

Wachstum großkroniger Buchen und waldbauliche Konsequenzen

Growth of beeches with large crowns and consequences for silviculture

JOACHIM KLÄDTKE, FVA BADEN-WÜRTTEMBERG

Schlagwörter: Buche; Z-Baum; Auslesedurchforstung; Lichtwuchsdurchforstung; Durchmesserentwicklung; Rotkern
Keywords: beech; crop tree; selective thinning; heavy crown thinning; diameter development; red heart formation

KURZFASSUNG

Die Funktionsvielfalt und der hohe Stellenwert der Buche in Waldbaupraxis und -planung erfordern dringend eine Verbesserung der wirtschaftlichen Situation durch eine Optimierung der Sortenstruktur und vor allem durch eine Senkung des Anteils durch Rotkern entwerteten Stammholzes.

Zur Klärung der Frage, inwieweit dies durch eine frühzeitige Auswahl und starke Freistellung von Z-Bäumen erreicht werden kann, wurde ein Verbundprojekt in die Wege geleitet, an dem verschiedene Abteilungen der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg und Institute der Forstlichen Fakultät der Universität Freiburg beteiligt waren. In diesem Projekt wurde das Wachstum vorherrschender und großkroniger Buchen, die sich nach dem Erreichen einer astfreien Schaftlänge von 25% der Endhöhe weitgehend konkurrenzfrei entwickeln konnten, untersucht. Bei den Arbeiten der Abteilung Waldwachstum standen die Aspekte Wachstum und Rotkernigkeit sowie die Frage sinnvoller Z-Baum-Zahlen und Durchforstungsstrategien im Vordergrund.

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Bäume für einen Durchmesser von 60 cm etwa 90, für 80 cm 120-130 Jahre benötigten. Zwar waren diese Buchen nicht frei von Rotkern, anhand des Untersuchungsmaterials ließ sich jedoch eine Durchmesser-/Altersgrenze von etwa 60 cm und 120 Jahren bestimmen, unterhalb derer eine Entwertung durch Rotkern kaum zu befürchten ist.

Ein Vergleich mit der Entwicklung von Z-Bäumen von Lichtwuchsversuchen der Abt. Waldwachstum ergab, dass die dicksten 20 Z-Bäume der Versuchsflächen eine quasi identische Durchmesserentwicklung aufweisen wie die analysierten Buchen. Es zeigte sich weiterhin, dass bei Z-Baum-Kollektiven mit einem Umfang von bis zu 80 Bäumen im Regelfall auch die Schwächeren einen BHD von 60 cm in 120 Jahren erreichen können, wenn sie frühzeitig, d.h. nach Erreichen einer astfreien Stammlänge von 8-10 m, durch eine Lichtwuchsdurchforstung begünstigt worden sind. Die höhere Z-Baum-Zahl ermöglicht zum einen eine bessere Ausnutzung des standörtlichen Leistungspotentials und zum anderen eine Zielstärkennutzung von etwa 30-40 jähriger Dauer. Eine Auswahl von mehr als 100 Z-Bäumen ist nach der vorliegenden Untersuchung nicht sinnvoll, weil die Rotkernwahrscheinlichkeit bei diesen Bäumen infolge des viel längeren Produktionszeitraumes stark zunimmt. Wählt man dagegen von vornherein nur wenige Z-Bäume aus, besteht die Gefahr, dass die flächenbezogene Wertleistung nicht ausgeschöpft wird.

Verspätete Durchforstungen beeinträchtigen die Wertleistung ganz erheblich, weil weniger Z-Bäume innerhalb eines von der Rotkernbildung her gesehenen sicheren Zeitraums in Starkholzsortimente gebracht werden können.

SUMMARY

The high importance of beech for silviculture in Southwest Germany requires an improvement of the economic situation by optimizing the assortment structure and particularly by lowering the portion of logs devalued by red heart formation. For clarifying the question, whether and to what extent this may be achieved by early selecting and strongly releasing target crop trees, a project was initiated, in which different departments of the Forest Research Station of Baden-Wuerttemberg and institutes of the Forest Faculty of the University of Freiburg were involved. In this project, growth was examined of 70 dominant beeches with large and symmetric crowns, freely grown after having reached a branchless stem length of 25% of the final tree height. The work of the department of growth and yield was focused on the aspects growth and red heart formation and the question of advisable crop tree numbers and thinning strategies.

The results show that the examined trees needed at least 90 years for 60 cm DBH, respectively 120-130 years for 80 cm DBH. Furthermore, based on the material investigated, a diameter-/age limit of approximately 60 cm and 120 years could be determined, below which a depreciation due to red heart formation is rarely to be expected.

A comparison with the development of target crop trees from heavily and selectively thinned sample plots, set up in the 1960ies and 1970ies, revealed that the thickest 20 crop trees of the plots exhibit a quasi identical diameter development like the analyzed beeches. Furthermore, It could be shown that of crop tree collectives with up to 80 trees also the weaker ones can reach a BHD of 60 cm in 120 years, if they were immediately and heavily released after reaching a branchless stem length of 8-10 m. Compared to strategies with low numbers of target crop trees, this allows a full utilization of the growth potential per hectare at moderate target D.B.H., and to expand the final harvest of trees having reached the target diameter for approximately 30-40 years. A selection of more than 100 crop trees may not be recommended, because the probability of red heart formation increases strongly due to a much longer production time. However, selecting an insufficient number of crop trees means not to take advantage of the possible value production.

Delayed thinnings impair the value production considerably, since fewer crop trees are able to reach the target diameter within the diameter/age limit being important for avoiding the formation of red heart.

1. EINLEITUNG

Die Buche nimmt derzeit in Baden-Württemberg und in der Bundesrepublik Deutschland mehr als ein Fünftel der Waldfläche ein und ist damit die bedeutendste Laubbaumart. Probleme liegen jedoch nach wie vor in einer unbefriedigenden Sorten- und Wertleistung, verursacht durch eine ungenügende Durchmesserentwicklung und vor allem durch die Entwertung durch Rotkern. Es werden deshalb dringend Behandlungskonzepte benötigt, die zu einer Verbesserung dieser Situation führen. Lösungsansätze werden schon seit längerem in einem raschen Erreichen der Zieldimensionen durch eine rechtzeitige und starke Freistellung von Z-Bäumen gesehen (Altherr 1971). Außerdem wird vermutet, dass der Gefahr der Rotkernbildung durch ein Anhalten des Kronenansatzes bei 25% der erreichbaren Endhöhe in Verbindung mit einer frühen und starken Lichtwuchsdurchforstung wirksam begegnet werden

kann, weil hierdurch das Absterben von Starkästen vermieden wird und weniger Eintrittspforten für Luftsauerstoff in das Stamminnere entstehen (Wilhelm et al. 1999). Zur Klärung der zahlreichen noch offenen Fragen, wie den Zusammenhängen zwischen Wachstum, Kronenausformung und Rotkernigkeit, der Anzahl auszuwählender Z-Bäume und dem Zeitpunkt der ersten Durchforstung, wurden in einem von 1999 bis 2001 durchgeführten Gemeinschaftsprojekt^{1),2)} der Wachstumsverlauf, die Holzqualität und die Wertleistung besonders großkroniger Buchen untersucht. In diesem Beitrag werden waldwachstumskundliche Befunde aus diesem Projekt und waldbauliche Schlussfolgerungen vorgestellt.

