

¹Entwicklung von Dimensionsgrößen der Buche unter dem Einfluß von Standort, Behandlung und Konkurrenz

Heinz Utschig, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, LMU München

1 Einleitung

Die Bestandesbehandlung der Buche ist in Diskussion, deshalb hat innerhalb der Sektion Ertragskunde auch eine angeregter Austausch von Ideen und Fakten über einen aus waldwachstumskundlicher Sicht angemessen Behandlungsrahmen für Buchenbestände begonnen. Inspiriert durch eine Exkursion von Waldbaureferenten verschiedener Landesforstverwaltungen in Frankreich, bei der die Erziehung von Buchenstarkholz aus Mittelwaldbeständen besonderes Interesse fand, wurden und werden derzeit die Behandlungskonzepte einiger Bundesländer für die Buche neu überdacht. Zu den Behandlungsvorschlägen von v. SEEBACH (1845), WIEDEMANN (1943), SCHOBER (1971), ASSMANN (1961, 1965), FREIST (1962) ALTHERR (1971) und FLEDER (1987) sind neue Varianten mit noch stärkerer Fokussierung auf die Dimension des Einzelbaumes gekommen. Dabei ist zu trennen zwischen den Autoren, die die Dimensionierung des Einzelbaumes durch eine einzelbaumbezogene Umtriebszeit im Sinne einer Zielstärkennutzung betreiben (REININGER, 1992) und den Autoren, die in möglichst kurzer Zeit sehr starke Zieldurchmesser erreichen wollen (WILHELM, LETTER und EDER, 1999; EBERT, 1999)

Letztlich motiviert sind diese Überlegungen durch den sehr guten Preis, der derzeit für das relativ neue Sortiment „Messerbuche“ erzielt wird. Qualitätskriterien für dieses Sortiment sind ein hoher Durchmesser (Mitteldurchmesser > 50 cm) und damit verbunden breite und relativ gleichmäßige Jahrringbreiten. Wichtig ist, daß das Holz frei von Spannungen ist. Zur Vermeidung von Eintrittspferten für holzentwertende Faktoren (Pilzbefall, Rotkernbildung) wird angestrebt, eine Zone mit starken Totästen zu vermeiden. Ziel ist eine lange grüne Krone (75% der Baumlänge), die über das ganze Bestandesleben erhalten bleibt.

Die Erzeugung wertvoller, d.h. dicker Einzelbäume mit BHD-Werten von 90 cm in 90 Jahren ist ein plakatives Ziel. Es stellt sich die Frage, welche Dimensionen sind bei der Buche erreichbar, welcher Zeitraum wird dafür benötigt und welche Werterwartung ist damit verbunden.

2 Das Datenmaterial

Aus dem Datenfundus des Ertragskundlichen Versuchswesens in Bayern (Tab. 1) wurden Buchenversuche ausgewählt bei denen Stammfußkoordinaten, Kronenablotungen und wiederholte Durchmessererhebungen vorliegen. Es sind junge Bestände ebenso erfaßt wie mittelalte und alte Bestände und Buchen-Naturwald-Bestände mit einem Alter über 200 Jahren mit Durchmessern über 100 cm BHD. Das Datenmaterial spiegelt darüber hinaus ein breites Spektrum von Duforstrategien wider. Die Standorte, auf denen die Versuchsflächen stocken sind durch eine gute Nährstoff- und Wasserversorgung gekennzeichnet, das obere Leistungsspektrum der Buche in Bayern wird dadurch beschrieben.

¹Vortrag anläßlich der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, S. 126 - 144

Tab. 1: Versuchsflächen die in die Untersuchung einbezogen wurden. Angegeben ist die Versuchsbezeichnung, Anzahl der Parzellen, die Flächengröße, das Forstamt, die ausgewerteten Aufnahmezeitpunkte und die Art der Bestandesbehandlung (BU=Buche, DF=Durchforstungs-, Verj.=Verjüngung).

