 0.9706 | |
| DSTU | 5 | 2.17 | 0.60 | 13.03 | 0.0003 | *** |
| | 10 | 1.12 | 0.31 | 12.83 | 0.0003 | *** |
| | 15 | -1.24 | 0.27 | 21.01 | 0.0000 | *** |
| | 20 | -2.05 | 0.30 | 46.94 | 0.0000 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

 $\chi^2 = \chi^2$ - Wert Prob> $\chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-9: Prüfung des Einflusses auf die Aststärke der Ausleseebäume II (n=391).

| Faktor | FG | Chi2 | P> Chi2 | Signifikanz |
|--------------------|-----|--------|---------|-------------|
| Konstante | 1 | 24.75 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 1 | 5.10 | 0.0239 | * |
| Standort STAO | 5 | 6.12 | 0.2947 | |
| Grundfläche GFK | 4 | 6.99 | 0.1364 | |
| Überschirmung SKLA | 2 | 1.91 | 0.3849 | |
| Konkurrenz KKLA | 3 | 5.34 | 0.1487 | |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 66.72 | 0.0000 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | 288 | 283.27 | 0.5676 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad $\chi^2 = \chi^2$ - Wert $P > \chi^2$ = Überschreitungswahrscheinlichkeit.
 Definition der Konkurrenzklassen mit Hilfe der Konkurrenzzahl nach Schütz.

Tab. A.6.4-10: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Aststärke II.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi2 | P> Chi2 | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|---------|-------|---------|-------------|
| Konst. | | -1.60 | 0.32 | 24.75 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | -0.38 | 0.17 | 5.10 | 0.0239 | * |
| | Tanne | 0.38 | 0.17 | 5.10 | 0.0239 | * |
| STAO | Nord ausgez. | -0.77 | 0.45 | 2.91 | 0.0880 | (*) |
| | Nord gut | 0.21 | 0.24 | 0.77 | 0.3817 | |
| | Nord mittel | -0.33 | 0.30 | 1.23 | 0.2673 | |
| | Nord schlecht | 0.67 | 0.55 | 1.47 | 0.2249 | |
| | Süd gut | 0.13 | 0.45 | 0.08 | 0.7755 | |
| | Süd schlecht | 0.10 | 0.38 | 0.06 | 0.7994 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | 0.51 | 0.29 | 3.03 | 0.0817 | (*) |
| | 20 - 30 m ² | 0.09 | 0.24 | 0.14 | 0.7082 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.21 | 0.25 | 0.70 | 0.4024 | |
| | 40 - 50 m ² | -0.76 | 0.32 | 5.59 | 0.0180 | * |
| | > 50 m ² | -0.05 | 0.39 | 0.02 | 0.8934 | |
| SKLA | nicht über. | 0.20 | 0.18 | 1.24 | 0.2664 | |
| | Traubereich | -0.25 | 0.21 | 1.43 | 0.2316 | |
| | überschirmt | 0.05 | 0.22 | 0.05 | 0.8166 | |
| KKLA | klein | 0.51 | 0.24 | 4.52 | 0.0334 | * |
| | mässig | -0.24 | 0.22 | 1.20 | 0.2724 | |
| | mittel | 0.03 | 0.23 | 0.01 | 0.9134 | |
| | gross | -0.29 | 0.26 | 1.29 | 0.2553 | |
| DSTU | 5 | -2.81 | 0.80 | 12.23 | 0.0005 | *** |
| | 10 | -0.82 | 0.35 | 5.41 | 0.0200 | * |
| | 15 | 1.40 | 0.32 | 19.00 | 0.0000 | *** |
| | 20 | 2.23 | 0.35 | 40.46 | 0.0000 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

 $\chi^2 = \chi^2$ - Wert $\text{Prob} > \chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-11: Prüfung des Einflusses auf die Astdichte in 5 und 10 m Höhe (n= 391).

| Faktor | | FG | Chi2 | P> Chi2 | Signifikanz |
|------------------|------|-----|--------|---------|-------------|
| Konstante | | 1 | 12.98 | 0.0003 | |
| Baumart | BA | 1 | 3.68 | 0.0551 | (*) |
| Standort | STAO | 5 | 10.36 | 0.0656 | (*) |
| Grundfläche | GFK | 4 | 10.53 | 0.0323 | * |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 0.10 | 0.9516 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 5.72 | 0.1261 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 1 | 0.21 | 0.6460 | |
| LIKELIHOOD RATIO | | 133 | 145.38 | 0.2185 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad $\chi^2 = \chi^2$ - Wert $P > \chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.6.4-12: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Astdichte in 5 bis 10 m Höhe.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -1.47 | 0.41 | 12.98 | 0.0003 | |
| BA | Fichte | -0.45 | 0.24 | 3.68 | 0.0551 | (*) |
| | Tanne | 0.45 | 0.24 | 3.68 | 0.0551 | (*) |
| STAO | Nord ausgez. | -1.13 | 0.58 | 3.75 | 0.0529 | (*) |
| | Nord gut | -0.12 | 0.33 | 0.14 | 0.7079 | |
| | Nord mittel | 0.51 | 0.37 | 1.88 | 0.1703 | |
| | Nord schlecht | 1.80 | 0.84 | 4.58 | 0.0323 | * |
| | Süd gut | -1.03 | 0.71 | 2.10 | 0.1475 | |
| | Süd schlecht | -0.03 | 0.51 | 0.00 | 0.9459 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.96 | 0.43 | 4.92 | 0.0266 | * |
| | 20 - 30 m ² | -0.49 | 0.31 | 2.43 | 0.1193 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.59 | 0.30 | 3.87 | 0.0490 | * |
| | 40 - 50 m ² | 0.10 | 0.35 | 0.09 | 0.7684 | |
| | > 50 m ² | 0.75 | 0.47 | 2.59 | 0.1075 | |
| SKLA | nicht über. | 0.06 | 0.23 | 0.07 | 0.7933 | |
| | Traubereich | 0.02 | 0.26 | 0.00 | 0.9473 | |
| | überschirmt | -0.08 | 0.27 | 0.08 | 0.7788 | |
| KKLA | einzel | 0.73 | 0.45 | 2.58 | 0.1082 | |
| | klein | 0.66 | 0.35 | 3.63 | 0.0567 | (*) |
| | mittel | 0.51 | 0.36 | 1.96 | 0.1618 | |
| | stark | -1.90 | 0.80 | 5.57 | 0.0183 | * |
| DSTU | 15 | 0.08 | 0.17 | 0.21 | 0.6460 | |
| | 20 | -0.08 | 0.17 | 0.21 | 0.6460 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

 $\chi^2 = \chi^2$ - Wert Prob> $\chi^2 =$ Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Kapitel 7: Entwicklung der Ausleseebäume

Tab. A.7.1-1: Prüfung des Einflusses auf den BHD-Zuwachs der Ausleseebäume (n=391).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz | |
|------------------|------|------------------|----------------------|-------------|-----|
| Konstante | 1 | 45.33 | 0.0000 | | |
| Baumart | BA | 1 | 1.98 | 0.1591 | |
| Standort | STAO | 5 | 13.96 | 0.0159 | * |
| Grundfläche | GFK | 4 | 13.92 | 0.0075 | ** |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 6.21 | 0.0448 | * |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 9.16 | 0.0272 | * |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 19.67 | 0.0002 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | 253 | 216.70 | 0.9523 | | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.7.1-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den BHD-Zuwachs der ALB.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -2.91 | 0.43 | 45.33 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | -0.24 | 0.17 | 1.98 | 0.1591 | |
| | Tanne | 0.24 | 0.17 | 1.98 | 0.1591 | |
| STAO | Nord ausgez. | 0.64 | 0.44 | 2.13 | 0.1447 | |
| | Nord gut | 0.55 | 0.25 | 4.88 | 0.0272 | * |
| | Nord mittel | -1.00 | 0.37 | 7.28 | 0.0070 | ** |
| | Nord schlecht | -0.40 | 0.58 | 0.48 | 0.4874 | |
| | Süd gut | 0.19 | 0.44 | 0.19 | 0.6647 | |
| | Süd schlecht | 0.03 | 0.39 | 0.01 | 0.9380 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | 1.05 | 0.34 | 9.37 | 0.0022 | ** |
| | 20 - 30 m ² | 0.77 | 0.34 | 5.20 | 0.0226 | * |
| | 30 - 40 m ² | -0.30 | 0.40 | 0.58 | 0.4476 | |
| | 40 - 50 m ² | -0.80 | 0.66 | 1.50 | 0.2207 | |
| | > 50 m ² | -0.72 | 0.88 | 0.67 | 0.4124 | |
| SKLA | nicht übersch. | 0.50 | 0.20 | 6.09 | 0.0136 | * |
| | Traubereich | -0.30 | 0.27 | 1.19 | 0.2756 | |
| | überschirmt | -0.20 | 0.28 | 0.52 | 0.4727 | |
| KKLA | einzel | 0.74 | 0.30 | 6.02 | 0.0141 | * |
| | klein | 0.15 | 0.26 | 0.33 | 0.5660 | |
| | mittel | -0.56 | 0.31 | 3.30 | 0.0693 | (*) |
| | stark | -0.33 | 0.55 | 0.37 | 0.5437 | |
| DSTU | 5 | -1.38 | 0.59 | 5.40 | 0.0202 | * |
| | 10 | -0.29 | 0.30 | 0.91 | 0.3412 | |
| | 15 | 0.40 | 0.28 | 2.07 | 0.1498 | |
| | 20 | 1.27 | 0.30 | 17.70 | 0.0000 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.7.2-1: Prüfung des Einflusses auf den Höhenzuwachs der Ausleseebäume (n=386).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|------------------|------|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 20.71 | 0.0000 | |
| Baumart | BA | 1 | 6.43 | 0.0112 * |
| Standort | STAO | 5 | 16.43 | 0.0057 ** |
| Grundfläche | GFK | 4 | 5.04 | 0.2834 |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 3.81 | 0.1488 |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 2.20 | 0.5328 |
| rel. Kronenlänge | RKLA | 2 | 25.42 | 0.0000 *** |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 26.50 | 0.0000 *** |
| LIKELIHOOD RATIO | 317 | 210.15 | 1.0000 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab A.7.2-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den Höhenzuwachs der ALB.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -1.54 | 0.34 | 20.71 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | 0.52 | 0.20 | 6.43 | 0.0112 | * |
| | Tanne | -0.52 | 0.20 | 6.43 | 0.0112 | * |
| STAO | Nord ausgez. | -2.08 | 0.85 | 6.01 | 0.0142 | * |
| | Nord gut | -0.66 | 0.40 | 2.79 | 0.0949 | (*) |
| | Nord mittel | 0.88 | 0.35 | 6.15 | 0.0131 | * |
| | Nord schlecht | 0.59 | 0.45 | 1.72 | 0.1897 | |
| | Süd gut | 0.86 | 0.58 | 2.15 | 0.1425 | |
| | Süd schlecht | 0.42 | 0.47 | 0.80 | 0.3696 | |
| GFK | 0 - 20 m ² | -0.43 | 0.37 | 1.32 | 0.2507 | |
| | 20 - 30 m ² | -0.23 | 0.33 | 0.50 | 0.4778 | |
| | 30 - 40 m ² | -0.37 | 0.35 | 1.11 | 0.2911 | |
| | 40 - 50 m ² | -0.01 | 0.41 | 0.00 | 0.9766 | |
| | > 50 m ² | 1.04 | 0.49 | 4.51 | 0.0336 | * |
| SKLA | nicht über. | -0.20 | 0.27 | 0.56 | 0.4534 | |
| | Traubereich | 0.48 | 0.25 | 3.76 | 0.0524 | (*) |
| | überschirmt | -0.28 | 0.31 | 0.80 | 0.3714 | |
| KKLA | einzel | 0.51 | 0.38 | 1.76 | 0.1841 | |
| | klein | 0.06 | 0.31 | 0.04 | 0.8512 | |
| | mittel | 0.23 | 0.38 | 0.39 | 0.5327 | |
| | stark | -0.80 | 0.65 | 1.50 | 0.2204 | |
| RKLA | < 60 | 1.57 | 0.37 | 18.50 | 0.0000 | *** |
| | 60 - 70 | 0.07 | 0.26 | 0.08 | 0.7801 | |
| | > 70 | -1.64 | 0.33 | 24.45 | 0.0000 | *** |
| DSTU | 5 | 1.80 | 0.40 | 19.88 | 0.0000 | *** |
| | 10 | 0.68 | 0.30 | 5.28 | 0.0216 | * |
| | 15 | -0.91 | 0.35 | 6.64 | 0.0100 | * |
| | 20 | -1.57 | 0.47 | 11.17 | 0.0008 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