2. MATERIAL UND METHODIK

1. ANALYSEBÄUME

Es ist eine Besonderheit des Projektes, dass die Arbeiten aller beteiligten Forschergruppen im Kern auf den selben Datengrundlagen aufbauen.

In Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Lothringen wurden insgesamt 68 Buchen in einem Durchmesserspektrum von 20 bis 110 cm gefällt und dendrometrisch untersucht (Tab. 1). Der breite geographische Raum ergab sich aus der Seltenheit der Bäume, die die strengen Auswahlkriterien erfüllten, und einem länderübergreifenden Interesse an dieser Untersuchung. In Frage kamen nur absolut vorherrschende Bäume mit großen, gleichmäßigen und völlig intakten Kronen. Die astfreie Schaftlänge der Bäume sollte bei etwa 25% der erreichbaren Endhöhe liegen (d.h. bei ca. 7-10 m). Am Stamm sollten sich möglichst keine Hinweise auf ein nachträgliches Absterben stärkerer Ästen (in Form von Astnarben, Chinesenbärten etc.) finden, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass die Bäume in ihrer Vergangenheit *nach dem Erreichen der astfreien Schaftlänge* weitgehend konkurrenzfrei gewachsen waren. Ein Großteil der Bäume stand an Bestandeslücken oder an Wegen, die Bäume aus Lothringen stammen zum Teil aus Mittelwäldern.

An den stehenden Bäumen wurden der Durchmesser in Brusthöhe und die Höhe gemessen, die Kronen abgelotet sowie Baumart, Entfernung und Winkel der nächsten 6 Konkurrenten bestimmt. Außerdem erfolgte eine detaillierte Ansprache des Schaftes nach eventuellen Chinesenbärten, abgestorbenen Ästen und Astnarben. Der Kronenansatz wurde definiert als die Höhe der untersten Starkäste der Primärkrone.

Am gefällten Baum wurde die Formigkeit (in Metersektionen) bestimmt. Stammscheiben wurden aus dem Bereich des Wurzelanlaufs entnommen (zur Altersbestimmung), in 1.3 m Höhe und am oberen Ende des ausgehaltenen Stammholzstückes (zur Durchführung der Jahrringanalysen und der Rotkernbestimmung)³⁾.

2. VERSUCHSFLÄCHEN

Für die Bearbeitung der waldwachstumskundlichen Fragestellungen wurden neben den oben beschriebenen Analysebäumen die Z-Baum-Kollektive von i.g. 16 auf Altherr bzw. Merkel

¹⁾ Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Ministeriums für Ernährung und Ländlichen Raum des Landes Baden-Württemberg gefördert.

²⁾ Beteiligt waren die Abteilungen Waldwachstum bzw. Forstökonomie der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg und die Institute Waldwachstum bzw. Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg.

³⁾ Die Durchführung der Außenarbeiten erfolgte durch Dipl.-Forstwirtin Jana Seidel und Dipl.-Forstwirt Dittmar Schreier. Die Jahrringmessungen erfolgten durch Dipl.-Forstwirtin Frauke Schulz und Herrn Klaus Freyler an der Jahrringmessanlage des Instituts für Waldwachstum, die Rotkernbestimmung am Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswissenschaft.

zurückgehende Buchenversuche der Abteilung Waldwachstum herangezogen (Tab. 2). Während die Altherr'schen Lichtwuchsfelder entsprechend seines Durchforstungskonzepts grundflächenbezogen behandelt wurden (Altherr 1971, Klädtke 1997), richtete sich die Behandlung der Merkel'schen Versuche nach der Baumzahl. Unterschiede zwischen den 16 Feldern bestehen auch im Zeitpunkt der ersten Lichtwuchsdurchforstung, die Vornutzungsprozente während der jeweils etwa 20 Jahre dauernden Durchforstungsphase liegen aber mit Ausnahme der Fläche Bu 238 nahe beieinander. Die Eingriffe wurden auf allen Feldern ausschließlich zugunsten der fest markierten Z-Bäume geführt.

3. ERGEBNISSE

3. ALTER UND KRONENBREITE ZUM ZEITPUNKT DER FÄLLUNG

Der Vergleich der Jahrringmessungen der aus Stock- und Bruthöhe entnommenen Scheiben ergab, dass der Zeitraum bis zum Erreichen der Bruthöhe in 1,3 m über alle Durchmesserstufen hinweg etwa 10 Jahre betrug. Alle folgenden Darstellungen beziehen sich auf das Stockalter.

Die Altersbestimmung zeigte außerdem, dass das tatsächliche Alter der Bäume bei deren Auswahl zum Teil erheblich unterschätzt worden war. Von den 68 untersuchten Bäumen waren 19 Stück bzw. 28% älter als 150 Jahre (vgl. Tab. 1).

Abb. 1 zeigt die aufgrund der Kronenschirmflächen der untersuchten Bäume berechneten Kronenbreiten, dargestellt über dem Bruthöhendurchmesser. Zum Vergleich sind die Ausgleichskurven für die Kronen herkömmlich behandelter Buchen (Börner 1997) und von Solitären (Hasenauer et. al. 1994) mit eingezeichnet. Der logarithmische Ausgleich der Punktwolke spiegelt die Standraumentwicklung der untersuchten Buchen in der Vergangenheit wider: die Buchen im schwächeren Durchmesserbereich haben gerade ihre Qualifizierungsphase abgeschlossen; dementsprechend schmal sind ihre Kronen und dementsprechend gross ist bei gleichem Bruthöhendurchmesser der Unterschied zu Solitärkronen. Die dickeren Buchen dagegen konnten infolge geringer Konkurrenz sehr breite Kronen mit zunehmendem Solitärcharakter entwickeln.

4. RADIALZUWACHS UND DURCHMESSERENTWICKLUNG

Die gemessenen jährlichen Radialzuwächse der untersuchten vorherrschenden Buchen lagen zwischen 6 und 7 mm, in 3 Fällen auch etwas darüber (Abb. 2). Trotz der scharfen Auswahlkriterien beinhaltet das Datenmaterial Bäume mit recht unterschiedlicher Entwicklung: Neben Entwicklungsverläufen mit relativ kurzer Phase der Astreinigung und danach raschem und gleichmäßigem Durchmesserwachstum gab es vereinzelt auch Bäume, die erst nach langen Perioden stark reduzierten Durchmesserwachstums einen Zuwachsanstieg aufwiesen, der dann aber lange auf hohem Niveau blieb. Am extremsten zeigte sich dies bei einer Buche aus dem Forstbezirk Löwenstein, bei der sich anhand äußerer Merkmale keinerlei Hinweise auf stärkeren Konkurrenzdruck nach Erreichen der gewünschten astfreien Stammlänge ergaben (vgl. Kap. 2.1, S. 1). Tatsächlich hatte dieser Baum (vermutlich in Folge von Schirmdruck) im Alter von 100 Jahren einen Durchmesser von gerade einmal 20 cm erreicht. Dann wurde er offensichtlich freigestellt und leistete in den 62 Jahren bis zu seiner Fällung noch einen Durchmesserzuwachs von über 40 cm (gepunktete Linie in Abb. 2).