Versuch	Parz.	Flae [ha]	Forstamt	Alter [Jahre]	Aufnahmezeitpunkte	Behandlung
FAB 015	6	2.2	Eltmann	158, 168	1981, 1991	A-, B- und C-Grad
EBR 133	8	8.0	Ebrach	135-172	1984, 1994, 1998	Verj. unter Schirm
GER 627	4	2.0	Gerolzhofen	207-219	1984, 1995	Bu-Naturwald-Bestand
EBR 640	8	2.0	Ebrach	55-110	1988, 1996	Bu-DF-Wuchsreihe
STA 91	5	0.5	Sarnberg	45-71	1972, 80, 86, 94, 98	Bu-DF-Versuch

Die Versuchsfläche Fabrikschleichach 015 wird seit dem Jahr 1871 beobachtet, sie zählt zu den ältesten Versuchsanlagen in Europa, die noch existent sind. Untersucht wird hier das Bestandeswachstum der Buche bei Behandlung nach klassischer Niederdurchforstungsgraden im Anhalt an die Klassifizierung nach VdFV (1902). Die Daten aus der Versuchsfläche Ebrach 133 sind geprägt von z.T. bereits seit mehr als 20 Jahren andauernden Schirmstellungen. Hier können Daten über maximale Jahrringbreiten von Buchenaltbäumen gewonnen werden. Die Versuchsfläche Gerolzhofen 627 wird mit einem Bestandesalter von über 200 Jahren als Starkholz-Reliktbestand betrachtet. Die Baumdimensionen der Buche erreichen hier ein Maximum. Die Versuchsreihe Ebrach 640 repräsentiert vier verschiedene Entwicklungsstadien von Buchenbeständen, vom Stangenholz bis zum Altholz, das in Verjüngung steht. Jede Altersphase ist durch zwei Parzellen repräsentiert, die unterschiedlich stark behandelt werden. Diese Flächen vermitteln einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit von Buchenbeständen über das gesamte Bestandesleben. Die Versuchsfläche Sarnberg ist gekennzeichnet durch ein breites Spektrum von Eingriffsstärken in jüngeren Buchenbeständen mit optimalen Wachstumsbedingungen.

3 Aktuelle Wachstumstrends der Buche in Bayern

Die Auswertung der langfristigen Versuchsflächen in Bayern zeigt, daß auf mittleren bis guten Standorten die Buche ein hohes Ertragsniveau erreicht. Die Entwicklung der Grundflächenhaltung auf dem Buchen-Durchforstungsversuch Sarnberg 91 verdeutlicht dies. In den Beständen überschreitet bereits im Alter von 50 bis 60 Jahren der A-Grad Grundflächenwerte von 40 qm/ha. Diese Eckwerte sind wichtig, damit die Eingriffsstärke in Beständen richtig eingeschätzt werden kann. Die Auswertungen von Versuchsflächen zeigen außerdem, daß ein rasches Jungendwachstum und ein langanhaltender hoher laufender Zuwachs derzeit die Wuchsdynamik geschlossener Buchenbestände charakterisieren. Besonders deutlich wird dies z.B. an der Versuchsreihe Fabrikschleichach 015. Hier findet das zu erwartende Absinken des laufenden Volumenzuwachs mit zunehmendem Alter nicht statt. Er liegt im Alter von 140 bis 160 Jahren im Bereich von 11 VfmD/ha und Jahr auf einem sehr hohen Niveau.