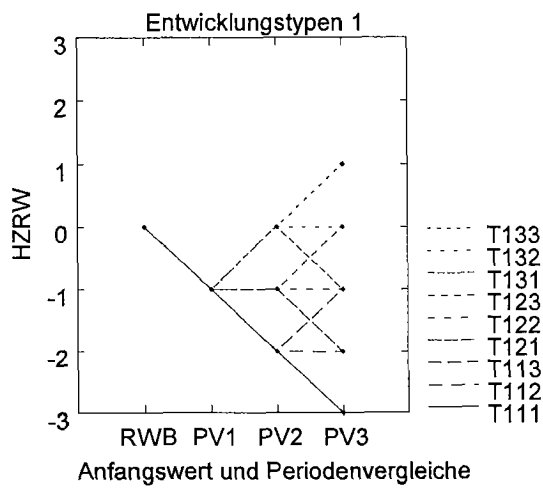
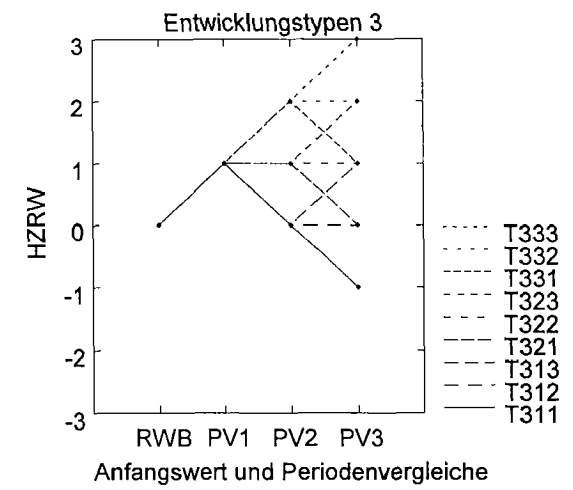
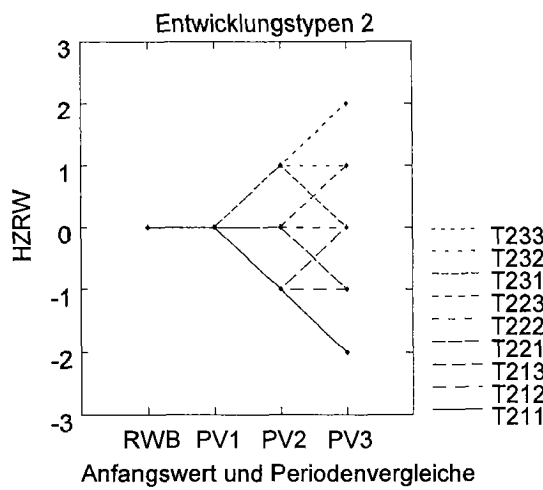


Abb. A.7.2-1 a,b,c:
Darstellung der Höhenzuwachs-Verläufe
der drei Entwicklungstypen 1 bis 3.
 Legende:
 Entwicklungstyp 1: Höhenzuwachs-Abnahme
 in der zweiten gegenüber der ersten Periode.
 Entwicklungstyp 2: Höhenzuwachs-Konstanz
 in der zweiten gegenüber der ersten Periode.
 Entwicklungstyp 3: Höhenzuwachs-Zunahme
 in der zweiten gegenüber der ersten Periode.
 HZRW= Relativwert des Höhenzuwachses
 RWB = Relativwert zu Beginn (auf 0 gesetzt)
 PV1 = Periodenvergleich 1, d.h. Vergleich des
 HZ der zweiten mit der ersten 5-Jahresperiode
 T133: Typ des Höhenentwicklungs-Verlaufs mit
 Abnahme in PV1, Zunahme in PV2 und PV3.



Kapitel 8.1: BHD und Hoehc in Abhängigkeit des Alters

Tab. A. 8.1-1: Prüfung der Abhängigkeit verschiedener Faktoren mit dem Alter (n = 743).

| Faktor | | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------------|-------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 6.08 | 0.0137 | |
| Baumart | BA | 3 | 97.86 | 0.0000 | *** |
| Standort | STAO | 5 | 39.45 | 0.0000 | *** |
| BHD-Stufe | DSTU | 3 | 103.25 | 0.0000 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | | 61 | 104.89 | 0.0004 | |

Legende:

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = berschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab.A.8.1-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf das Alter.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|---------------|---------------|------------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -0.44 | 0.18 | 6.08 | 0.0137 | |
| BA | Tanne | 1.40 | 0.20 | 49.55 | 0.0000 | *** |
| | Fichte | 0.75 | 0.27 | 7.81 | 0.0052 | ** |
| | Buche | -0.61 | 0.19 | 9.96 | 0.0016 | ** |
| | and.Lbh | -1.53 | 0.43 | 12.93 | 0.0003 | *** |
| STAO | Nord ausgez. | -1.57 | 0.39 | 15.89 | 0.0001 | *** |
| | Nord gut | 0.08 | 0.19 | 0.17 | 0.6781 | |
| | Nord mittel | 0.85 | 0.20 | 17.87 | 0.0000 | *** |
| | Nord schlecht | 0.04 | 0.38 | 0.01 | 0.9155 | |
| | Süd gut | -0.29 | 0.26 | 1.24 | 0.2656 | |
| | Süd schlecht | 0.89 | 0.22 | 16.97 | 0.0000 | *** |
| DSTU | 5 | -1.65 | 0.18 | 84.35 | 0.0000 | *** |
| | 10 | -0.40 | 0.15 | 7.18 | 0.0074 | ** |
| | 15 | 1.02 | 0.18 | 32.91 | 0.0000 | *** |
| | 20 | 1.02 | 0.24 | 18.31 | 0.0000 | *** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = berschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.1-3: Prüfung des Einflusses div. Faktoren auf das Alter der Tanne (n= 299).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|----------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 0.13 | 0.7172 | |
| Standort STAO | 2 | 7.18 | 0.0276 | * |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 17.22 | 0.0006 | *** |
| Aushiebsgrund AHGKLA | 2 | 1.72 | 0.4223 | |
| STAO * DSTU | 6 | 11.32 | 0.0790 | (*) |
| STAO * AHGKLA | 4 | 11.50 | 0.0215 | * |
| DSTU * AHGKLA | 6 | 4.81 | 0.5690 | |
| LIKELIHOOD RATIO | 12 | 26.93 | 0.0079 | |

Legende Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A. 8.1-4: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf das Alter der Tanne.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------|-------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| INTERCEPT | 1 | 0.07 | 0.20 | 0.13 | 0.7172 | |
| STAO | Nord gut | -0.41 | 0.27 | 2.33 | 0.1268 | |
| | Nord mittel | 0.64 | 0.24 | 7.18 | 0.0074 | ** |
| | Süd | -0.23 | 0.24 | 0.96 | 0.3272 | |
| DSTU | 5 | -1.25 | 0.39 | 10.35 | 0.0013 | ** |
| | 10 | -0.16 | 0.28 | 0.35 | 0.5561 | |
| | 15 | 1.04 | 0.31 | 11.49 | 0.0007 | *** |
| | 20 | 0.37 | 0.38 | 0.96 | 0.3272 | |
| AHGKLA | andere | 0.04 | 0.26 | 0.02 | 0.8754 | |
| | Konkurrent | 0.27 | 0.27 | 0.95 | 0.3296 | |
| | negativ | -0.31 | 0.25 | 1.55 | 0.2130 | |
| STAO*DSTU | Ng*S05 | -1.10 | 0.63 | 3.03 | 0.0818 | (*) |
| | Ng*S10 | 0.21 | 0.37 | 0.33 | 0.5664 | |
| | Ng*S15 | -0.14 | 0.37 | 0.15 | 0.6981 | |
| | Ng*S20 | 1.03 | 0.46 | 4.92 | 0.0266 | * |
| | Nm*S05 | 0.04 | 0.46 | 0.01 | 0.9324 | |
| | Nm*S10 | 0.22 | 0.36 | 0.38 | 0.5387 | |
| | Nm*S15 | 0.75 | 0.48 | 2.48 | 0.1151 | |
| | Nm*S20 | -1.01 | 0.47 | 4.68 | 0.0306 | * |
| STAO*AHGKLA | Ng*andere | 0.60 | 0.30 | 3.90 | 0.0484 | * |
| | Ng*Konkurr | 0.02 | 0.32 | 0.01 | 0.9434 | |
| | Ng*negativ | -0.62 | 0.30 | 4.19 | 0.0406 | * |
| | Nm*andere | -0.98 | 0.32 | 9.27 | 0.0023 | ** |
| | Nm*Konkurr | 0.31 | 0.39 | 0.64 | 0.4255 | |
| | Nm*negativ | 0.67 | 0.34 | 3.98 | 0.0459 | * |
| DSTU*AHGKLA | S05*andere | 0.10 | 0.49 | 0.04 | 0.8424 | |
| | S05*Konkurr | 0.56 | 0.60 | 0.85 | 0.3561 | |
| | S05*negativ | -0.65 | 0.46 | 2.05 | 0.1526 | |
| | S10*andere | 0.19 | 0.35 | 0.30 | 0.5856 | |
| | S10*Konkurr | -0.63 | 0.41 | 2.36 | 0.1245 | |
| | S10*negativ | 0.44 | 0.34 | 1.72 | 0.1900 | |
| | S15*andere | -0.09 | 0.40 | 0.05 | 0.8273 | |
| | S15*Konkurr | -0.31 | 0.37 | 0.70 | 0.4031 | |
| | S15*negativ | 0.40 | 0.40 | 1.01 | 0.3152 | |

Kapitel 8.2: Engkern und Unterdrückung

Tab. A. 8.2-1: Prüfung des Einflusses auf die Ausbildung eines Engkerns (n= 737).

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-----------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 37.73 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 3 | 133.80 | 0.0000 | *** |
| Standort STAO | 5 | 29.54 | 0.0000 | *** |
| Grundfläche GFK | 3 | 15.56 | 0.0014 | ** |
| LIKELIHOOD | 34 | 86.98 | 0.0000 | |

Legende Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Engkernbildung.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|--------|--------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | 1.07 | 0.17 | 37.73 | 0.0000 | |
| BA | And. Lbh | -1.67 | 0.30 | 30.55 | 0.0000 | *** |
| | Buche | -1.23 | 0.18 | 48.76 | 0.0000 | *** |
| | Fichte | 1.33 | 0.32 | 17.01 | 0.0000 | *** |
| | Tanne | 1.57 | 0.21 | 56.16 | 0.0000 | *** |
| STAO | Nord ausg. | 0.37 | 0.38 | 0.94 | 0.3329 | |
| | Nord gut | 0.00 | 0.18 | 0.00 | 0.9788 | |
| | Nord mittel | -0.47 | 0.25 | 3.45 | 0.0632 | (*) |
| | Nord schlecht | -1.26 | 0.38 | 11.22 | 0.0008 | *** |
| | Süd gut | 0.29 | 0.24 | 1.40 | 0.2364 | |
| | Süd schlecht | 1.08 | 0.24 | 19.37 | 0.0000 | *** |
| GFK | 20-25 m ² /ha | -0.35 | 0.22 | 2.70 | 0.1000 | (*) |
| | 25-30 m ² /ha | 0.07 | 0.18 | 0.15 | 0.7022 | |
| | 30-35 m ² /ha | -0.64 | 0.21 | 9.68 | 0.0019 | ** |
| | > 35 m ² /ha | 0.93 | 0.30 | 9.41 | 0.0022 | ** |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-3: Prüfung des Einflusses auf die Ausbildung eines Engkerns beim Nadelholz im Datensatz Aushieb Detail (n= 129).

| Faktor | | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|----------------------|-------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 15.19 | 0.0001 | |
| Baumart | BA | 1 | 2.00 | 0.1569 | |
| Standort | STAO | 3 | 1.80 | 0.6159 | |
| Grundfläche | GFK | 3 | 7.10 | 0.0686 | (*) |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 1.02 | 0.6008 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 3.41 | 0.3324 | |
| LIKELIHOOD | | 79 | 64.36 | 0.8833 | |

Legende:

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-4: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Engkernbildung bei Nadelbäumen.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|---------------|----------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | 1.72 | 0.44 | 15.19 | 0.0001 | |
| BA | Fichte | -0.52 | 0.37 | 2.00 | 0.1569 | |
| | Tanne | 0.52 | 0.37 | 2.00 | 0.1569 | |
| STAO | Nord gut | 0.52 | 0.60 | 0.76 | 0.3843 | |
| | Nord mittel | -0.17 | 0.54 | 0.11 | 0.7453 | |
| | Süd gut | -0.73 | 0.67 | 1.21 | 0.2711 | |
| | Süd schlecht | 0.39 | 0.91 | 0.18 | 0.6707 | |
| GFK | 0 - 20 m ² /ha | 0.77 | 0.65 | 1.43 | 0.2313 | |
| | 20 - 30 m ² /ha | -0.19 | 0.52 | 0.14 | 0.7131 | |
| | 30 - 40 m ² /ha | 1.01 | 0.65 | 2.38 | 0.1229 | |
| | > 40 m ² /ha | -1.59 | 0.66 | 5.71 | 0.0168 | * |
| SKLA | nicht übersch. | 0.17 | 0.45 | 0.14 | 0.7099 | |
| | Traubereich | -0.49 | 0.49 | 1.01 | 0.3151 | |
| | überschirmt | 0.33 | 0.49 | 0.44 | 0.5088 | |
| KKLA | einzel | -0.13 | 0.75 | 0.03 | 0.8596 | |
| | klein | 0.97 | 0.59 | 2.71 | 0.1000 | (*) |
| | mittel | -0.49 | 0.50 | 0.96 | 0.3279 | |
| | gross | -0.35 | 0.75 | 0.22 | 0.6427 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-5: Prüfung des Einflusses auf Unterdrückungszeitraum (n= 509)

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 23.54 | 0.0000 | |
| Baumart BA | 2 | 18.71 | 0.0001 | *** |
| Standort STAO | 5 | 22.18 | 0.0005 | *** |
| Durchmesser BHD | 3 | 19.49 | 0.0002 | *** |
| LIKELIHOOD RATIO | 47 | 88.16 | 0.0003 | |

Legende:

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-6: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den Unterdrückungszeitraum.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|--------|---------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -0.77 | 0.16 | 23.54 | 0.0000 | |
| BA | Buche | -0.17 | 0.17 | 0.94 | 0.3328 | |
| | Fichte | -0.48 | 0.22 | 4.75 | 0.0294 | * |
| | Tanne | 0.65 | 0.15 | 18.25 | 0.0000 | *** |
| STAO | Nord ausg. | -0.71 | 0.41 | 3.04 | 0.0812 | (*) |
| | Nord gut | -0.05 | 0.20 | 0.07 | 0.7879 | |
| | Nord mittel | 0.83 | 0.20 | 17.08 | 0.0000 | *** |
| | Nord schlecht | 0.20 | 0.37 | 0.30 | 0.5821 | |
| | Süd gut | 0.06 | 0.27 | 0.05 | 0.8187 | |
| | Süd schlecht | -0.33 | 0.23 | 2.03 | 0.1545 | |
| DSTU | 5 | 0.68 | 0.18 | 14.76 | 0.0001 | *** |
| | 10 | 0.27 | 0.16 | 2.89 | 0.0892 | (*) |
| | 15 | -0.38 | 0.18 | 4.53 | 0.0333 | * |
| | 20 | -0.57 | 0.24 | 5.61 | 0.0179 | * |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-7: Prüfung des Einflusses auf die Unterdrückungsintensität (n= 509)

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|------------------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 0.94 | 0.3321 | |
| Baumart BA | 2 | 60.71 | 0.0000 | *** |
| Standort STAO | 5 | 19.08 | 0.0019 | ** |
| Durchmesser BHD | 3 | 2.91 | 0.4058 | |
| LIKELIHOOD RATIO | 47 | 79.21 | 0.0023 | |

Legende:

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.2-8: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Unterdrückungsintensität.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|--------|---------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | 0.15 | 0.15 | 0.94 | 0.3321 | |
| BA | Buche | -1.17 | 0.17 | 45.19 | 0.0000 | *** |
| | Fichte | 0.40 | 0.22 | 3.48 | 0.0621 | (*) |
| | Tanne | 0.77 | 0.16 | 24.37 | 0.0000 | *** |
| STAO | Nord ausg. | -1.02 | 0.38 | 7.08 | 0.0078 | ** |
| | Nord gut | -0.10 | 0.20 | 0.23 | 0.6280 | |
| | Nord mittel | 0.50 | 0.21 | 5.35 | 0.0207 | * |
| | Nord schlecht | -0.57 | 0.36 | 2.44 | 0.1184 | |
| | Süd gut | 0.52 | 0.29 | 3.23 | 0.0721 | (*) |
| | Süd schlecht | 0.66 | 0.24 | 7.72 | 0.0054 | ** |
| DSTU | 5 | 0.28 | 0.19 | 2.24 | 0.1341 | |
| | 10 | 0.01 | 0.16 | 0.00 | 0.9458 | |
| | 15 | 0.05 | 0.18 | 0.06 | 0.7997 | |
| | 20 | -0.34 | 0.24 | 1.94 | 0.1635 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Kapitel 8.4: Schaftform

Tab. A.8.4-1: Prüfung des Einflusses auf die Ausbildung einer Stumpfkrone.

| Faktor | FG | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|--------------------|-----|------------------|--------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 13.39 | 0.0003 | |
| Baumart BA | 1 | 2.36 | 0.1243 | |
| Standort STAO | 5 | 6.05 | 0.3016 | |
| Grundfläche GFK | 4 | 11.10 | 0.0255 | * |
| Überschirmung SKLA | 2 | 8.21 | 0.0165 | * |
| Konkurrenz KKLA | 3 | 5.13 | 0.1626 | |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 4.53 | 0.2100 | |
| LIKELIHOOD RATIO | 136 | 119.25 | 0.8460 | |

Legende:

FG = Freiheitsgrad Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Bildung einer Stumpfkrone.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P>Chi ² | Signifikanz |
|--------|------------------------|-----------|---------|------------------|--------------------|-------------|
| Konst. | | -1.73 | 0.47 | 13.39 | 0.0003 | |
| BA | Fichte | -0.47 | 0.31 | 2.36 | 0.1243 | |
| | Tanne | 0.47 | 0.31 | 2.36 | 0.1243 | |
| STAO | Nord ausgez. | -2.22 | 1.05 | 4.47 | 0.0345 | * |
| | Nord gut | -0.18 | 0.45 | 0.16 | 0.6870 | |
| | Nord mittel | 0.22 | 0.44 | 0.24 | 0.6241 | |
| | Nord schlecht | 0.37 | 0.81 | 0.20 | 0.6513 | |
| | Süd gut | 0.66 | 0.60 | 1.20 | 0.2725 | |
| | Süd schlecht | 1.16 | 0.69 | 2.82 | 0.0931 | (*) |
| GFK | 0 - 20 m ² | -1.55 | 0.60 | 6.76 | 0.0093 | ** |
| | 20 - 30 m ² | -0.19 | 0.42 | 0.21 | 0.6449 | |
| | 30 - 40 m ² | 0.88 | 0.41 | 4.70 | 0.0301 | * |
| | 40 - 50 m ² | 0.89 | 0.55 | 2.60 | 0.1071 | (*) |
| | > 50 m ² | -0.03 | 0.78 | 0.00 | 0.9721 | |
| SKLA | nicht über. | -0.87 | 0.36 | 5.82 | 0.0159 | |
| | Traubereich | 0.05 | 0.31 | 0.03 | 0.8724 | |
| | überschirmt | 0.82 | 0.31 | 7.06 | 0.0079 | ** |
| KKLA | einzel | 0.59 | 0.52 | 1.30 | 0.2548 | |
| | klein | 0.27 | 0.34 | 0.63 | 0.4279 | |
| | mittel | -0.81 | 0.41 | 3.96 | 0.0467 | * |
| | gross | -0.05 | 0.53 | 0.01 | 0.9225 | |
| DSTU | 5 | 0.78 | 0.47 | 2.80 | 0.0945 | (*) |
| | 10 | 0.10 | 0.40 | 0.06 | 0.8070 | |
| | 15 | 0.39 | 0.38 | 1.04 | 0.3076 | |
| | 20 | -1.27 | 0.69 | 3.35 | 0.0671 | (*) |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-1: Ausbauchungsreihe für die Tanne auf mittleren bis guten Standorten.

| HKLA | DQVAR | ANZ | MW | STD | NVP | Q1 | MED | Q3 |
|------|-------|-----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12 | DQ00 | 23 | 117.79 | 6.13 | 0.964 | 114.8 | 117.2 | 120.9 |
| 12 | DQ02 | 25 | 98.39 | 2.73 | 0.959 | 97.2 | 98.0 | 99.3 |
| 12 | DQ04 | 25 | 89.29 | 3.75 | 0.934 | 87.1 | 88.7 | 91.0 |
| 12 | DQ06 | 25 | 74.52 | 6.86 | 0.953 | 70.5 | 75.0 | 79.3 |
| 12 | DQ08 | 25 | 54.20 | 8.68 | 0.943 | 48.4 | 56.3 | 62.0 |
| 12 | DQ10 | 25 | 28.07 | 10.02 | 0.963 | 24.8 | 28.2 | 35.5 |
| 12 | DQ12 | 11 | 10.37 | 4.67 | 0.919 | 5.0 | 11.3 | 14.6 |
| 15 | DQ00 | 31 | 117.76 | 5.67 | 0.904 | 115.9 | 117.9 | 119.6 |
| 15 | DQ02 | 32 | 99.69 | 2.91 | 0.952 | 98.0 | 99.4 | 101.3 |
| 15 | DQ04 | 32 | 92.87 | 3.42 | 0.938 | 92.0 | 93.1 | 94.7 |
| 15 | DQ06 | 32 | 83.86 | 4.90 | 0.925 | 81.4 | 85.0 | 87.5 |
| 15 | DQ08 | 32 | 73.09 | 7.42 | 0.935 | 67.9 | 75.3 | 78.2 |
| 15 | DQ10 | 32 | 58.71 | 9.64 | 0.958 | 51.4 | 60.4 | 65.9 |
| 15 | DQ12 | 32 | 40.21 | 10.69 | 0.976 | 31.2 | 40.4 | 47.5 |
| 15 | DQ14 | 26 | 18.40 | 10.67 | 0.947 | 10.2 | 15.7 | 24.3 |
| 15 | DQ16 | 5 | 8.47 | 9.35 | 0.622 | 4.3 | 4.5 | 5.1 |
| 18 | DQ00 | 28 | 118.25 | 5.52 | 0.934 | 116.3 | 117.8 | 120.4 |
| 18 | DQ02 | 28 | 98.94 | 2.36 | 0.971 | 97.3 | 98.8 | 100.3 |
| 18 | DQ04 | 28 | 94.13 | 2.87 | 0.977 | 92.2 | 94.0 | 96.1 |
| 18 | DQ06 | 28 | 88.94 | 3.63 | 0.973 | 86.5 | 88.0 | 91.8 |
| 18 | DQ08 | 28 | 81.86 | 4.59 | 0.913 | 77.3 | 82.4 | 85.6 |
| 18 | DQ10 | 28 | 72.56 | 6.42 | 0.982 | 68.8 | 71.9 | 76.9 |
| 18 | DQ12 | 28 | 60.80 | 8.34 | 0.990 | 54.7 | 61.3 | 65.5 |
| 18 | DQ14 | 28 | 45.42 | 10.02 | 0.972 | 38.9 | 46.3 | 51.1 |
| 18 | DQ16 | 27 | 27.86 | 12.45 | 0.941 | 21.1 | 26.3 | 35.0 |
| 18 | DQ18 | 18 | 14.53 | 12.07 | 0.749 | 7.3 | 10.0 | 18.0 |

Legende:

HKLA = Höhenklasse

ANZ = Anzahl Stichproben

NVP = Normalverteilungsprüfung

Q1: 1. Quartil (25%)

DQVAR = Durchmesser-Quotient auf der Höhe von .. m

MW = Mittelwert (Stz./a) STD = Standardabweichung

P < W: Wahrscheinlichkeit für Normalverteilung.

MED = Median (50%) Q3 = 3. Quartil (75%).