Abb. 3 zeigt die Durchmesserentwicklung besonders raschwüchsiger Buchen. Das rascheste Wachstum wiesen die aus Zweibrücken in Rheinland-Pfalz stammenden Bäume auf. Für einen Bruthöhendurchmesser von 60 cm benötigten sie etwa 90, für einen Bruthöhendurchmesser von 80 cm 120-130 Jahre. Erwartungen, solche Zieldurchmesser in

kürzerer Zeit erreichen zu können, lassen sich anhand des untersuchten Datenmaterials nicht bestätigen. Hierzu wären vermutlich noch längere Kronen und damit kürzere astfreie Schaftlängen erforderlich. Untersuchungen von Freise (1999) bzw. Freise und Spiecker (1999) haben ergeben, dass Buchen-Solitäre mit astfreien Schaftlängen einen Durchmesser von 80 cm in einem Brusthöhenalter von ungefähr 90-100 Jahren erreichen können, was einem Stockalter von ca. 95-105 Jahren entspricht (gestrichelte Linien in Abb. 3). Die astfreie Schaftlänge dieser Solitäre betrug allerdings im Mittel nur 12% der Baumhöhe.

5. ROTKERN

Einen weiteren Schwerpunkt der Untersuchung bildete der Rotkern. Die Bearbeitung dieser Fragestellung lag zwar im wesentlichen beim Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft (s.o.), jedoch sind die Zusammenhänge zwischen Rotkern, Durchmesser und Alter natürlich auch waldwachstumskundlich von großem Interesse.

In Abb. 4 ist der Rotkernanteil der analysierten Buchen am oberen Ende des Stammholzstückes über dem Stockalter dargestellt, differenziert für Bäume mit einem Rotkern bis zu 20%⁴⁾ und über 20%⁵⁾ des Stammdurchmessers. Es ist offensichtlich, dass die Rotkerngefahr mit zunehmendem Alter und zunehmendem Durchmesser ansteigt, wie dies auch in zahlreichen anderen Untersuchungen festgestellt wurde (Racz et al. 1961; Höwecke et al. 1991; v. Büren 1998). Für die weiteren Betrachtungen wichtig ist jedoch der Befund, dass bis zu einem Durchmesser von 60 bis 70 cm und einem Alter von 120 Jahren die Gefahr der Entwertung durch Rotkern nur gering ist. Eine Analyse von Knoke und Schulz-Wenderoth (2001) zeigt ebenfalls, dass das Rotkernrisiko bei Buchen mit einem hohen mittleren Durchmesserzuwachs bis zu einem Durchmesser von 60 cm sehr niedrig ist, dann jedoch exponentiell ansteigt.

6. WACHSTUM VON Z-BÄUMEN AUS BUCHEN-LICHTWUCHSVERSUCHEN

▪ Vergleich mit dem Wachstum der Analyseebäume

Die Ergebnisse legen die Frage nahe, mit welcher Durchforstungsstrategie und mit wie vielen Z-Bäumen es möglich ist, einen Zieldurchmesser von 60 cm in maximal 120 Jahren zu erreichen. Hierzu wurde das oben beschriebene Wachstum der wüchsigsten Analyseebäume mit dem von Z-Bäumen aus Buchen-Lichtwuchsversuchen der Abt. Waldwachstum verglichen. Da es sich bei den analysierten Buchen um besonders vitale Bäume handelt, wurden für diesen Vergleich nur die Durchmesserentwicklung der bei der letzten Aufnahme 20 dicksten Z-Bäume pro Hektar (je nach Flächengröße die 3-10 dicksten Bäume je Feld) herangezogen.

Wie aus Abb. 5 hervorgeht, liegt die Durchmesserentwicklung der 20 dicksten Z-Bäume genau innerhalb des Streubandes der Analyseebuchen, selbst die Steigung der Kurven ist sehr ähnlich. Dies bedeutet, dass sich mit der auf den Versuchsflächen praktizierten Lichtwuchsdurchforstung zumindest für die vitalsten Z-Bäume ähnliche Durchmesserentwicklungen erreichen lassen, wie sie die Analyseebäume zeigen.

⁴⁾ Nach den Bestimmungen der Handelsklassensortierung für Rohholz (Forst-HKS) Voraussetzung für A-Qualität (Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 1985)

⁵⁾ B-Qualität und schlechter; eine detailliertere Analyse erfolgte durch das Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft der Universität Freiburg

■ Die Bedeutung des Durchforstungsbeginns

Betrachtet man die Durchmesserentwicklung der Z-Bäume der Versuchsflächen näher, erkennt man außerdem, dass ein bestimmter Zieldurchmesser umso früher erreicht wird, je früher die Flächen durchforstet wurden (Abb. 6).

Dies gilt nicht nur für die dicksten Z-Bäume, sondern auch für die schwächeren Teilkollektive. In Abb. 7 ist die Entwicklung von Z-Bäumen, unterteilt in Durchmesserkollektive mit je 20 Bäumen, von zwei Versuchsflächen mit unterschiedlichem Durchforstungsbeginn dargestellt. Die Abbildung zeigt, dass es auf der spät durchforsteten Fläche (dünne Linien) nur den *20 dicksten Z-Bäumen* möglich ist, innerhalb eines von der Rotkernbildung her gesehenen sicheren Zeitraums auf einen Durchmesser von 60 cm zu kommen. Bei der im Alter von 52 Jahren durchforsteten Fläche gelingt dies dagegen den *100 dicksten Z-Bäumen*, lediglich die 101-120 dicksten Bäume überschreiten den kritischen Zeitrahmen.

Aus der Darstellung geht außerdem hervor, dass die Durchmesserdivergenz innerhalb des Z-Baum-Kollektivs im Laufe der Zeit erheblich zunimmt. Die oft geäußerte Annahme, dass eine Z-Baum orientierte Bestandesbehandlung zu einer Homogenisierung führe, lässt sich damit nicht bestätigen. Unter der Voraussetzung einer frühzeitig begonnenen Durchforstung ermöglicht diese Durchmesserdivergenz eine Zielstärkennutzung über einen Zeitraum von 30-40 Jahren hinweg, ohne dass hierdurch die Gefahr der Rotkernbildung wesentlich steigen dürfte.