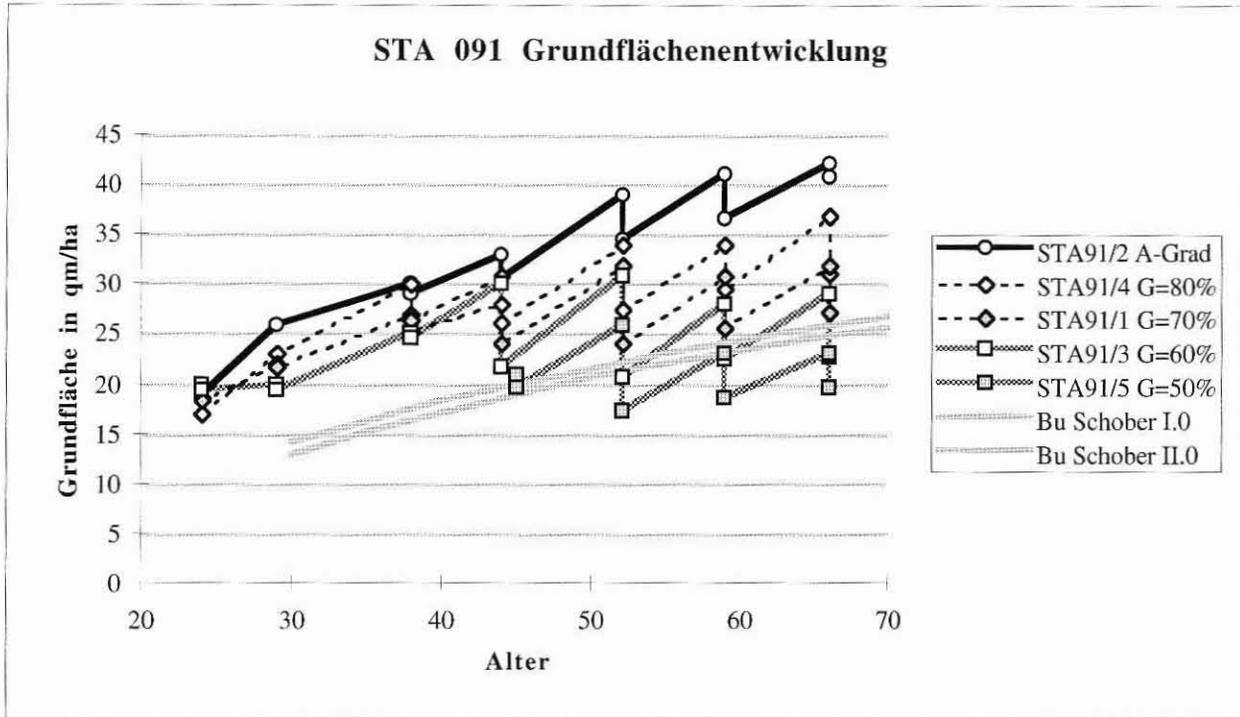


Abb. 1: Versuchsfläche Starnberg 091, Entwicklung der Bestandesgrundfläche für die Parzellen 1-5 im Vergleich zur Buchen-Ertragstafel von SCHOBER (1972), mä. Df.