Tab. A.8.4-2: Prüfung des Einflusses auf die mittlere Durchmesserabnahme (n= 164).

| Faktor | FG | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz | |
|-------------------------|------|------------------|----------------------|-------------|----|
| Konstante | 1 | 17.27 | 0.0000 | | |
| Baumart | BA | 1 | 0.43 | 0.5134 | |
| Standort | STAO | 5 | 16.74 | 0.0050 | ** |
| Grundfläche | GFK | 3 | 3.71 | 0.2940 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 0.46 | 0.7926 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 8.11 | 0.0438 | * |
| BHD-Stufe | DSTU | 2 | 9.88 | 0.0072 | ** |
| LIKELIHOOD RATIO | 118 | 117.58 | 0.4937 | | |

Legende:

Chi² = Chi² - Wert P > Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-3: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Durchmesserabnahme des Baumschaftes.

| Faktor | Klasse | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|---------------|----------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -1.67 | 0.40 | 17.27 | 0.0000 | |
| BA | Fichte | -0.18 | 0.28 | 0.43 | 0.5134 | |
| | Tanne | 0.18 | 0.28 | 0.43 | 0.5134 | |
| STAO | Nord ausg. | -1.14 | 1.03 | 1.23 | 0.2682 | |
| | Nord gut | -0.64 | 0.43 | 2.16 | 0.1413 | |
| | Nord mittel | 0.12 | 0.42 | 0.08 | 0.7803 | |
| | Nord schlecht | 1.52 | 0.70 | 4.75 | 0.0293 | * |
| | Süd gut | -1.53 | 0.74 | 4.24 | 0.0394 | * |
| | Süd schlecht | 1.67 | 0.60 | 7.76 | 0.0053 | ** |
| GFK | < 20 m ² | 0.50 | 0.35 | 2.11 | 0.1465 | |
| | 20-30 m ² | 0.25 | 0.37 | 0.46 | 0.4974 | |
| | 30-40 m ² | -0.71 | 0.43 | 2.64 | 0.1043 | |
| | > 40 m ² | -0.05 | 0.48 | 0.01 | 0.9188 | |
| SKLA | nicht übersch. | 0.22 | 0.33 | 0.46 | 0.4971 | |
| | Traubereich | -0.10 | 0.32 | 0.10 | 0.7499 | |
| | überschirmt | -0.12 | 0.31 | 0.16 | 0.6896 | |
| KKLA | einzel | 0.79 | 0.39 | 4.20 | 0.0405 | * |
| | klein | -0.45 | 0.43 | 1.12 | 0.2894 | |
| | mittel | 0.77 | 0.38 | 4.02 | 0.0450 | * |
| | gross | -1.11 | 0.62 | 3.17 | 0.0752 | (*) |
| DSTU | 10 | 0.99 | 0.32 | 9.67 | 0.0019 | ** |
| | 15 | -0.33 | 0.31 | 1.13 | 0.2886 | |
| | 20 | -0.66 | 0.40 | 2.77 | 0.0963 | (*) |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-4: Prüfung des Einflussfaktors auf die Formigkeit der Nadelbäume (n=158).

| Faktor | FG | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz | |
|------------------|------|------------------|----------------------|-------------|----|
| Konstante | 1 | 4.65 | 0.0310 | | |
| Baumart | BA | 1 | 0.15 | 0.7016 | |
| Standort | STAO | 5 | 2.28 | 0.8089 | |
| Grundfläche | GFK | 3 | 3.05 | 0.3846 | |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 1.92 | 0.3836 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 1.32 | 0.7242 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 2 | 11.22 | 0.0037 | ** |
| LIKELIHOOD RATIO | 118 | 145.78 | 0.0205 | | |

Legende:

Chi² = Chi² - WertP < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-5: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Formigkeit der Nadelbäume.

| Faktor | Klasse | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|---------------|----------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | -0.75 | 0.35 | 4.65 | 0.0310 | |
| BA | Fichte | 0.10 | 0.25 | 0.15 | 0.7016 | |
| | Tanne | -0.10 | 0.25 | 0.15 | 0.7016 | |
| STAO | Nord ausg. | -0.55 | 1.02 | 0.29 | 0.5891 | |
| | Nord gut | 0.26 | 0.39 | 0.45 | 0.5015 | |
| | Nord mittel | 0.28 | 0.41 | 0.45 | 0.5005 | |
| | Nord schlecht | 0.72 | 0.72 | 0.99 | 0.3209 | |
| | Süd gut | -0.68 | 0.74 | 0.85 | 0.3568 | |
| | Süd schlecht | -0.02 | 0.55 | 0.00 | 0.9642 | |
| GFK | < 20 m ² | 0.51 | 0.32 | 2.63 | 0.1049 | |
| | 20-30 m ² | 0.01 | 0.36 | 0.00 | 0.9692 | |
| | 30-40 m ² | -0.36 | 0.36 | 1.04 | 0.3081 | |
| | > 40 m ² | -0.16 | 0.45 | 0.13 | 0.7188 | |
| SKLA | nicht übersch. | 0.37 | 0.28 | 1.75 | 0.1861 | |
| | Traubereich | -0.27 | 0.29 | 0.89 | 0.3455 | |
| | überschirmt | -0.09 | 0.30 | 0.10 | 0.7563 | |
| KKLA | einzel | 0.01 | 0.34 | 0.00 | 0.9775 | |
| | klein | -0.32 | 0.36 | 0.81 | 0.3683 | |
| | mittel | 0.30 | 0.33 | 0.84 | 0.3588 | |
| | gross | 0.02 | 0.42 | 0.00 | 0.9702 | |
| DSTU | 10 | -0.68 | 0.29 | 5.45 | 0.0196 | |
| | 15 | -0.40 | 0.26 | 2.33 | 0.1267 | |
| | 20 | 1.08 | 0.32 | 11.15 | 0.0008 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - WertP < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-6: Prüfung des Einflusses auf die Schaftovalität in 6 m Baumhöhe.

| Faktor | FG | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|-------------------------|-----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 0.59 | 0.441 | |
| Baumart BA | 1 | 1.08 | 0.298 | |
| Standort STAO | 5 | 5.87 | 0.319 | |
| Grundfläche GFK | 4 | 7.58 | 0.108 | |
| Überschirmung SKLA | 2 | 3.01 | 0.223 | |
| Konkurrenz KKLA | 3 | 3.90 | 0.272 | |
| BHD-Stufe DSTU | 2 | 0.98 | 0.613 | |
| Kronensymmetrie KSYM | 1 | 0.19 | 0.663 | |
| LIKELIHOOD RATIO | 113 | 156.87 | 0.004 | |

Legende: Chi² = Chi² - Wert P < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.8.4-7: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf die Schaftovalität in 6m Baumhöhe.

| Faktor | Klasse | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|---------------|----------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | 1 | -0.2823 | 0.3664 | 0.59 | 0.4410 | |
| BA | Fichte | 0.2695 | 0.2588 | 1.08 | 0.2978 | |
| | Tanne | -0.2695 | 0.2588 | 1.08 | 0.2978 | |
| STAO | Nord ausg. | 0.0927 | 0.7195 | 0.02 | 0.8975 | |
| | Nord gut | 0.8611 | 0.3858 | 4.98 | 0.0256 | * |
| | Nord mittel | 0.0584 | 0.4050 | 0.02 | 0.8854 | |
| | Nord schlecht | -0.1395 | 0.7892 | 0.03 | 0.8597 | |
| | Süd gut | -0.8712 | 0.7366 | 1.40 | 0.2369 | |
| | Süd schlecht | -0.0015 | 0.5981 | 0.00 | 0,9980 | |
| GFK | < 20 m ² | -0.4557 | 0.3965 | 1.32 | 0.2504 | |
| | 20-30 m ² | -0.6270 | 0.3903 | 2.58 | 0.1082 | |
| | 30-40 m ² | 0.7180 | 0.3719 | 3.73 | 0.0535 | (*) |
| | 40-50 m ² | -0.0635 | 0.4563 | 0.02 | 0.8894 | |
| | > 50 m ² | 0.4282 | 0.6375 | 0.45 | 0.5018 | |
| SKLA | nicht übersch. | -0.0529 | 0.2929 | 0.03 | 0.8566 | |
| | Traubereich | -0.4236 | 0.3039 | 1.94 | 0.1633 | |
| | überschirmt | 0.4766 | 0.2963 | 2.59 | 0.1078 | |
| KKLA | einzel | -0.3776 | 0.5207 | 0.53 | 0.4683 | |
| | klein | -0.2376 | 0.3175 | 0.56 | 0.4542 | |
| | mittel | -0.2576 | 0.3314 | 0.60 | 0.4370 | |
| | gross | 0.8728 | 0.4507 | 3.75 | 0.0528 | (*) |
| DSTU | 10 | -0.1148 | 0.2830 | 0.16 | 0.6849 | |
| | 15 | -0.2236 | 0.2813 | 0.63 | 0.4268 | |
| | 20 | 0.3384 | 0.3536 | 0.92 | 0.3386 | |
| KSYM | symmetrisch | 0.0925 | 0.2122 | 0.19 | 0.6629 | |
| | unsymmetrisch | -0.0925 | 0.2122 | 0.19 | 0.6629 | |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Kapitel 8.5: Astigkeit

Tab. A.8.5-1: Prüfung des Einflusses auf den mittleren Astdurchmesser der Nadelbäume (n=66).

| Faktor | FG | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|------------------|------|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 6.47 | 0.0110 | |
| Baumart | BA | 1 | 4.35 | 0.0371 * |
| Exposition | EXPO | 1 | 1.52 | 0.2177 |
| Grundfläche | GFK | 3 | 5.05 | 0.1683 |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 0.91 | 0.6344 |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 5.28 | 0.1521 |
| BHD-Stufe | DSTU | 1 | 2.78 | 0.0953 (*) |
| LIKELIHOOD RATIO | 118 | 55.67 | 0.1116 | |

Legende: Chi² = Chi² - Wert P < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit

Tab. A.8.5-2: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den mittleren Astdurchmesser.

| Faktor | Klasse | Schätzung | Std.Err. | Chi ² | P < Chi ² | Signifikanz |
|--------|----------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | 1 | -1.95 | 0.77 | 6.47 | 0.0110 | |
| BA | Fichte | 0.90 | 0.43 | 4.35 | 0.0371 | * |
| | Tanne | -0.90 | 0.43 | 4.35 | 0.0371 | * |
| EXPO | Nord. | 0.56 | 0.46 | 1.52 | 0.2177 | |
| | Süd | -0.56 | 0.46 | 1.52 | 0.2177 | |
| GFK | < 20 m ² | -0.47 | 0.66 | 0.50 | 0.4786 | |
| | 20-30 m ² | 1.36 | 0.61 | 4.95 | 0.0261 | * |
| | 30-40 m ² | -0.41 | 0.65 | 0.40 | 0.5258 | |
| | > 40 m ² | -0.47 | 0.75 | 0.40 | 0.5249 | |
| SKLA | nicht übersch. | 0.17 | 0.46 | 0.14 | 0.7057 | |
| | Traubereich | 0.29 | 0.52 | 0.31 | 0.5748 | |
| | überschirmt | -0.46 | 0.48 | 0.91 | 0.3401 | |
| KKLA | einzel | -0.92 | 0.96 | 0.94 | 0.3335 | |
| | klein | 0.51 | 0.61 | 0.69 | 0.4063 | |
| | mittel | 1.25 | 0.58 | 4.68 | 0.0305 | * |
| | gross | -0.83 | 0.76 | 1.19 | 0.2762 | |
| DSTU | 15 | 0.90 | 0.54 | 2.78 | 0.0953 | (*) |
| | 20 | -0.90 | 0.54 | 2.78 | 0.0953 | (*) |

Legende:

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - Wert P < Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

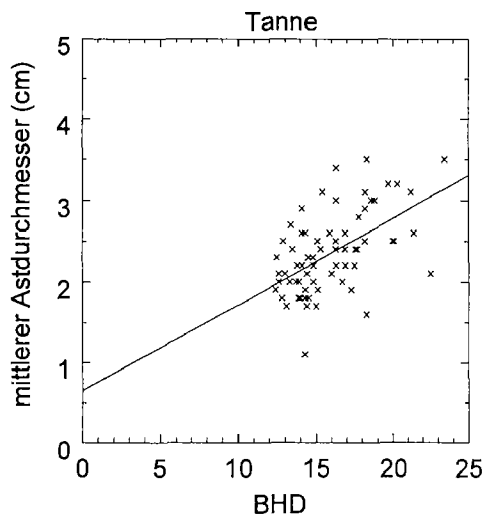


Abb. A.8.5-1: Beziehung zwischen BHD und mittlerem Grünstammdurchmesser.