Der Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der ersten Durchforstung und dem Erreichen eines bestimmten Zieldurchmessers wurde für die Z-Bäume aller Lichtwuchsversuche statistisch untersucht. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abb. 8 für einen Zieldurchmesser von 60 cm dargestellt. Danach erreichen die dicksten 20 Z-Bäume einen Durchmesser von 60 cm in etwa 90 Jahren, wenn sie im Alter von etwa 45 Jahren freigestellt wurden. Erfolgt die Freistellung erst im Alter von 80 Jahren, verschiebt sich dieser Zeitpunkt auf 120 Jahre, wie dies bereits bei der Diskussion von Abb. 7 festgestellt wurde. Die Steigung der Ausgleichsgeraden nimmt zu den schwächeren Teilkollektiven hin zu, was bedeutet, dass sich eine zeitliche Verschiebung der ersten Durchforstung umso negativer auswirkt, je dünner die Z-Bäume sind. Um die 81 bis 100 dicksten Z-Bäume innerhalb der für die Rotkernentstehung kritischen Grenze von 120 Jahren auf einen Durchmesser von 60 cm zu bringen, müssen diese allerspätestens in einem Alter von 40 bis 50 Jahren freigestellt werden.

Neben dem Zeitpunkt der ersten Durchforstung spielt auch die Bonität (ausgedrückt im dGz_{100} der Versuchsflächen) eine Rolle. Deren Einfluss ist umso stärker, je vitaler (dicker) die Z-Bäume sind (Tab. 3). Eine schrittweise Regressionsanalyse ergab, dass das partielle Bestimmtheitsmaß für den Zeitpunkt der ersten Lichtwuchs-Durchforstung ($t_{1,LDf}$) bei den dicksten 20 Z-Bäumen niedrig, das der Bonität (dGz) mit 0,725 dagegen hoch ist. Umgekehrt erwies sich bei den 81-100 dicksten Bäumen der Einfluss der Bonität auf den Produktionszeitraum als nicht signifikant, ganz im Gegensatz zum Zeitpunkt der ersten Durchforstung (part. $r^2 = 0,886$). Auch dies zeigt, dass die Frage des Durchforstungsbeginns (und der Durchforstungsstärke, die in den hier untersuchten Versuchen jedoch mehr oder weniger gleich war) vor allem für die Entwicklung der schwächeren Bäume eines Z-Baum-Kollektivs wichtig ist. Die Entwicklung der vorherrschenden Bäume ist dagegen stark bonitätsbestimmt.

Für eine frühzeitige Kronenpflege spricht außerdem, dass Buchen, die bereits in relativ jungem Alter eine kräftige Krone ausbilden konnten, ein besser ausgebildetes Wurzelsystem und damit eine höhere Toleranz gegenüber Trockenheit entwickeln können als erst in höherem Alter freigestellte Buchen (Abetz 1988). Außerdem bilden sich einmal vorhandene Kronenassymetrien bei späterer Freistellung eines Baumes kaum noch zurück (Debeljak und Mlinšek 1998).

■ Zur Frage der Z-Baum-Anzahl

Aus obigen Betrachtungen lässt sich die Konsequenz ziehen, dass der Zeitpunkt der ersten Durchforstung den Spielraum bei der Z-Baum-Auswahl wesentlich beeinflusst.

Bei frühzeitiger Durchforstung besteht durchaus die Möglichkeit, auch weniger vitale, aber qualitativ gute Bäume der Baumklasse II als Z-Bäume auszuwählen und so zu begünstigen, dass sie innerhalb des genannten Zeitrahmens ihren Zieldurchmesser erreichen. Dies ist gerade bei der Buche von Bedeutung, bei der die zum Zeitpunkt der Z-Baum-Auswahl dicksten Bäume häufig Protzen sind, die als Konkurrenten besserer Individuen entnommen werden müssen. Tatsächlich zeigen die von Altherr angelegten Lichtwuchsversuche, dass der Durchmesser der Z-Bäume zu Durchforstungsbeginn i.d.R. unter dem der dicksten 100 Bäume des Bestandes lag, weil letztere häufig qualitativ unbefriedigend waren und zugunsten (schwächerer) Z-Bäume durchforstet wurden (Klädtker 1997).

Die Auswahl von mehr als 80 Z-Bäumen ist nur bei guten Bonitäten und nur dann sinnvoll, wenn die erste Durchforstung *spätestens* zwischen 40 und 50 Jahren erfolgt. Zu diesem Zeitpunkt ist die Astreinigung bei guten Bonitäten (ab dGz 6) auf etwa 8-10 m fortgeschritten. Bei Bonitäten unter dGz 6 dagegen ist dies erst in höherem Alter der Fall, so dass hier die Anzahl auszuwählender Z-Bäume von vornherein niedriger oder die astfreie Schaftlänge deutlich kürzer sein muss. Auch höhere Zieldurchmesser haben eine geringere Anzahl an Z-Bäumen zur Folge.

Nun gibt es in der Praxis durchaus Situationen, wo aufgrund schlechter Qualitäten oder Schäden nicht mehr als 50 Z-Bäume sinnvoll ausgewählt werden können, vor allem dann, wenn die Z-Baum-Auswahl verspätet erfolgt. Sich von vornherein aber auf eine geringe Z-Baum-Anzahl zu beschränken, ist jedoch problematisch, denn grundsätzlich ist bei der Z-Baum-Auswahl auch die flächenbezogene Wertleistung mit zu beachten.

Die Versuche der Abt. Waldwachstum zeigen, dass bei frühzeitiger Lichtwuchsdurchforstung in einem Alter von 100-120 Jahren durchaus Z-Baum-Grundflächen von 25 m²/ha erwartet werden können. Wählt man nur 50 oder weniger Z-Bäume aus, müssen diese einen Durchmesser von 80 cm und mehr erreichen, wenn die Flächenproduktivität ausgeschöpft werden soll (Tab. 4). Damit liegen die Zieldurchmesser aber in einem Bereich, in dem mit sortierrelevantem Rotkern gerechnet werden muss. Aber auch, wenn man eine um 5 m² niedrigere Grundfläche als ausreichend erachtet (etwa weil man ein weiteres Hochwandern des Kronenansatzes im Sinne von Wilhelm et al. (1999) vermeiden will, liegen die erforderlichen Zieldurchmesser noch über 70 cm.

Bei 70 Z-Bäumen je Hektar ergeben sich Zieldurchmesser von 60 ($G_{ZB} = 20 \text{ m}^2/\text{ha}$) bzw. 67 cm ($G_{ZB} = 25 \text{ m}^2/\text{ha}$). Diese Rahmenwerte sind zum einen nach den oben vorgestellten Ergebnissen hinsichtlich Produktionszeitraum und Rotkerngefahr als unproblematisch anzusehen und berücksichtigen zum anderen auch die flächenbezogene Wertproduktion.