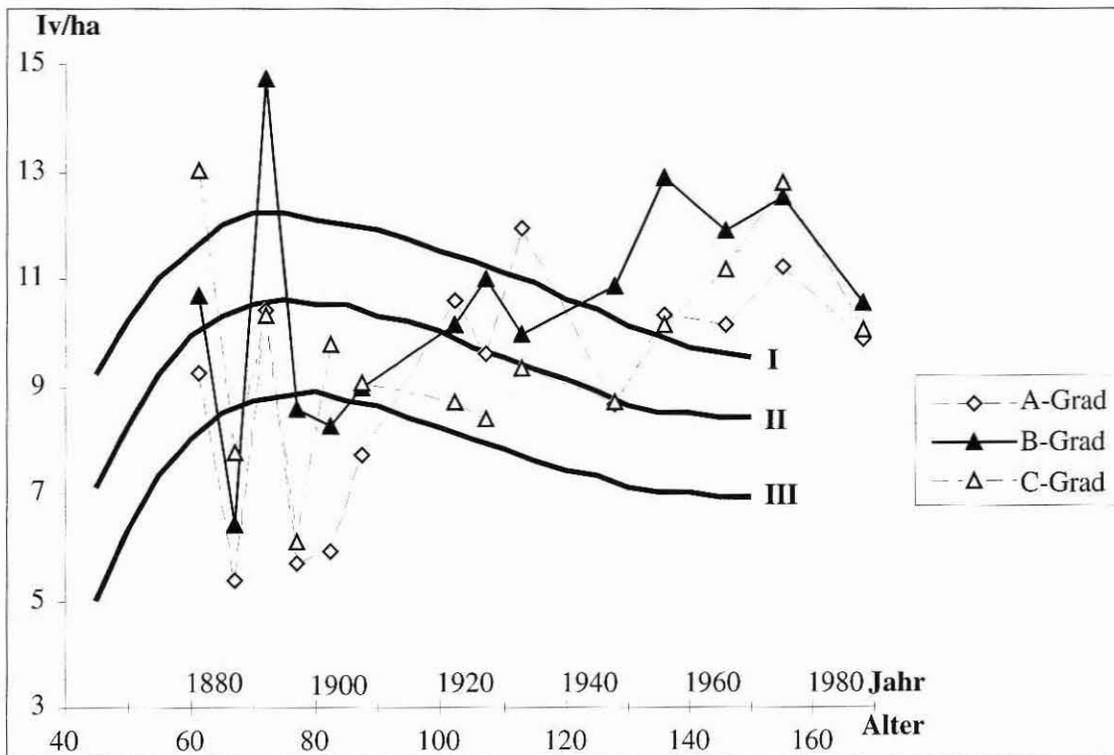


Abb. 2: Entwicklung des laufenden periodischen Volumenzuwachses auf dem Buchen-Durchforstungsversuch FAB 015 über dem Alter im Forstamt Eltman. Parzellen 1 (A-Grad), 2 (B-Grad) und 3 (C-Grad) im Vergleich zur Buchen-Ertragstafel von SCHOBER (1972), mä. Df.

4 Dimensionsgrößen für Einzelbäume

Das Zuwachsniveau und die Fähigkeit der Bestände Holzmasse zu akkumulieren haben sich in weiten Teilen Bayerns in den letzten Jahrzehnten erheblich verbessert (PRETZSCH, 1996). Es stellt sich die Frage, welche Auswirkung die hohe Flächenproduktivität auf die Entwicklung von Auslese- oder Zielbäume hat.

Auf 31 Versuchspartzen wurden die jeweils 10 stärksten Bäume jeder Versuchspartze ausgewählt. Damit soll zunächst aufgezeigt werden, welche Dimensionsgrößen von vorherrschenden Buchen unter sehr verschiedenen Wuchsbedingungen erreicht werden können.

4.1 Höhen- und Durchmesserwerte

Das Untersuchungsmaterial deckt den BHD-Bereich bis 100 cm dicht mit Werten ab. Der dickste in die Untersuchung einbezogene Baum hatte einen BHD von über 127 cm (Abb. 3). In den untersuchten Beständen werden maximal Höhen von 45 m erreicht, dies scheint für die untersuchten Standorte eine echte Obergrenze zu sein. Insgesamt gibt es bei gleichen Durchmessern eine relativ breite Höhenstreuung, da bei dieser Betrachtung das Bezugsalter und die Behandlung nicht berücksichtigt werden.

4.2 Höhen-Durchmesserrelationen

Die h/d-Werte der untersuchten Bäume liegen im Bereich zwischen 40 und 80 mit einem Schwerpunkt bei einem h/d-Wert von 60 (Abb. 4). Dieser h/d-Bereich zeigt, daß es sich bei den untersuchten Bäumen um die dicksten Bäume in den jeweiligen Beständen handelt. Die Durchmesser haben sich in Relation zur Höhe bereits sehr günstig entwickelt. h/d-Werte unter 40 treten im Untersuchungsmaterial kaum auf. Daraus kann rückgerechnet werden, daß für einen Zieldurchmesser von 60 cm bei einem h/d-Wert von 40 mindestens eine Höhe von 24 m und für einen Zieldurchmesser von 90 cm mindestens eine Höhe von 36 m erreicht werden muß.

4.3 Kronendurchmesser

Die Kronendurchmesser streuen bei gleichem BHD in einem weiten Bereich, zeigen aber eine deutliche Obergrenze in Abhängigkeit vom BHD. Maximalwerte des Kronendurchmessers liegen bei einem BHD von 100 cm bei 20 m und bei einem BHD von 60 cm bei 15 m. Es zeigt sich aber auch, daß gleiche BHD-Werte mit recht unterschiedlichen Kronendimensionen erreicht werden können. Dies deutet darauf hin, daß die Standraumproduktivität von Bäumen durchaus sehr unterschiedlich sein kann.

4.4 Höhen und Kronenansatzhöhen

Sehr dicke Bäume (BHD > 80 cm) haben Kronenansatzhöhen, die zwischen 10 und 25 m liegen. Sie liegen damit in ähnlichen Wertebereichen wie vorherrschende Bäume, die BHD-Werte zwischen 30 und 40 cm aufweisen (Abb. 6). Im Bereich 60 cm BHD streuen die Kronenansatzhöhen wesentlich stärker, es sind hier sowohl Bäume mit sehr niedrigen aber auch mit sehr hohen Kronenansatzhöhen zu finden. Im Datenmaterial sind sehr niedrige Kronenansatzhöhen häufig durch Zwieselbildung bedingt. Mittlere Werte für Kronenansatzhöhen liegen bei 15 bis 25 m, daraus lassen sich mittlere Bekronungsgrade von 40 bis 50% ableiten.