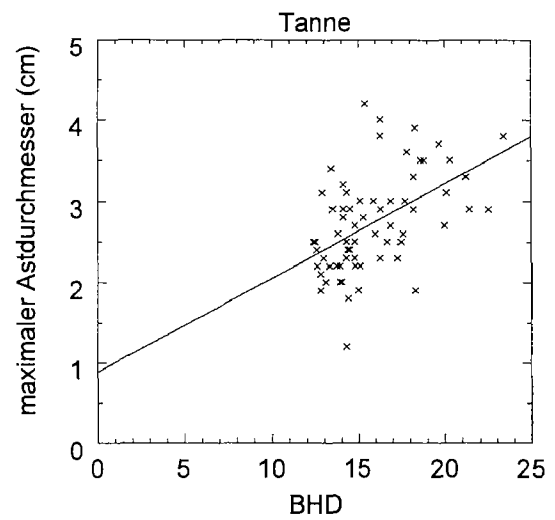


Abb. A.8.5-2: Beziehung zwischen BHD und maximalem Grünstammdurchmesser.

Kapitel 9: Entwicklung der Aushiebe

Kapitel 9.1: Radialzuwachs

Tab. A.9.1-1: Statistische Kennwerte des Radialzuwachses der Aushiebe.

| Periode | N | MW | STD | NVP | P > W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|---------|-----|------|------|-------|--------|-------------|------|-------------|------|-------------|
| 1902-06 | 10 | 0.77 | 0.28 | 0.926 | 0.398 | 0.40 | 0.50 | 0.71 | 1.00 | 1.17 |
| 1907-11 | 16 | 0.96 | 0.51 | 0.932 | 0.259 | 0.16 | 0.65 | 0.90 | 1.49 | 1.70 |
| 1912-16 | 19 | 1.01 | 0.57 | 0.955 | 0.476 | 0.12 | 0.52 | 1.10 | 1.40 | 2.25 |
| 1917-21 | 33 | 1.19 | 0.53 | 0.942 | 0.097 | 0.20 | 0.82 | 1.20 | 1.60 | 2.00 |
| 1922-26 | 49 | 1.38 | 0.63 | 0.968 | 0.338 | 0.40 | 0.96 | 1.33 | 1.78 | 2.50 |
| 1927-31 | 63 | 1.36 | 0.51 | 0.983 | 0.781 | 0.48 | 1.00 | 1.40 | 1.66 | 2.25 |
| 1932-36 | 77 | 1.29 | 0.48 | 0.991 | 0.976 | 0.60 | 1.00 | 1.26 | 1.56 | 2.06 |
| 1937-41 | 92 | 1.17 | 0.49 | 0.968 | 0.120 | 0.40 | 0.84 | 1.20 | 1.40 | 2.18 |
| 1942-46 | 105 | 1.11 | 0.55 | 0.948 | 0.001 | 0.36 | 0.70 | 1.04 | 1.40 | 2.10 |
| 1947-51 | 118 | 1.18 | 0.55 | 0.953 | 0.002 | 0.40 | 0.80 | 1.12 | 1.48 | 2.22 |
| 1952-56 | 127 | 1.19 | 0.55 | 0.941 | 0.0001 | 0.50 | 0.80 | 1.10 | 1.46 | 2.30 |
| 1957-61 | 139 | 1.15 | 0.58 | 0.939 | 0.0001 | 0.34 | 0.74 | 1.04 | 1.50 | 2.20 |
| 1962-66 | 144 | 1.08 | 0.52 | 0.949 | 0.0001 | 0.34 | 0.66 | 1.00 | 1.46 | 2.00 |
| 1967-71 | 146 | 1.14 | 0.61 | 0.947 | 0.0001 | 0.28 | 0.70 | 1.06 | 1.60 | 2.12 |
| 1972-76 | 146 | 0.93 | 0.54 | 0.903 | 0.0001 | 0.24 | 0.60 | 0.84 | 1.20 | 1.86 |
| 1977-81 | 148 | 1.03 | 0.67 | 0.920 | 0.0001 | 0.20 | 0.44 | 0.90 | 1.46 | 2.20 |
| 1982-86 | 149 | 1.16 | 0.77 | 0.919 | 0.0001 | 0.22 | 0.48 | 1.00 | 1.72 | 2.60 |
| 1987-91 | 149 | 1.11 | 0.77 | 0.916 | 0.0001 | 0.18 | 0.47 | 1.00 | 1.55 | 2.62 |
| n | | | | | | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| MIN | | | | | | 0.12 | 0.44 | 0.71 | 1.00 | 1.17 |
| Q1 | | | | | | 0.20 | 0.52 | 1.00 | 1.40 | 2.00 |
| MED | | | | | | 0.34 | 0.70 | 1.05 | 1.49 | 2.19 |
| Q3 | | | | | | 0.40 | 0.82 | 1.20 | 1.60 | 2.25 |
| MAX | | | | | | 0.60 | 1.00 | 1.40 | 1.78 | 2.62 |

Legende:

n= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Wahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

P95= 95%-Wert

Q3= 3.Quartil (75%)

Tab. A.9.1-2: Prüfung des Einflusses auf den Radialzuwachs der Aushiebe.

| Faktor | | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-------------------------|------|----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | | 1 | 1.83 | 0.1764 | |
| Baumart | BA | 1 | 0.03 | 0.8571 | |
| Standort | STAO | 5 | 6.52 | 0.2592 | |
| Grundfläche | GFK | 3 | 8.76 | 0.0326 | * |
| Überschirmung | SKLA | 2 | 4.11 | 0.1283 | |
| Konkurrenz | KKLA | 3 | 3.32 | 0.3452 | |
| Aushiebsgrund | GKLA | 2 | 3.59 | 0.1660 | |
| BHD-Stufe | DSTU | 2 | 0.17 | 0.9189 | |
| rel. Kronenlänge | RKLA | 4 | 12.81 | 0.0122 | * |
| Altersklasse | AKLA | 3 | 4.51 | 0.2115 | |
| LIKELIHOOD RATIO | | 94 | 53.44 | 0.9998 | |

FG = Freiheitsgrad

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)

Chi² = Chi² - WertProb> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab A.9.1-3: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den Radialzuwachs.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | 1.23 | 0.91 | 1.83 | 0.1764 | |
| BA | Fichte | 0.13 | 0.70 | 0.03 | 0.8571 | |
| | Tanne | -0.13 | 0.70 | 0.03 | 0.8571 | |
| STAO | Nord ausgez. | 3.67 | 2.24 | 2.68 | 0.1019 | |
| | Nord gut | -2.88 | 1.22 | 5.61 | 0.0178 | * |
| | Nord mittel | -0.89 | 1.04 | 0.73 | 0.3916 | |
| | Nord schlecht | 0.41 | 1.80 | 0.05 | 0.8182 | |
| | Süd gut | 1.64 | 3.03 | 0.29 | 0.5896 | |
| | Süd schlecht | -1.95 | 1.80 | 1.17 | 0.2790 | |
| GFK | < 20 m ² | -2.12 | 1.08 | 3.89 | 0.0487 | * |
| | 20 - 30 m ² | 1.27 | 0.86 | 2.17 | 0.1406 | |
| | 30 - 40 m ² | -1.59 | 0.77 | 4.31 | 0.0379 | * |
| | > 40 m ² | 2.45 | 0.98 | 6.24 | 0.0125 | * |
| SKLA | nicht übersch. | -1.58 | 0.80 | 3.93 | 0.0475 | * |
| | Traubereich | 0.40 | 0.76 | 0.28 | 0.5967 | |
| | überschirmt | 1.18 | 0.81 | 2.11 | 0.1464 | |
| KKLA | einzel | -1.82 | 1.04 | 3.10 | 0.0782 | (*) |
| | klein | 0.87 | 0.80 | 1.19 | 0.2756 | |
| | mittel | 0.53 | 0.77 | 0.47 | 0.4912 | |
| | gross | 0.42 | 0.97 | 0.19 | 0.6619 | |
| GKLA | andere | -1.39 | 0.88 | 2.53 | 0.1118 | |
| | Konk. | -0.94 | 0.87 | 1.18 | 0.2772 | |
| | negativ | 2.34 | 1.25 | 3.47 | 0.0626 | (*) |
| DSTU | 10 | 0.20 | 0.82 | 0.06 | 0.8038 | |
| | 15 | 0.18 | 0.64 | 0.07 | 0.7856 | |
| | 20 | -0.38 | 0.94 | 0.16 | 0.6860 | |
| RKLA | < 40 % | 3.84 | 1.33 | 8.40 | 0.0037 | ** |
| | 40-50 % | 1.61 | 0.83 | 3.76 | 0.0526 | (*) |
| | 50-60 % | 1.40 | 1.05 | 1.77 | 0.1828 | |
| | 60-70 % | -1.49 | 0.87 | 2.93 | 0.0871 | (*) |
| | > 70 % | -5.36 | 1.80 | 8.83 | 0.0030 | ** |
| AKLA | < 60 | -1.28 | 1.68 | 0.58 | 0.4448 | |
| | 60 - 80 | -1.33 | 0.78 | 2.91 | 0.0881 | (*) |
| | 80 -100 | 1.34 | 0.94 | 2.07 | 0.1504 | |
| | > 100 | 1.26 | 1.10 | 1.31 | 0.2515 | |

Tab. A.9.1-3: Wachstumszeiten bis zum Erreichen bestimmter Durchmesserwerte.

| BHD | N | MW | STD | NVP | P>W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|-------------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|----|-----|----|-----|
| 4 | 121 | 15.55 | 7.41 | 0.739 | 0.000 | 9 | 11 | 13 | 16 | 29 |
| 8 | 110 | 31.67 | 11.81 | 0.852 | 0.000 | 18 | 24 | 28 | 37 | 51 |
| 12 | 92 | 48.25 | 14.60 | 0.943 | 0.001 | 30 | 37 | 46 | 59 | 81 |
| 16 | 47 | 58.74 | 16.56 | 0.944 | 0.038 | 36 | 46 | 58 | 68 | 90 |
| 5 | 120 | 19.93 | 9.00 | 0.792 | 0.000 | 11 | 14 | 18 | 22 | 38 |
| 10 | 105 | 40.26 | 14.18 | 0.881 | 0.000 | 25 | 30 | 38 | 46 | 70 |
| 15 | 60 | 56.98 | 16.00 | 0.945 | 0.017 | 35 | 45 | 55 | 67 | 92 |
| 7.5 | 115 | 29.49 | 11.03 | 0.847 | 0.000 | 18 | 23 | 26 | 35 | 48 |
| 17.5 | 38 | 63.00 | 18.69 | 0.939 | 0.054 | 35 | 51 | 61 | 72 | 110 |

Legende:

N= Anzahl

MW= Mittelwert

STD=Standardabweichung

NVP=Normalverteilungsprüfung

P<W: Wahrscheinlichkeit für NV.