4. LITERATURVERZEICHNIS

- Abetz, P., 1988: Untersuchungen zum Wachstum von Buchen auf der Schwäbischen Alb. AFJZ 159, 11/12: 213 - 223.
- Altherr, E.: Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. Bericht zur 15. Hauptversammlung des Baden-Württembergischen Forstvereins (1971), S. 123-127.
- Börner, M.: Zu Wachstum und Wachstumsreaktion der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) nach Freistellung im fortgeschrittenen Alter. LINCOM Studien zur Forstwissenschaft 03, 1997, 197 S.
- Debeljak, M.; Mlinšek, D., 1998: Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) und ihr Reaktionsvermögen. Schweiz. Z. Forstw., 149, 2: 71-86.
- Freise, Ch., 1999: Konkurrenzfreies Wachstum der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Eine Fallstudie zur Charakterisierung des Wachstums von Buchen-Solitären in Südwestdeutschland.. Diplomarbeit, Forstliche Fakultät der Universität Freiburg, 1999, 82 S.
- Freise, Ch., Spiecker, 1999 H.: Konkurrenzfreies Wachstum der Buche. AFZ/Der Wald, 54, 25: 1346-1349.
- Hasenauer, H., Stampfer, E., Rohmoser, Ch., Sterba, H.: Solitärdimensionen der wichtigsten Baumarten Österreichs. Österreichische Forstzeitung 1994, 105, 3, 28-29.
- Höwecke, B.; Mahler, G.; Voss, A.; Brandl, H. 1991: Untersuchungen zur Farbverkernung bei der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Baden-Württemberg. Mitt. d. FVA Baden-Württemberg Heft 158.
- Klädtker, J., 1997: Buchen- Lichtwuchsdurchforstung nach Altherr. AFZ 168, 19: 1019-1023.
- Knoke, Th., Schulz-Wenderoth, S., 2001: Ein Ansatz zur Beschreibung von Wahrscheinlichkeit und Ausmaß der Farbkernbildung bei Buche (*Fagus sylvatica* L.). Forstw. Cbl. 120: 154-172.
- Landesforstverwaltung Baden-Württemberg, 1985: Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz (Forst-HKS), Nachdruck 1985, 24 S.
- Racz, J.; Schulz, W.; Knigge, W., 1961: Untersuchungen über das Auftreten des Buchen-Rotkerns. Forst und Holz, 16: 413-417.
- Schober, R.: Die Rotbuche. J. D. Sauerländer's, Frankfurt am Main (1972), 332 S.
- v. Büren, S., 1998: Buchenrotkern: Erkennung, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung. Schweiz. Z. Forstwes., 149. 12: 955-970
- Wilhelm, G.J., Letter, H.-A., Eder, W., 1999: Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. AFZ/Der Wald, 54, 5: 232-240.

TABELLEN UND ABBILDUNGEN

Tab. 1

Altersstufe [Jahre]	Durchmesserstufe [cm]										i.g.
	≤20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100	>100	
51-60		5									5
61-70	3	11	5								19
71-80			5	1	1						7
101-110					1	1					2
111-120				1	1	1	1				4
121-130								1			1
131-140					2		3	2			7
141-150						1	3				4
151-160						1		1			2
161-170						2	2		1		5
171-180							1	2	2		5
181-190						1			1		2
191-200							2				2
201-210								1		2	3
i.g.	3	16	10	2	5	7	12	7	4	2	68

Tab. 2

Forstbezirk	Versuchsfläche-		Versuchsanlage			Behandlung			Z-Baum-	Bonität
	Name	Größe [ha]	Kalender- Jahr	Alter [Jahre]	h _o [m]	t _{1, Ldf.} ¹⁾ h _o [m]	Σ AB ²⁾ [%]	Modell ³⁾	Anzahl [Stück/ha]	
Adelsheim	Bu223/1	0.14	1970	54	21,8	21,8	59	G	131	9,0
	Bu 224/1	0.40	1969	63	21,5	22,5	56	G	130	8,0
	Bu 225/1	0.40	1971	74	28,3	28,3	55	G	80	9,8
Steinheim	Bu 226/1	0.50	1971	78	24,4	24,4	54	G	110	7,6
Langenau	Bu 227/2	0.36	1971	69	23,9	23,9	58	G	120	8,7
	Bu 228/1	0.50	1970	62	23,1	23,1	60	G	104	9,0
	Bu 229/2	0.40	1970	70	26,9	26,9	55	G	105	9,1
Heidenheim	Bu 230/1	0.50	1971	88	25,6	25,6	50	G	90	6,6
	Bu 231/2	0.20	1971	78	24,3	24,3	59	G	105	7,2
Neuenstadt	Bu 232	0.30	1971	78	24,8	24,8	55	G	110	8,2
Kaltenbronn	Bu 237/1-3	0.3-0.4	1947	45	20,4	22,9	40-55	N	109-118	9,3-10,3
Oberkirch	Bu 238	0.28	1936	34	13,9	19,6	37	N	116	8,2
Stockach	Bu 239/1-2	0.25	1950	39	13,8	17,0	55-57	N	112-116	8,2-8,4

¹⁾ Zeitpunkt der ersten Lichtwuchsdurchforstung ²⁾ Summe Vornutzungen in Prozent der Gesamtwuchtleistung

³⁾ G: Behandlung nach Grundfläche (Altherr 1971); N: Behandlung nach Baumzahl

Tab. 3

Kollektiv der 1- n dicksten Z-Bäume	Partielles Bestimm- heitsmaß (r^2)		
	$t_{1,LDf}$	dGz	r^2 i.g.
1-20	0.205	0.725	0.930
21-40	0.824	0.107	0.931
41-60	0.860	0.036	0.896
61-80	0.857	n. s.	0.857
81-100	0.886	n. s.	0.886

Tab. 4

Z-Baum-Anzahl [N/ha]	Z-Baum-Grundfläche [m ² /ha]	
	20	25
40	80	89
50	71	80
60	65	73
70	60	67
80	56	63
90	53	59