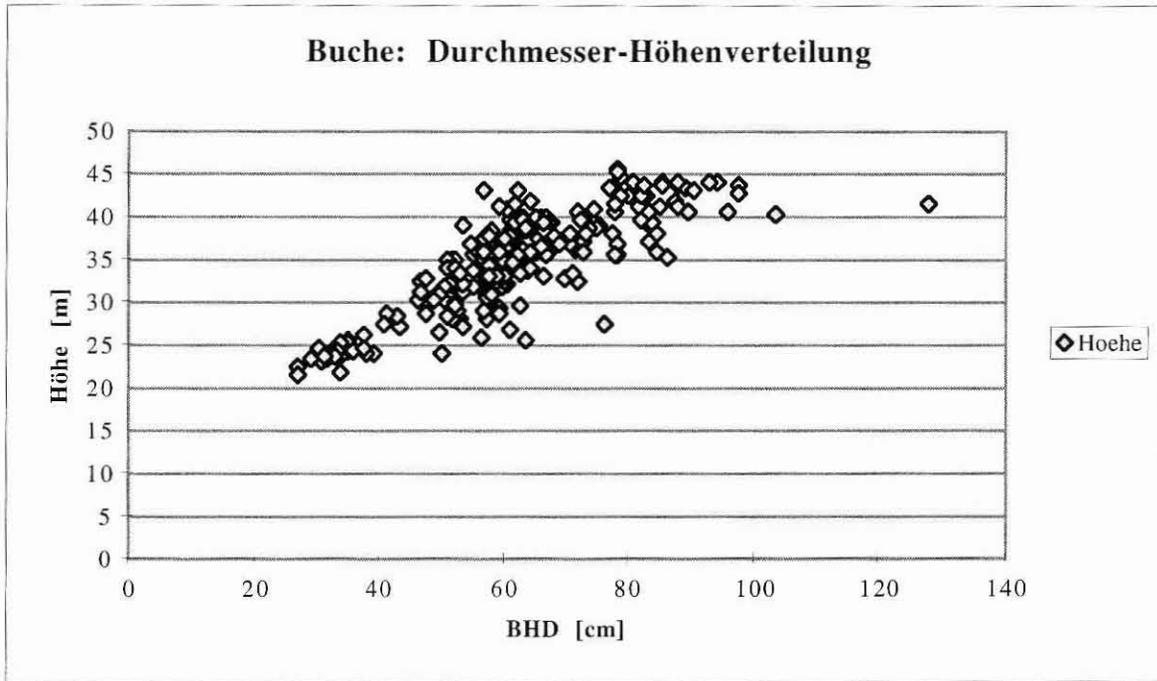


Abb. 3: Über den BHD-Werten der jeweils 10 dicksten Buchen auf den untersuchten Buchen-Versuchsflächen sind die dazugehörigen Höhenwerte angetragen.