P05= 5%-Wert

Q1= 1.Quartil (25%)

MED= Median (50%)

P95= 95%-Wert

Q3= 3.Quartil (75%)

Tab. A.9.1-4: Verteilung der Aushiebe auf Typen mit unterschiedlichem Zuwachsverlauf.

| Typ | 111 | 112 | 113 | 121 | 122 | 123 | 131 | 132 | 133 | Total |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| Anzahl (n) | 1 | 4 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 4 | 1 | 23 |
| Anteil (%) | 1.6 | 6.3 | 3.1 | 6.3 | 3.1 | 6.3 | 1.6 | 6.3 | 1.6 | 35.9 |
| Typ | 211 | 212 | 213 | 221 | 222 | 223 | 231 | 232 | 233 | Total |
| Anzahl (n) | 2 | 3 | 2 | 4 | 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 20 |
| Anteil (%) | 3.1 | 4.7 | 3.1 | 6.3 | 1.6 | 3.1 | 4.7 | 3.1 | 1.6 | 31.3 |
| Typ | 311 | 312 | 313 | 321 | 322 | 323 | 331 | 332 | 333 | Total |
| Anzahl (n) | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 | 3 | 4 | 0 | 21 |
| Anteil (%) | 4.7 | 3.1 | 4.7 | 3.1 | 1.6 | 4.7 | 4.7 | 6.3 | 0.0 | 32.8 |
| Gesamt (n) | 6 | 9 | 7 | 10 | 4 | 9 | 7 | 10 | 2 | 64 |
| Anteil (%) | 9.4 | 14.1 | 10.9 | 15.6 | 6.3 | 14.1 | 10.9 | 15.6 | 3.1 | 100.0 |

Kapitel 9.2: Höhenzuwachs

Tab. A.9.2-1: Statistische Kennwerte des Höhenzuwachses pro Jahr (n = 156).

| HZVAR | MW | STD | NVP | P < W | P05 | Q1 | MED | Q3 | P95 |
|-------|-------|-------|-------|--------|-----|------|------|------|------|
| ZUW61 | 18.71 | 10.67 | 0.929 | 0.0001 | 5.0 | 10.0 | 16.0 | 26.0 | 39.0 |
| ZUW62 | 20.20 | 11.29 | 0.933 | 0.0001 | 5.0 | 10.5 | 18.5 | 28.0 | 42.0 |
| ZUW63 | 19.24 | 10.98 | 0.915 | 0.0001 | 5.0 | 11.0 | 17.0 | 23.5 | 43.0 |
| ZUW64 | 20.99 | 11.51 | 0.943 | 0.0001 | 4.0 | 11.0 | 21.0 | 29.0 | 44.0 |
| ZUW65 | 22.01 | 12.84 | 0.945 | 0.0001 | 5.0 | 11.5 | 20.0 | 30.0 | 48.0 |
| ZUW66 | 21.62 | 12.23 | 0.946 | 0.0001 | 5.0 | 12.0 | 19.5 | 29.0 | 45.0 |
| ZUW67 | 23.89 | 13.24 | 0.953 | 0.0002 | 5.0 | 13.0 | 23.0 | 32.0 | 49.0 |
| ZUW68 | 23.42 | 12.91 | 0.953 | 0.0002 | 5.0 | 12.0 | 22.5 | 32.0 | 47.0 |
| ZUW69 | 24.40 | 12.72 | 0.958 | 0.0009 | 5.0 | 14.0 | 24.0 | 33.0 | 47.0 |
| ZUW70 | 24.78 | 13.65 | 0.949 | 0.0001 | 5.0 | 13.0 | 23.0 | 34.0 | 50.0 |
| ZUW71 | 23.53 | 12.77 | 0.952 | 0.0001 | 5.0 | 13.0 | 24.0 | 32.5 | 45.0 |
| ZUW72 | 23.12 | 13.06 | 0.948 | 0.0001 | 4.0 | 12.0 | 22.5 | 32.0 | 45.0 |
| ZUW73 | 20.71 | 12.58 | 0.933 | 0.0001 | 4.0 | 10.0 | 18.5 | 29.5 | 47.0 |
| ZUW74 | 19.57 | 12.07 | 0.929 | 0.0001 | 4.0 | 10.0 | 17.0 | 28.0 | 42.0 |
| ZUW75 | 17.60 | 12.36 | 0.908 | 0.0001 | 3.0 | 8.0 | 15.5 | 25.0 | 43.0 |
| ZUW76 | 16.85 | 12.44 | 0.898 | 0.0001 | 3.0 | 7.0 | 13.0 | 24.5 | 41.0 |
| ZUW77 | 17.52 | 12.43 | 0.905 | 0.0001 | 3.0 | 7.0 | 14.5 | 25.0 | 42.0 |
| ZUW78 | 20.81 | 12.73 | 0.948 | 0.0001 | 3.0 | 9.5 | 20.0 | 28.0 | 45.0 |
| ZUW79 | 21.96 | 13.47 | 0.946 | 0.0001 | 3.0 | 12.0 | 21.0 | 29.0 | 47.0 |
| ZUW80 | 21.42 | 13.70 | 0.928 | 0.0001 | 3.0 | 10.0 | 20.0 | 29.5 | 49.0 |
| ZUW81 | 20.36 | 12.62 | 0.945 | 0.0001 | 3.0 | 10.0 | 18.5 | 29.0 | 43.0 |
| ZUW82 | 22.90 | 14.90 | 0.930 | 0.0001 | 3.0 | 10.0 | 22.0 | 33.0 | 50.0 |
| ZUW83 | 24.08 | 15.77 | 0.926 | 0.0001 | 3.0 | 11.0 | 23.0 | 35.5 | 52.0 |
| ZUW84 | 23.58 | 16.66 | 0.906 | 0.0001 | 2.0 | 9.0 | 21.5 | 36.0 | 54.0 |
| ZUW85 | 24.31 | 15.52 | 0.931 | 0.0001 | 3.0 | 11.0 | 23.0 | 36.0 | 52.0 |
| ZUW86 | 26.68 | 16.14 | 0.944 | 0.0001 | 3.0 | 14.0 | 26.0 | 40.0 | 53.0 |
| ZUW87 | 21.69 | 15.49 | 0.905 | 0.0001 | 2.0 | 10.0 | 17.0 | 34.0 | 50.0 |
| ZUW88 | 26.19 | 17.17 | 0.928 | 0.0001 | 2.0 | 13.0 | 23.0 | 40.0 | 57.0 |
| ZUW89 | 26.49 | 16.97 | 0.938 | 0.0001 | 2.0 | 12.5 | 25.0 | 41.0 | 55.0 |
| ZUW90 | 26.51 | 17.86 | 0.924 | 0.0001 | 2.0 | 11.5 | 24.5 | 42.5 | 56.0 |

Legende:

HZVAR = Höhenzuwachs-Variable

N= Anzahl MW= Mittelwert

NVP=Normalverteilungsprüfung

P05= 5%-Wert Q1= 1.Quartil (25%)

P95= 95%-Wert Q3= 3.Quartil (75%)

ZUW61= Höhenzuwachs 1961 etc.

STD=Standardabweichung

P<W: Wahrscheinlichkeit für NV.

MED= Median (50%)

Tab. A.9.2-2: Prüfung des Einflusses auf den Höhenzuwachs der Aushiebe.

| Faktor | FG | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|-----------------------|-----|------------------|----------------------|-------------|
| Konstante | 1 | 3.76 | 0.0526 | |
| Baumart BA | 1 | 6.50 | 0.0108 | * |
| Standort STAO | 5 | 4.79 | 0.4427 | |
| Grundfläche GFK | 3 | 1.73 | 0.6314 | |
| Überschirmung SKLA | 2 | 14.55 | 0.0007 | *** |
| Konkurrenz KKLA | 3 | 3.23 | 0.3575 | |
| Aushiebsgrund GKLA | 2 | 4.50 | 0.1056 | (*) |
| BHD-Stufe DSTU | 3 | 11.71 | 0.0084 | ** |
| Altersklasse AKLA | 3 | 9.27 | 0.0259 | * |
| rel. Kronenlänge RKLA | 4 | 14.89 | 0.0049 | ** |
| LIKELIHOOD RATIO | 135 | 94.33 | 0.9969 | |

FG = Freiheitsgrad
Chi² = Chi² - Wert

Std.Err = Standardfehler (Standardabweichung der Schätzung)
Prob> Chi² = Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Tab. A.9.2-3: Schätzung der Variablen mit Einfluss auf den Höhenzuwachs.

| Faktor | Parameter | Schätzung | Std.Err | Chi ² | P > Chi ² | Signifikanz |
|---------------|------------------------|-----------|---------|------------------|----------------------|-------------|
| Konst. | | 1.04 | 0.54 | 3.76 | 0.0526 | |
| BA | Fichte | 1.16 | 0.45 | 6.50 | 0.0108 | * |
| | Tanne | -1.16 | 0.45 | 6.50 | 0.0108 | * |
| STAO | Nord ausgez. | -0.97 | 0.95 | 1.04 | 0.3086 | |
| | Nord gut | -1.02 | 0.63 | 2.62 | 0.1056 | |
| | Nord mittel | 0.37 | 0.63 | 0.34 | 0.5572 | |
| | Nord schlecht | 1.62 | 1.06 | 2.33 | 0.1270 | |
| | Süd gut | -1.00 | 1.08 | 0.86 | 0.3535 | |
| | Süd schlecht | 0.99 | 0.95 | 1.10 | 0.2945 | |
| GFK | < 20 m ² | -0.40 | 0.56 | 0.51 | 0.4740 | |
| | 20 - 30 m ² | 0.34 | 0.56 | 0.36 | 0.5469 | |
| | 30 - 40 m ² | -0.39 | 0.56 | 0.50 | 0.4817 | |
| | > 40 m ² | 0.45 | 0.62 | 0.55 | 0.4570 | |
| SKLA | nicht übersch. | -1.90 | 0.53 | 12.57 | 0.0004 | *** |
| | Traubereich | 0.32 | 0.44 | 0.53 | 0.4686 | |
| | überschirmt | 1.58 | 0.47 | 11.09 | 0.0009 | *** |
| KKLA | einzel | 0.17 | 0.92 | 0.04 | 0.8509 | |
| | klein | 0.08 | 0.50 | 0.03 | 0.8692 | |
| | mittel | -1.01 | 0.60 | 2.84 | 0.0921 | (*) |
| | gross | 0.76 | 0.74 | 1.06 | 0.3028 | |
| GKLA | andere | 0.67 | 0.54 | 1.57 | 0.2106 | |
| | Konk. | -0.94 | 0.45 | 4.31 | 0.0380 | * |
| | negativ | 0.27 | 0.54 | 0.24 | 0.6246 | |
| DSTU | 5 | 3.81 | 1.13 | 11.34 | 0.0008 | *** |
| | 10 | -0.79 | 0.63 | 1.57 | 0.2096 | |
| | 15 | -1.35 | 0.58 | 5.34 | 0.0209 | * |
| | 20 | -1.68 | 0.82 | 4.14 | 0.0418 | * |
| AKLA | < 60 | -4.24 | 1.42 | 8.91 | 0.0028 | ** |
| | 60 - 80 | 0.72 | 0.60 | 1.45 | 0.2279 | |
| | 80 - 100 | 1.69 | 0.72 | 5.46 | 0.0194 | * |
| | > 100 | 1.83 | 0.76 | 5.78 | 0.0162 | * |
| RKLA | < 40 % | 2.22 | 0.70 | 9.91 | 0.0016 | ** |
| | 40-50 % | 0.89 | 0.61 | 2.15 | 0.1423 | |
| | 50-60 % | -0.16 | 0.59 | 0.08 | 0.7836 | |
| | 60-70 % | -0.60 | 0.62 | 0.94 | 0.3330 | |
| | > 70 % | -2.34 | 0.71 | 10.76 | 0.0010 | *** |

Kapitel 10: Zusammenfassung der Ergebnisse und Vergleich mit der Literatur

Tab. A10.1-1: Median, 5% und 95%-Wert der Stammzahl und des Vorrates für die nord- und südexponierten Abteilungen von Boveresse, Couvet und Môtiers nach Ergebnissen der Kontrollmethode Kt. Neuenburg.

| Exposition | Anzahl Abt. | Stz/ha | Vol./ha |
|------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Nord | 38 | 263 (215 - 344) | 350 (248 - 413) |
| Süd | 28 | 304 (231 - 386) | 352 (270 - 395) |

Tab. A10.1-2: Plentertypen mit echtem Plentergefüge in Allgäuer Plenterwäldern (nach Köstler, 1956)

| Plentertyp | Stammzahl STZ > 14 cm BHD | | | | | Grundfläche GFL | | | | VOL |
|--------------|---------------------------|---------|--------|--------|------|-----------------|-------|-------|------|---------|
| | Stz./ha | 14-30 | 30-50 | 50-70 | > 70 | GFL | 14-30 | 30-50 | > 50 | |
| vorratsreich | 330-450 | 90-180 | 60-170 | 80-100 | 4-38 | 50-57 | 7 % | 29 % | 64 % | 650-780 |
| vorratsgut | 310-490 | 120-280 | 90-190 | 25-70 | 0-6 | 33-48 | 12 % | 47 % | 41 % | 400-590 |
| vorratsarm | 270-430 | 160-300 | 90-130 | 6-22 | - | 20-30 | 28 % | 59 % | 13 % | 250-320 |

Tab. A10.1-3: Plentertypen im französischen Hochjura (nach Herbert & Rebeiro, 1985)

| Plentertyp | Stammzahl STZ | | | | Grundfläche GFL | | | | VOL |
|--------------|---------------|---------|---------|-------|-----------------|------|------|------|---------|
| | Stz./ha | PB | MB | GB | GFL | PB | MB | GB | |
| normal | 220-270 | 100-130 | 100-120 | 15-25 | 16-20 | 26 % | 56 % | 18 % | 150-200 |
| starkh.reich | 170-230 | 55-100 | 60- 80 | 40-70 | 18-27 | 14 % | 31 % | 55 % | 190-330 |
| starkh.arm | 195-225 | 100-125 | 75- 95 | 5-15 | 12-16 | 31 % | 54 % | 15 % | 100-150 |