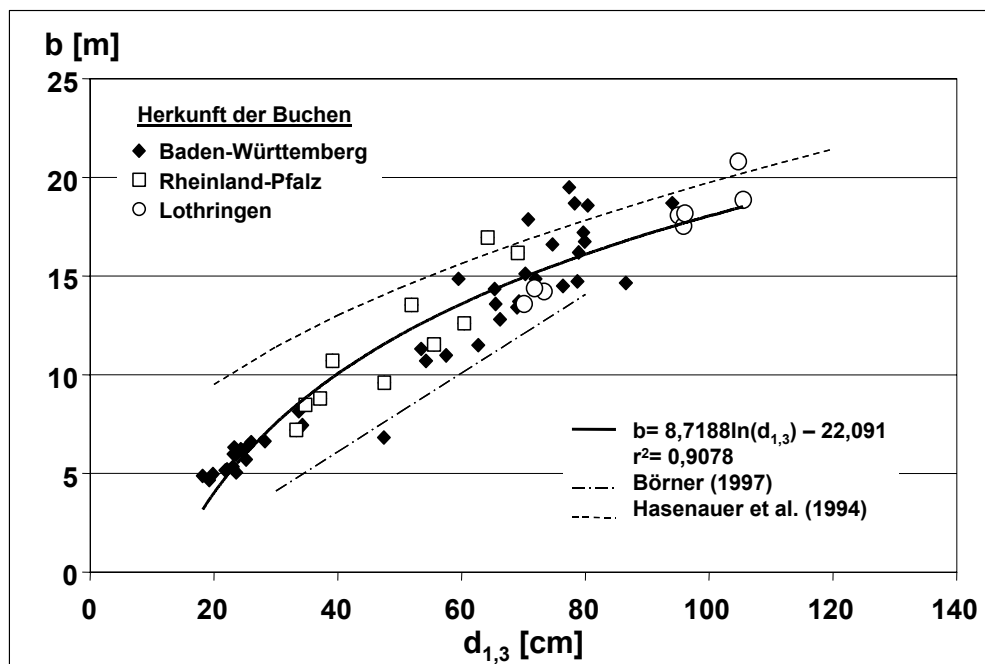


Abb. 1

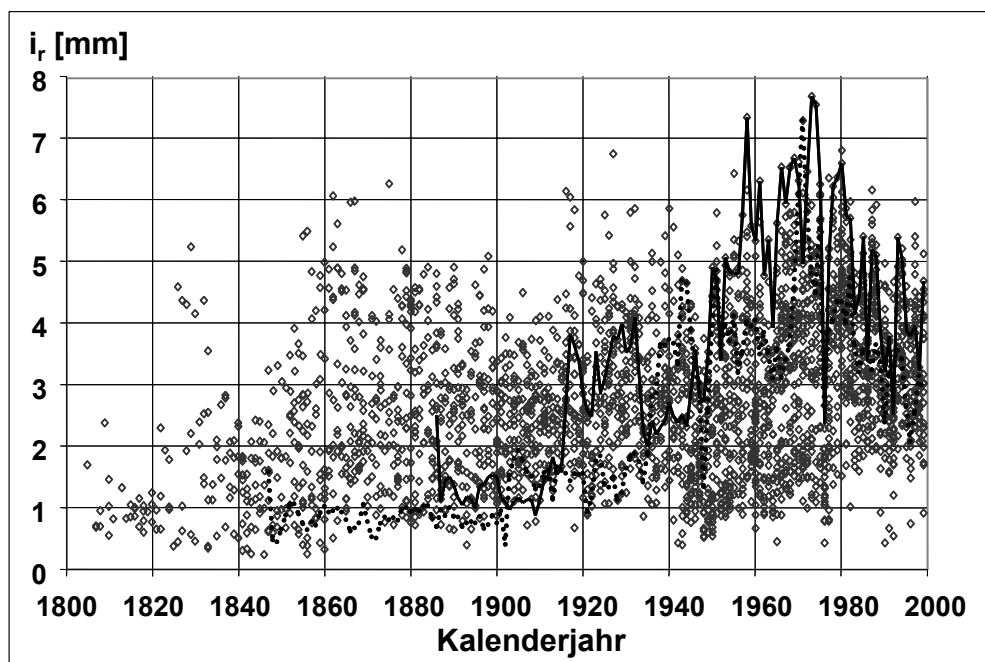


Abb. 2

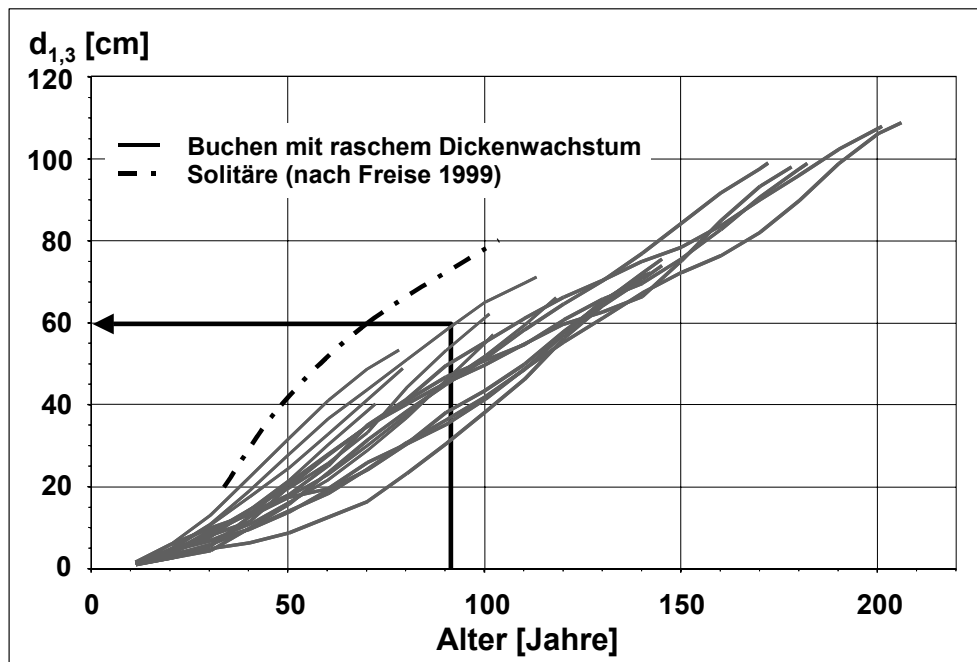


Abb. 3

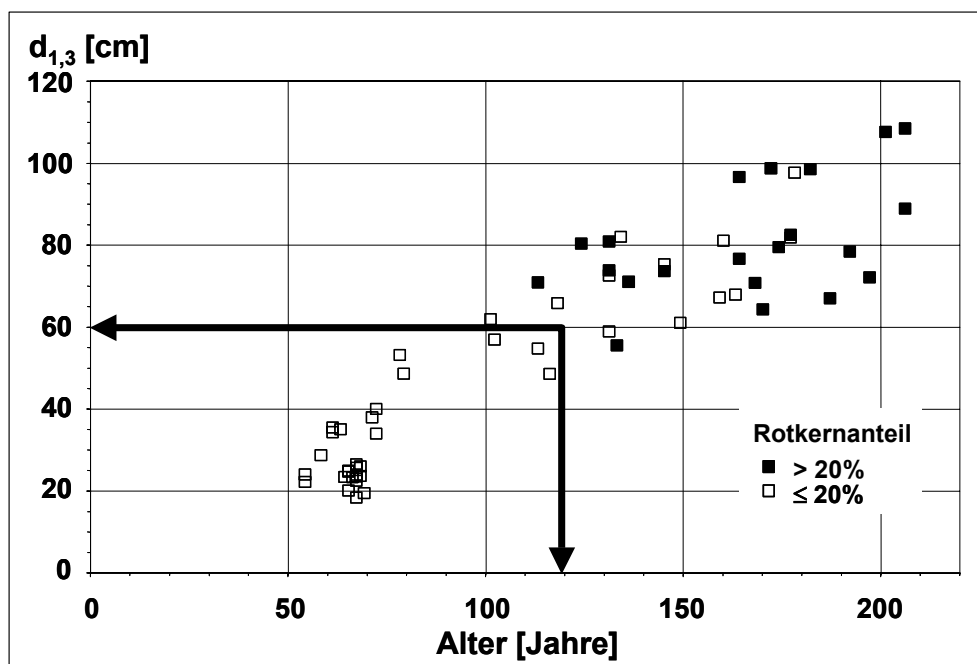


Abb. 4

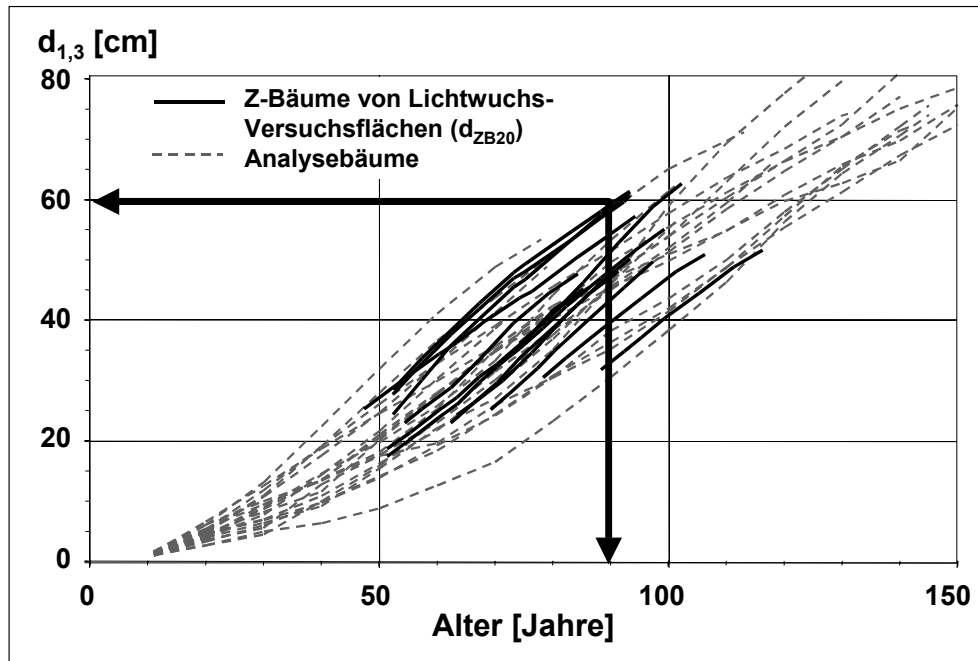


Abb. 5

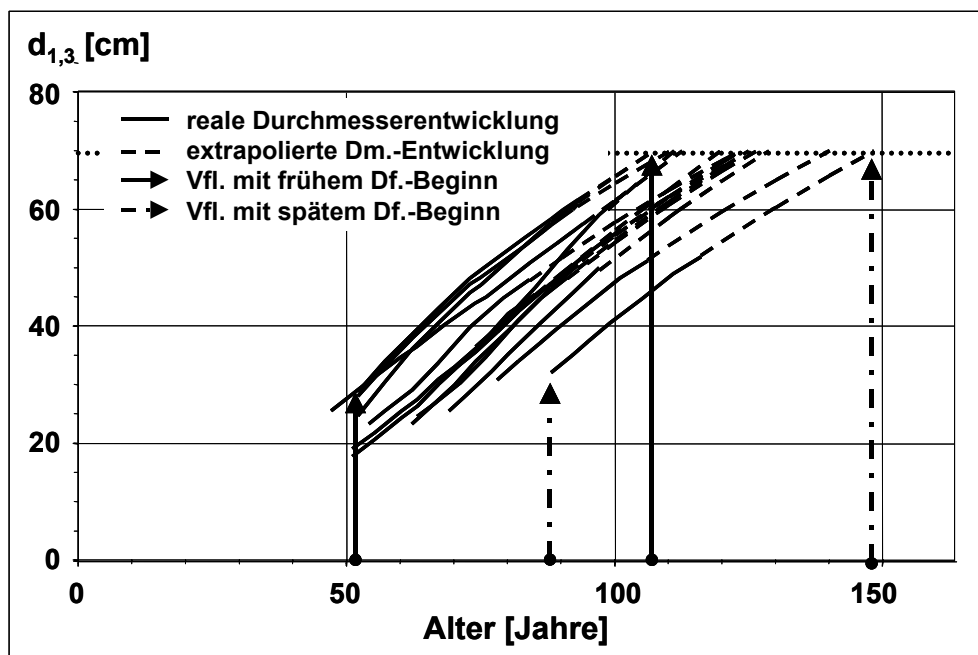


Abb. 6

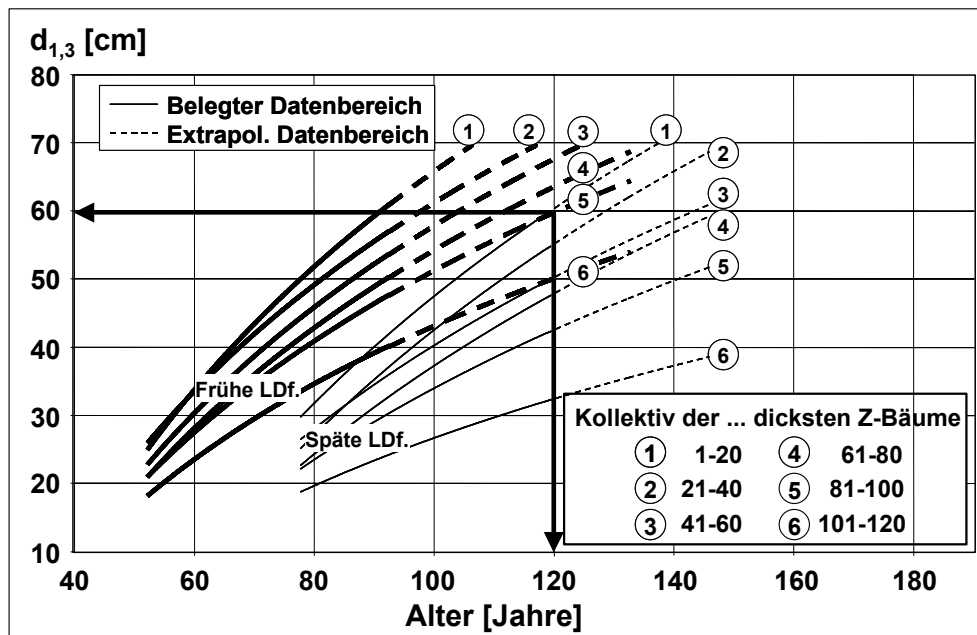


Abb. 7

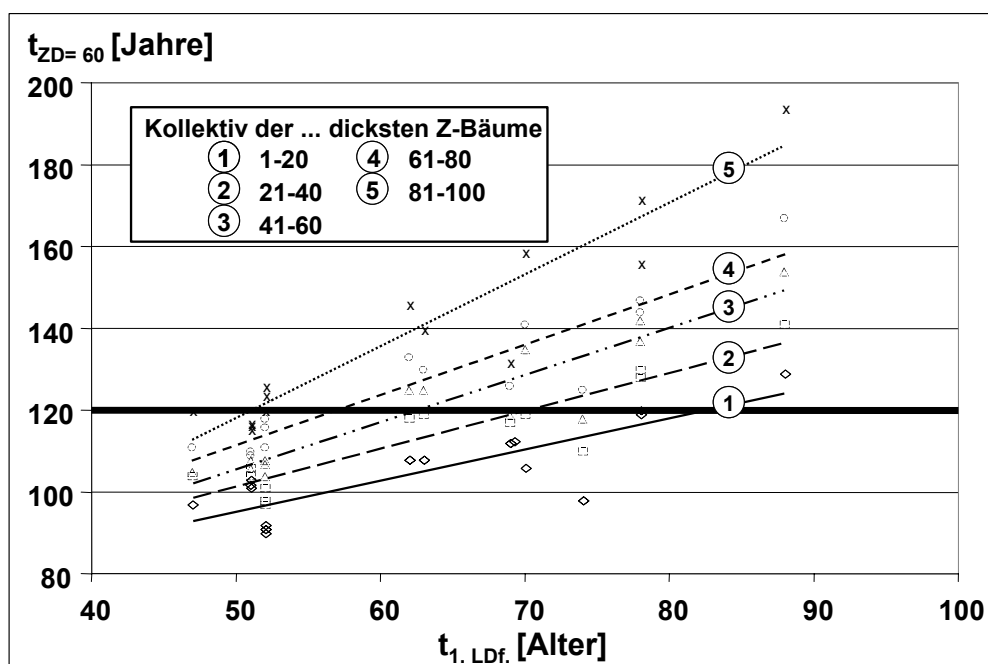


Abb. 8

TABELLEN- UND ABBILDUNGSBESCHRIFTUNGEN

Tab. 1 Anzahl an Analysebäumen je Durchmesser- und Altersstufe.

Number of sample trees per diameter and age class.

Tab. 2 Angaben zu den verwendeten Versuchsflächen.

Information on the beech sample plots.

Tab. 3 Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der 1. Df., der Bonität und dem Erreichen eines Zieldurchmessers von 60 cm.

Correlation between the age at the first thinning, site class, and the age when a target diameter of 60 cm DBH will be reached.

Tab. 4: Zieldurchmesser in Abhängigkeit von Z-Baum-Anzahl und Grundfläche.

Interrelation between target diameter, number of crop trees and basal area per ha.

Abb. 1: Zusammenhang zwischen Brusthöhendurchmesser und Kronenbreite.

Die Kronenbreiten der untersuchten Buchen liegen zwischen denen von herkömmlich behandelten Bäumen (Börner 1997) und Solitären (Hasenauer et al 1994).

Correlation between DBH and crown width.

The crown widths of the analysed beeches lie between that of conventionally released trees (Börner 1997) and open grown trees (Hasenauer et al 1994).

Abb. 2: Radialzuwachs der Analyseebäume.

Trotz der scharfen Auswahlkriterien sind im Datenmaterial Bäume mit unterschiedlichen Wachstumsverläufen enthalten.

Radial increment of the analysed trees.