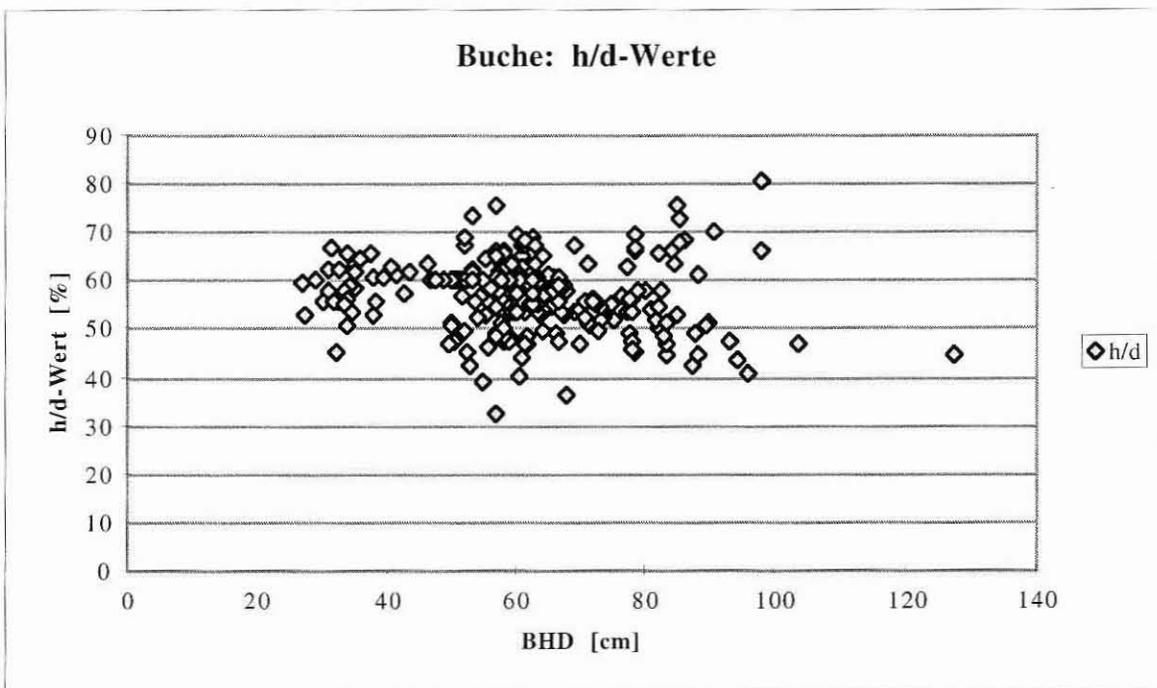


Abb. 4: Über den BHD-Werten der jeweils 10 dicksten Buchen auf den untersuchten Buchen-Versuchsflächen ist die Höhen-Durchmesserrelationen aufgetragen.

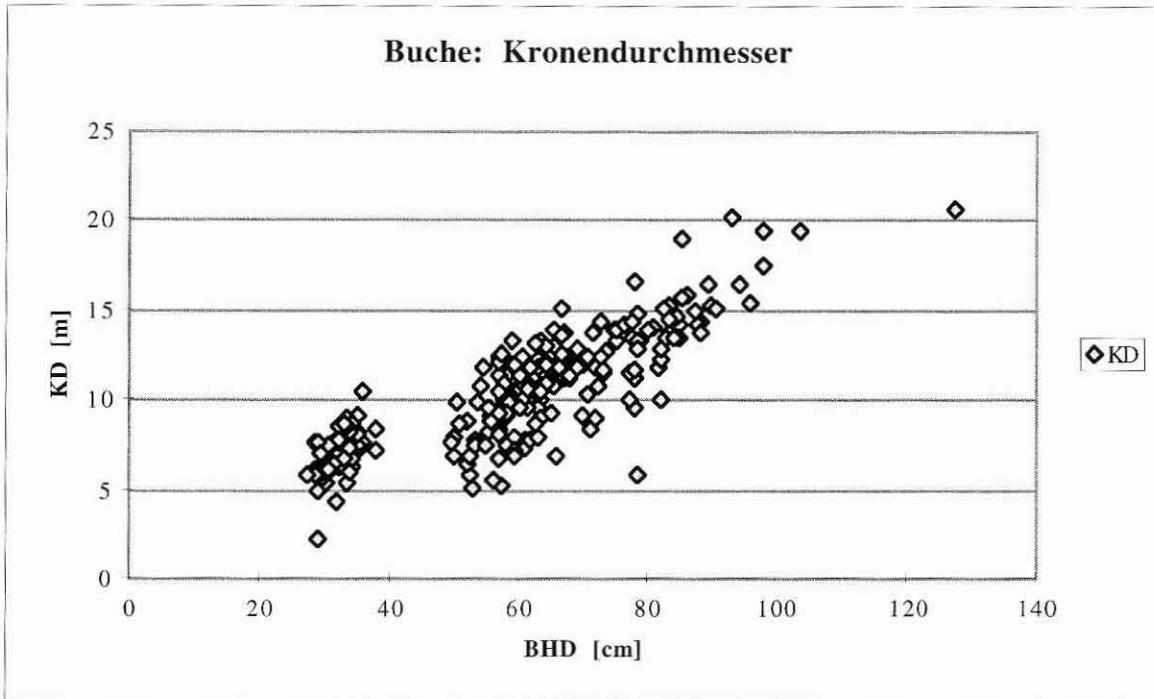


Abb. 5: Über den BHD-Werten der jeweils 10 dicksten Buchen auf den untersuchten Buchen-Versuchsflächen sind die Kronendurchmesser aufgetragen.