Legende:

PB = Petit Bois (17.5-27.5 cm BHD) MB = Bois Moyens (27.5-42.5 cm BHD)

GB = Gros Bois (\geq 42.5 cm BHD)

Tab. A.10.1-4: Nachwuchsstammzahlen aus Untersuchungen von Plenterwäldern.

| Autor | Stufe | Tanne | Fichte | Buche | and. Lbh | Ndh | Lbh |
|--------------------|----------------------------|------------------|-----------------|-------|-------------|------------------|-----------------|
| Leibundgut 1945 | 2.5 - 7.4 m H | 484 (297-706) | 63 (38-117) | | | 548 (339-762) | 122 (16-182) |
| | 7.5 - 12.4 m H | 333 (156-574) | 19 (3-30) | | | 352 (186-587) | 132 (39-192) |
| | 12.5 - 17.4 m H | 198 (78-413) | 16 (3-40) | | | 214 (85-416) | 23 (3-58) |
| Köstler 1956 | 0 - 6 cm BHD vorratsgut | 233 (85-396) | 96 (6-190) | | | 330 (91-535) | 88 (1-305) |
| | 6-14 cm BHD vorratsgut | 233 (85-396) | 96 (6-190) | | | 330 (91-535) | 88 (1-305) |
| Mitscherlich 1961 | 0.5 - 5 m H | 271 | 2232 | 55 | - | 2503 | 55 |
| | 6 - 10 m H | 138 | 74 | 5 | - | 212 | 5 |
| | 11 -15 m H | 94 | 19 | - | - | 113 | - |
| Kammerlander | 50 - 130 cm H | 745 | 700 | 118 | 10 | 1445 | 128 |
| Duc 1991 | 50 - 130 cm H | 96 (0 -236) | 725 171-1392 | | | 820 346-1526 | 72 (0-156) |
| | 0.1 - 7.4 cm D | 316 (31-529) | 437 (77-741) | | | 753 505-1107 | 175 (30-475) |
| Schneider 1994 | 40 - 130 cm H | 16 | 42 | 202 | 105 | 58 | 307 |
| | 0.1 - 2.4 cm D | 112 | 63 | 649 | 167 | 175 | 816 |
| | 2.5 - 7.4 cm D | 181 | 49 | 202 | 35 | 230 | 237 |
| Schneider 1994 | 0.1 - 7.4 cm D | 293 | 112 | 851 | 202 | 404 | 1052 |
| Schneider 1994 | 7.5-12.4 cm D | 74 | 9 | 74 | 12 | 83 | 86 |
| | 12.5-17.4 cm D | 58 | 12 | 33 | 2 | 70 | 35 |

Legende:

H = Höhe D = Durchmesser

Kommentar:

Leibundgut (1945): Auswertung der Flächen Hasliwald, Couvet, Rauchgrat, Toppwald und Biglenwald. Dürsrüti, Unterhubel und Schwarzenberg weisen abweichende Strukturen auf.

Köstler (1956): Mittelwert aus den 12 Flächen in vorratsguten Beständen.

Mitscherlich (1961): Werte der ungegatterten Fläche in Wolfach.

Duc (1991): Mittelwert der Flächen Toppwald (15-1), Badwald (27), Scharweg (28), Biglenwald (31), Unterhubel (46) und Rauchgrat (47). Hasliwald (19) und Toppwald (15-2) blieben als Extremwerte unberücksichtigt.

Schneider (1994): Werte aus 43 systematischen Stichproben im Plenterwald zwischen 750 und 1050 m ü.M., mit Hangneigung unter 65 %. Die Rohdaten wurden freundlicherweise von O.

Schneider zur Verfügung gestellt und vom Autor ausgewertet.

Tab. A.10.4-1: Vergleich der Baumhöhen, Kronenansatzhöhen, Kronenlängen und Kronenschirmflächen mehrerer Autoren.

| Autor | Faktor | Tanne | | | Fichte | | |
|-------------------|----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | | 2 cm | 10 cm | 20 cm | 2 cm | 10 cm | 20 cm |
| Burger (1942) | Baumhöhe | 2.0 | 8.3 | 17.0 | 2.0 | 7.4 | 18.3 |
| Toppwald | Kronenansatzhöhe | 0.6 | 3.3 | 8.1 | 0.5 | 2.7 | 7.7 |
| | relative Kronenlänge | 70% | 60% | 53% | 75% | 63% | 58% |
| | Kronenschirmfläche | 2.2 | 11.7 | 24 | 2.0 | 9.0 | 18 |
| Leibundgut (1945) | Baumhöhe | | 10.4 | 18.4 | | 7.7 | 18.8 |
| Couvet | Kronenansatzhöhe | | 5.0 | 7.5 | | 4.0 | 8.5 |
| (Mittelstand) | relative Kronenlänge | | 48% | 58% | | 53% | 54% |
| | Kronenschirmfläche | | | | | | |
| Badoux (1949) | Baumhöhe | | 8.2 | 17.6 | | 9.1 | 19.5 |
| Bois du Pays | Kronenansatzhöhe | | 4.0 | 6.5 | | 5.0 | 8.5 |
| (Six Communes) | relative Kronenlänge | | 49% | 63% | | 44% | 56% |
| | Kronenschirmfläche | | 10 | 15 | | 6 | 11 |
| Kern (1966) | Baumhöhe | | 7 | 15 | | 7 | 16 |
| Todtmoos | Kronenansatzhöhe | | 3 | 6 | | 2 | 5 |
| Starkholz- | relative Kronenlänge | | 55% | 56% | | 67% | 66% |
| Plenterung | Kronenschirmfläche | | 8.5 | 15.5 | | 7.5 | 14.5 |
| Duc | Baumhöhe | | 9.0 | 18.7 | | 8.8 | 17.4 |
| Val-de-Travers | Kronenansatzhöhe | | 3.4 | 7.7 | | 3.2 | 6.8 |
| | relative Kronenlänge | | 62% | 59% | | 64% | 61% |
| | Kronenschirmfläche | | 7-13 | 17-25 | | 5-10 | 11-17 |

Tab. A.10.4-2: Vergleich von astfreier Schaftlänge und Länge des Dürrastbereichs

| Autor | Faktor | Tanne | | Fichte | |
|----------------|------------------------|-------|-------|--------|-------|
| | | 10 cm | 20 cm | 10 cm | 20 cm |
| Flury (1933) | astfreie Schaftlänge | (3.6) | (6.2) | (3.2) | (5.3) |
| Toppwald | Anteil astfreie SL(%) | 38% | 33% | 31% | 26% |
| | Länge Dürrastbereich | (1.3) | (4.3) | (1.8) | (4.9) |
| Burger (1942) | astfreie Schaftlänge | 1.4 | 3.1 | 1.3 | 3.6 |
| Toppwald | Anteil astfreie SL (%) | 17% | 18% | 18% | 20% |
| | Länge Dürrastbereich | 1.9 | 5.0 | 1.4 | 3.1 |
| Duc | astfreie Schaftlänge | 1.4 | 3.3 | 0.8 | 1.4 |
| Val-de-Travers | Anteil astfreie SL(%) | 16% | 18% | 9% | 8% |
| | Länge Dürrastbereich | 2.0 | 4.4 | 2.4 | 5.4 |

Die Angaben von Flury beziehen sich auf die Stärkeklassen 8 bis 16 und 16 bis 24 cm BHD.

Tab. A.10.4-3: Altersangaben aus Untersuchungen von Plenterwäldern.

| Autor | Kategorie | Min./Max. | | Mittel | |
|---------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------|----------|--------|
| | | Tanne | Fichte | Tanne | Fichte |
| Balsiger (1925) | Gesamt-Alter | 46 - 189 | | | |
| Emmental | Engkern-Alter | 0 - 174 | | | |
| Unterbestand TA | Wachstums-Alter | 28 - 130 | | 63 | |
| Flury (1929) | WA (38-50 cm BHD) | 162 | 168 | | |
| Toppwald | WA (52-70 cm BHD) | 190 | 200 | | |
| Mitscherlich (1952) | GA (0-20 m Höhe) | 10 - 110 | 20 - 100 | | |
| Todtmoos | Engkern-Alter | 85 | 55 | 33 | 15 |
| Sommer (1962) | GA bei 4 m Höhe | 23 - 73 | 14 - 60 | 44 | 33 |
| Bayerischer Wald | GA bei 12 m Höhe | 51 - 135 | 34 - 145 | 90 | 73 |
| Kern (1966) | GA (7 - 9 cm BHD) | 140 | 117 | 89 | 69 |
| Wolfach/Freudenst. | GA (10-19 cm BHD) | 163 | 159 | 108 | 96 |
| Schütz (1969) | EK-Alter Les Joux | 160 | 70 | | |
| Jura / Emmental | EK-Alter Steffisburg | 270 | 190 | | |
| Indermühle (1978) | GA (4 -15 cm BHD) | 87 - 182 | | 136 ± 12 | |
| Vals/GR (Subalpin) | GA (16-23 cm BHD) | 111 - 221 | | 152 ± 15 | |
| Fichten-Plenterw. | EK (4-15 cm BHD) | | | 20 ± 17 | |
| | EK (16-23 cm BHD) | | | 30 ± 19 | |
| Duc (1998) | GA (2.5-12.4 cm BHD) (Maximum) | 53 - 110 (135) | 34 - 100 (149) | 75 | 68 |
| Dissertation | GA (12.5-22.4 cm BHD) (Maximum) | 57 - 135 (185) | 55 - 100 (145) | 94 | 72 |
| Val de Travers | EK (5-25 cm BHD) | 16 - 101 | 12 - 79 | 44 | 30 |

Legende:

GA= Gesamtalter (inklusive Engkern)

EA= Engkern-Alter = Unterdrückungszeitraum

WA = Wachstumsalter = GA - EA

Tab. A.10.5-1: BHD- Zuwachs (mm/J.) im Nachwuchs von Plenterwäldern.

| Autor | Stärkestufe | Tanne | Fichte | Einflussgrößen |
|---------------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|--|
| Balsiger (1925) Emmental | Unterbestand (12-21 cm BHD) | 0.1 - 2.8 | | Überschirmung |
| Flury (1933) Bois du Pays | 8 bis 14 cm BHD 16 bis 24 cm BHD | 1.0 - 1.4 1.7 - 2.5 | 0.6 - 1.2 1.4 - 2.2 | Bestandesschluss, Witterung |
| François (1938) Savoyen | 15 cm BHD 20 cm BHD | 1.5 - 3.7 1.7 - 4.5 | | |
| Burger (1942) Toppwald | 10 cm BHD 20 cm BHD | 1.6 3.0 | 1.7 2.8 | soziale Stellung |
| Badoux (1949) Bois du Pays | 10 cm BHD 20 cm BHD | 1.4 3.2 | 0.8 2.4 | Vorrat, Witterung |
| Prodan (1949) Wolfach | 10 cm BHD 20 cm BHD | 2.4 - 4.8 2.9 - 6.1 | | Standortspotential (Bonität) |
| Mitscherlich (1952) Todtmoos | 10 bis 19 cm BHD 20 bis 29 cm BHD 7 - 25 cm BHD | 3.2 5.1 1.2 - 4.0 | 3.1 3.2 0.7 - 3.6 | Schirm- und Seitendruck (Stammzahl, Vorrat) |
| Hildebrandt (1960) Schapbach | 10 cm BHD 20 cm BHD | 0.8 1.8 | | Schirm- und Seitendruck (Stammzahl, Vorrat) |
| Farron (1980) Les Verrières | Stufe 20, Nordhang Stufe 20, Südhang | 3.4 3.1 | | BHD-Stufe, Exposition |
| Spiecker (1986) Wolfach/Freudenst. | 10 cm BHD 20 cm BHD | 1.0 - 2.0 1.5 - 3.5 | 1.0 - 3.0 1.5 - 5.0 | Stärkeklasse, Witterung, Kronenlänge |

Tab. A.10.5-2: Höhenzuwachs (cm/J.) im Nachwuchs von Plenterwäldern.