Despite a very careful selection, the material contains trees which have grown rather differently.

Abb. 3: Durchmesserentwicklung von Analyseebäumen mit besonders raschem Wachstum und von Buchen-Solitären.

Die Analyseebäume benötigen für einen Brusthöhendurchmesser von 60 cm mindestens 90, für 80 cm 120-130 Jahre, während Solitäre hierzu 20-30 Jahre weniger benötigen, allerdings mit wesentlich kürzeren astfreien Schaftlängen.

Diameter development of analysed trees with a particularly fast growth and of open grown trees.

The analysed trees needed at least 90 years to reach a DBH of 60 cm, and 120-130 years for 80 cm. The open grown trees needed 20-30 years less, whereas the branchless stem length of them was much shorter.

Abb. 4: Rotkernverteilung am oberen Ende des Stammholzstückes nach

Brusthöhendurchmesser und Alter.

Bis zu einem Durchmesser von 60 cm und einem Alter von 120 Jahren ist die Gefahr der Entwertung durch Rotkern nur gering

Red heart distribution at the upper end of the stems by DBH and age.

Up to 60 cm DBH and ages of 120 years, the risk of red heart formation is only little.

Abb. 5: Durchmesserentwicklung der wüchsigsten Analyseebäume und der 20 dicksten Z-Bäume pro Hektar von Buchen-Lichtwuchsversuchen

Die Durchmesserentwicklung der Z-Bäume liegt genau innerhalb des Streubandes der Analyseebuchen.

Diameter development of the fastest grown analysed trees and of the 20 thickest crop trees per ha from beech experiments with very heavy crown thinning.

The diameter development of the crop trees lies exactly within the variation of the analysed trees.

- Abb. 6: Durchmesserentwicklung der 20 dicksten Z-Bäume/ha von Lichtwuchsversuchsflächen, extrapoliert auf einen Zieldurchmesser von 70 cm. Je früher die Flächen angelegt und durchforstet wurden, desto früher wird der Zieldurchmesser erreicht.