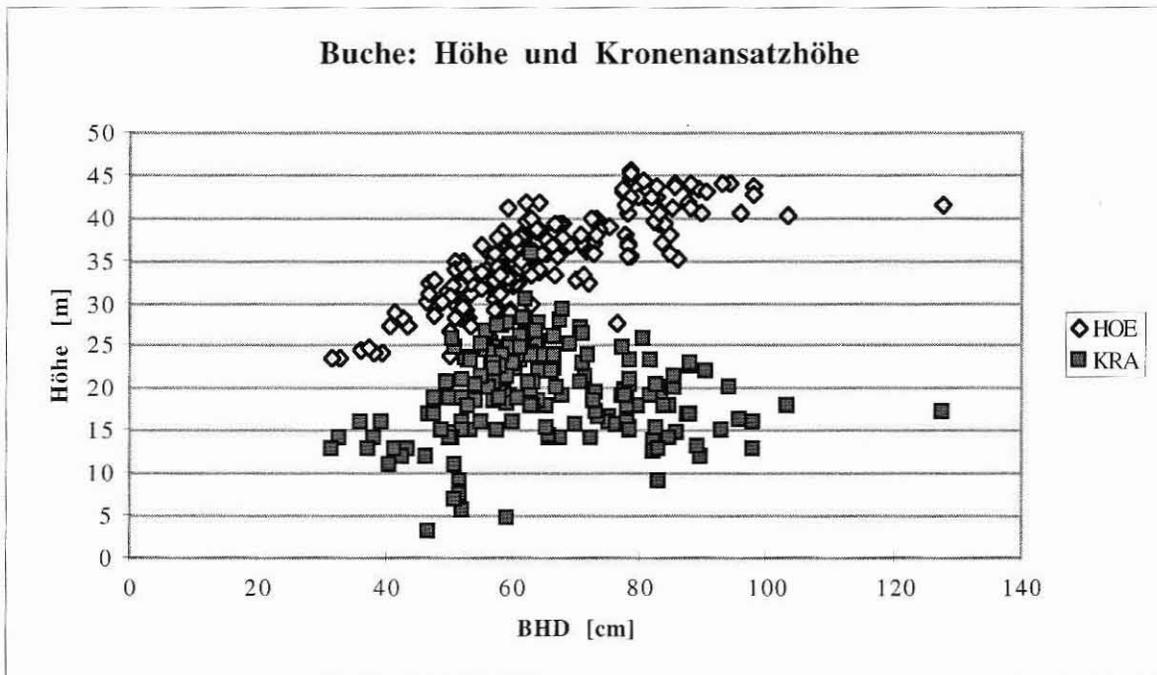


Abb. 6: Über den BHD-Werten der jeweils 10 dicksten Buchen auf den untersuchten Buchen-Versuchsflächen sind die Höhe (HOE) und die Kronenansatzhöhe (KRA) aufgetragen.

4.5 BHD-Verteilung über dem Alter

Von besonderem Interesse für die Abschätzung der Obergrenzen des Durchmesserwachstums ist die Frage, welche maximalen Durchmesser in welchem Alter erreicht werden können. Zunächst zeigt Abbildung 7 auf, daß zum jeweiligen Bezugsalter ein breites Durchmesserspektrum gegeben ist. Im Alter von 90 Jahren werden erstmals BHD-Werte von 60 cm überschritten. In der Altersphase 100 bis 150 Jahre ist nur ein geringer Anstieg der BHD-Werte mit zunehmendem Alter festzustellen. Hierbei muß beachtet werden, daß die betreffenden Bestände zielstärkenorientiert genutzt werden. Die Bestände über 160 Jahren dagegen sind nicht in Verjüngungsnutzung, Bäume mit Durchmessern über 80 cm sind in den Beständen vorhanden.