| Autor | Stärkestufe / Höhenklasse | Tanne | Fichte | Einflussgrößen (Größen ohne Einfluss) |
|---|---|--------------------------|--------------------------|---|
| Badoux (1949) Bois du Pays | 10 cm BHD 20 cm BHD | 14 26 | 9 20 | Standortsgüte, Konkurrenz, Alter |
| Mitscherlich (1961) Wolfach/Freudenst. | 10 cm BHD 20 cm BHD | 6 10-15 | | Überschirmung |
| Schütz (1969) Jura / Emmental | Unterdrückungsp. max. Wachstumsgeschwindigkeit | 7.5 (3-12) 41.7 | 45.4 | exogene Faktoren, insb. Bestandesdichte (Unterdrückungsperiode) |
| Kupfer (1980) Emmental | 1 bis 3 m Höhe | | 6 - 14 | Baumhöhe (in Abh. von Vorrat), Überschirmung |
| Spiecker (1986) Wolfach/Freudenst. | 7-25 cm BHD Mittel | 6 - 22 10 | 9 - 17 12 | Überschirm., Kronenlänge Durchmesserzuwachs |
| Groualle&Minot (1989) franz. Jura | semis (?) | 10-25 | | Überschirmung (Jungwuchsdichte) |
| Duc (1991) Emmental | 50-89 cm Höhe 90-130 cm Höhe | 3.9 (1-11) 5.3 (1-17) | 4.5 (1-14) 6.1 (1-17) | Baumhöhe |

Kapitel 11: Diskussion der verwendeten Methoden
und der wichtigsten waldbaulichen Fragestellungen

Tab. A.11.7-1: Laubholzanteil an Stammzahl und Grundfläche in Abt. I/14 von Couvet.

| BHD-Stufe | Stammzahl (absolut) | | Stz.-Anteil | Grundfläche pro ha | | GFL-Anteil |
|-----------|---------------------|-----------|-------------|--------------------|-----------|------------|
| | Nadelbäume | Laubbäume | Laubbäume | Nadelbäume | Laubbäume | Laubbäume |
| 20 | 111 | 34 | 23.4% | 1.0 | 0.3 | 23.4% |
| 25 | 65 | 32 | 33.0% | 0.9 | 0.5 | 33.0% |
| 30 | 44 | 26 | 37.1% | 0.9 | 0.5 | 37.1% |
| 35 | 60 | 16 | 21.1% | 1.7 | 0.5 | 21.1% |
| 40 | 49 | 8 | 14.0% | 1.8 | 0.3 | 14.0% |
| 45 | 45 | 1 | 2.2% | 2.1 | 0.0 | 2.2% |
| 50 | 30 | 2 | 6.3% | 1.7 | 0.1 | 6.3% |
| 55 | 39 | 0 | 0.0% | 2.7 | 0.0 | 0.0% |
| 60 | 25 | 0 | 0.0% | 2.1 | 0.0 | 0.0% |
| 65 | 33 | 0 | 0.0% | 3.2 | 0.0 | 0.0% |
| 70 | 26 | 0 | 0.0% | 3.0 | 0.0 | 0.0% |
| 75 | 24 | 1 | 4.0% | 3.1 | 0.1 | 4.0% |
| 80 | 10 | 0 | 0.0% | 1.5 | 0.0 | 0.0% |
| 85 | 6 | 0 | 0.0% | 1.0 | 0.0 | 0.0% |
| 90 | 7 | 0 | 0.0% | 1.3 | 0.0 | 0.0% |
| 95 | 4 | 0 | 0.0% | 0.8 | 0.0 | 0.0% |
| 100 | 5 | 0 | 0.0% | 1.2 | 0.0 | 0.0% |
| 105 | 0 | 0 | | 0.0 | 0.0 | |
| 110 | 1 | 0 | 0.0% | 0.3 | 0.0 | 0.0% |
| 115 | 0 | 0 | | 0.0 | 0.0 | |
| 120 | 1 | 0 | 0.0% | 0.3 | 0.0 | 0.0% |
| Total | 585 | 120 | 17.0% | 30.8 | 2.4 | 7.1% |
| PB | 220 | 92 | 29.5% | 2.9 | 1.3 | 31.4% |
| BM | 184 | 27 | 12.8% | 7.4 | 0.9 | 11.0% |
| GB | 181 | 1 | 0.5% | 20.5 | 0.1 | 0.6% |

Legende:

PB: Petit Bois = Schwachholz (17,5-32,4 cm BHD)

BM: Moyen Bois = Mittelstarkes Holz (32,5-52,4 cm BHD)

GB: Gros Bois = Starkholz ($\geq 52,5$ cm BHD)

Tab. A.11.7-2: Laubholzanteil an Kronenschirmfläche und Vorrat in Abt. I/14 von Couvet.

| BHD-Stufe | Kronenschirmfläche pro ha | | KSF-Anteil | Vorrat pro ha | | VOL-Anteil |
|-----------|---------------------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|
| | Nadelbäume | Laubbäume | Laubbäume | Nadelbäume | Laubbäume | Laubbäume |
| 20 | 712 | 390 | 35.4% | 8.8 | 2.7 | 23.4% |
| 25 | 522 | 467 | 47.2% | 8.6 | 4.3 | 33.0% |
| 30 | 411 | 457 | 52.7% | 9.0 | 5.3 | 37.1% |
| 35 | 653 | 328 | 33.4% | 18.1 | 4.8 | 21.1% |
| 40 | 600 | 194 | 24.4% | 20.7 | 3.4 | 14.0% |
| 45 | 608 | 30 | 4.7% | 25.2 | 0.6 | 2.2% |
| 50 | 432 | 60 | 12.2% | 21.4 | 1.4 | 6.3% |
| 55 | 646 | 0 | 0.0% | 34.4 | 0.0 | 0.0% |
| 60 | 456 | 0 | 0.0% | 26.6 | 0.0 | 0.0% |
| 65 | 608 | 0 | 0.0% | 41.5 | 0.0 | 0.0% |
| 70 | 527 | 0 | 0.0% | 38.0 | 0.0 | 0.0% |
| 75 | 507 | 41 | 7.5% | 40.2 | 1.7 | 4.0% |
| 80 | 230 | 0 | 0.0% | 19.0 | 0.0 | 0.0% |
| 85 | 157 | 0 | 0.0% | 12.8 | 0.0 | 0.0% |
| 90 | 207 | 0 | 0.0% | 16.6 | 0.0 | 0.0% |
| 95 | 116 | 0 | 0.0% | 10.5 | 0.0 | 0.0% |
| 100 | 176 | 0 | 0.0% | 14.3 | 0.0 | 0.0% |
| 105 | 0 | 0 | | 0.0 | 0.0 | |
| 110 | 40 | 0 | 0.0% | 3.4 | 0.0 | |
| 115 | 0 | 0 | | 0.0 | 0.0 | |
| 120 | 46 | 0 | 0.0% | 3.9 | 0.0 | |
| Total | 7653 | 1968 | 20.5% | 373.0 | 24.1 | 6.1% |
| PB | 1644 | 1315 | 44.4% | 26.4 | 12.3 | 31.7% |
| BM | 2293 | 612 | 21.1% | 85.4 | 10.2 | 10.7% |
| GB | 3716 | 41 | 1.1% | 261.1 | 1.7 | 0.6% |

Legende:

PB: Petit Bois = Schwachholz (17,5-32,4 cm BHD)

BM: Moyen Bois = Mittelstarkes Holz (32,5-52,4 cm BHD)

GB: Gros Bois = Starkholz ($\geq 52,5$ cm BHD)

Tab. A.11.7-3: Laubholzanteil an Stammzahl und Grundfläche in Abt. II/13 von Couvet.

| BHD-Stufe | Stammzahl (absolut) | | Stz.-Anteil | Grundfläche pro ha | | GFL-Anteil |
|-----------|---------------------|-----------|-------------|--------------------|-----------|------------|
| | Nadelbäume | Laubbäume | Laubbäume | Nadelbäume | Laubbäume | Laubbäume |
| 20 | 153 | 105 | 40.7% | 1.2 | 0.8 | 40.7% |
| 25 | 98 | 88 | 47.3% | 1.2 | 1.1 | 47.3% |
| 30 | 56 | 63 | 52.9% | 1.0 | 1.1 | 52.9% |
| 35 | 55 | 49 | 47.1% | 1.3 | 1.2 | 47.1% |
| 40 | 44 | 40 | 47.6% | 1.4 | 1.3 | 47.6% |
| 45 | 55 | 29 | 34.5% | 2.2 | 1.1 | 34.5% |
| 50 | 34 | 13 | 27.7% | 1.7 | 0.6 | 27.7% |
| 55 | 42 | 9 | 17.6% | 2.5 | 0.5 | 17.6% |
| 60 | 50 | 3 | 5.7% | 3.5 | 0.2 | 5.7% |
| 65 | 25 | 2 | 7.4% | 2.1 | 0.2 | 7.4% |
| 70 | 22 | 1 | 4.3% | 2.1 | 0.1 | 4.3% |
| 75 | 11 | 0 | 0.0% | 1.2 | 0.0 | 0.0% |
| 80 | 3 | 0 | 0.0% | 0.4 | 0.0 | 0.0% |
| 85 | 1 | 0 | 0.0% | 0.1 | 0.0 | 0.0% |
| 90 | 1 | 0 | 0.0% | 0.2 | 0.0 | 0.0% |
| Total | 650 | 402 | 38.2% | 22.0 | 8.2 | 27.2% |
| PB | 307 | 256 | 45.5% | 3.4 | 3.0 | 47.1% |
| BM | 188 | 131 | 41.1% | 6.5 | 4.2 | 39.2% |
| GB | 155 | 15 | 8.8% | 12.1 | 1.0 | 7.7% |

Legende:

PB: Petit Bois = Schwachholz (17,5-32,4 cm BHD)

BM: Moyen Bois = Mittelstarkes Holz (32,5-52,4 cm BHD)

GB: Gros Bois = Starkholz (\geq 52,5 cm BHD)

Tab. A.11.7-4: Laubholzanteil an Kronenschirmfläche und Vorrat in Abt. II/13, Couvet.

| BHD-Stufe | Kronenschirmfläche pro ha | | KSF-Anteil Laubbäume | Vorrat pro ha | | VOL-Anteil Laubbäume |
|-----------|---------------------------|-----------|-------------------------|---------------|-----------|-------------------------|
| | Nadelbäume | Laubbäume | | Nadelbäume | Laubbäume | |
| 20 | 846 | 1016 | 54.6% | 10.3 | 7.1 | 40.7% |
| 25 | 679 | 1089 | 61.6% | 11.0 | 9.9 | 47.3% |
| 30 | 445 | 970 | 68.6% | 9.6 | 10.8 | 52.9% |
| 35 | 493 | 898 | 64.6% | 14.0 | 12.5 | 47.1% |
| 40 | 424 | 866 | 67.1% | 15.7 | 14.3 | 47.6% |
| 45 | 585 | 702 | 54.5% | 26.0 | 13.7 | 34.5% |
| 50 | 370 | 366 | 49.7% | 20.5 | 7.8 | 27.7% |
| 55 | 488 | 282 | 36.6% | 31.3 | 6.7 | 17.6% |
| 60 | 623 | 103 | 14.2% | 44.8 | 2.7 | 5.7% |
| 65 | 323 | 75 | 18.9% | 26.5 | 2.1 | 7.4% |
| 70 | 319 | 41 | 11.4% | 27.1 | 1.2 | 4.3% |
| 75 | 178 | 0 | 0.0% | 15.6 | 0.0 | 0.0% |
| 80 | 50 | 0 | 0.0% | 4.8 | 0.0 | 0.0% |
| 85 | 24 | 0 | 0.0% | 1.8 | 0.0 | 0.0% |
| 90 | 20 | 0 | 0.0% | 2.0 | 0.0 | 0.0% |
| Total | 5866 | 6409 | 52.2% | 261.1 | 88.8 | 25.4% |
| PB | 1970 | 3076 | 61.0% | 30.9 | 27.8 | 47.3% |
| BM | 1872 | 2832 | 60.2% | 76.2 | 48.3 | 38.8% |
| GB | 2024 | 501 | 19.8% | 154.0 | 12.8 | 7.6% |

Legende:

PB: Petit Bois = Schwachholz (17,5-32,4 cm BHD)

BM: Moyen Bois = Mittelstarkes Holz (32,5-52,4 cm BHD)

GB: Gros Bois = Starkholz (\geq 52,5 cm BHD)