Diameter development of the 20 thickest crop trees per ha from the thinning experiments, extrapolated to a target diameter of 70 cm. The earlier the first thinning of plots took place, the earlier the target diameter will be reached.
- Abb. 7: Durchmesserentwicklung der 1-20, 21-40 ... 101-120 dicksten Z-Bäume zweier Lichtwuchsversuchsflächen mit frühem Durchforstungsbeginn (dicke Linien) bzw. späten Durchforstungsbeginn (dünne Linien). Auf der früher durchforsteten Versuchsfläche können alle Z-Bäume mit Ausnahme der schwächsten innerhalb von 120 Jahren einen Durchmesser von 60 cm erreichen, während dies auf der später durchforsteten Fläche nur den dicksten Z-Bäumen gelingt.
Diameter development of the 1-20, 21-40, ... 101-120 thickest crop trees of two beech experiments, with early heavy crown thinning (thick lines), and late heavy crown thinning (thin lines). On the early thinned experimental plot, all crop trees except the thinnest are supposed to reach a DBH of 60 cm within 120 years, whereas on the plot with late thinning, only the thickest crop trees will make it.
- Abb. 8: Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der ersten Lichtwuchsdurchforstung und dem Produktionszeitraum für Zieldurchmesser 60 cm. Je schwächer die Z-Bäume sind, desto negativer wirkt sich ein Hinausschieben der ersten Durchforstung auf die Durchmesserentwicklung aus.
Correlations between the beginning of the heavy crown thinnings and the production time required for a target DBH of 60 cm. The thinner the crop trees, the more their diameter development is affected by delayed thinnings.