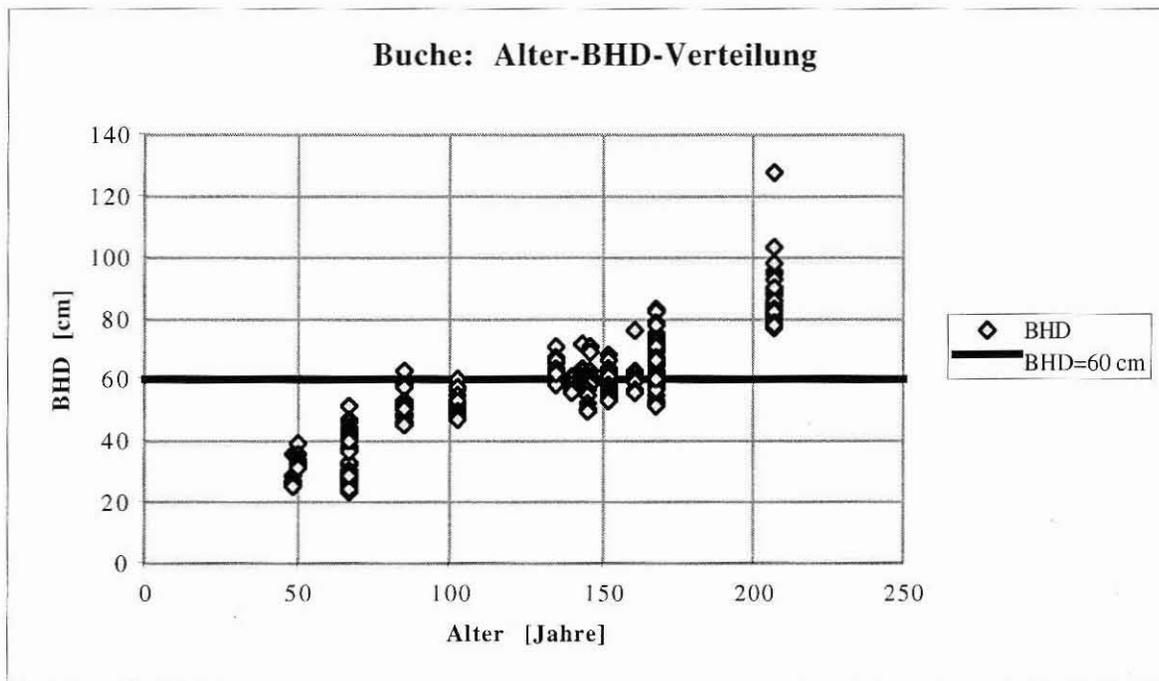


Abb. 7: Erreichter BHD der jeweils 10 dicksten Buchen auf den untersuchten Buchen-Versuchsflächen in Abhängigkeit vom Alter.

4.6 Durchmesserzuwachs

Abbildung 8 zeigt die Punktwolke für den durchschnittlichen jährlichen Durchmesserzuwachs der 10 stärksten Stämme pro Versuchsparzelle in einer Zuwachsperiode, die abhängig vom Aufnahmeturnus zwischen 5 und 10 Jahre umfaßt. Waren mehrere Zuwachsperioden erfaßt, so wurden die aktuellsten Aufnahmen ausgewertet. Die Daten spiegeln die Zuwachsleistung der vorherrschenden Bäume im jeweiligen Untersuchungsbestand wider. Die jährlichen Zuwachsraten liegen zwischen 2 und 10 mm/Jahr. Mit zunehmendem BHD sinkt der Durchmesserzuwachs leicht ab. Liegen bei 30 cm BHD die Durchmesserzuwächse im Schnitt bei 6 mm/Jahr, so sinken sie bei 60 cm BHD im Durchschnitt auf 5 mm/Jahr ab. Die Streuung der Punktwolke ist relativ groß. Abbildung 8 verdeutlicht, daß die Buche eine lang anhaltende hohe Zuwachsleistung erbringen kann. Im Untersuchungsmaterial wird dieser Eindruck verstärkt, da in hohen BHD-Bereichen durch Umlichtung der Einzelbäume im Zuge der Verjüngungsnutzung Lichtungszuwachseffekte auftreten.

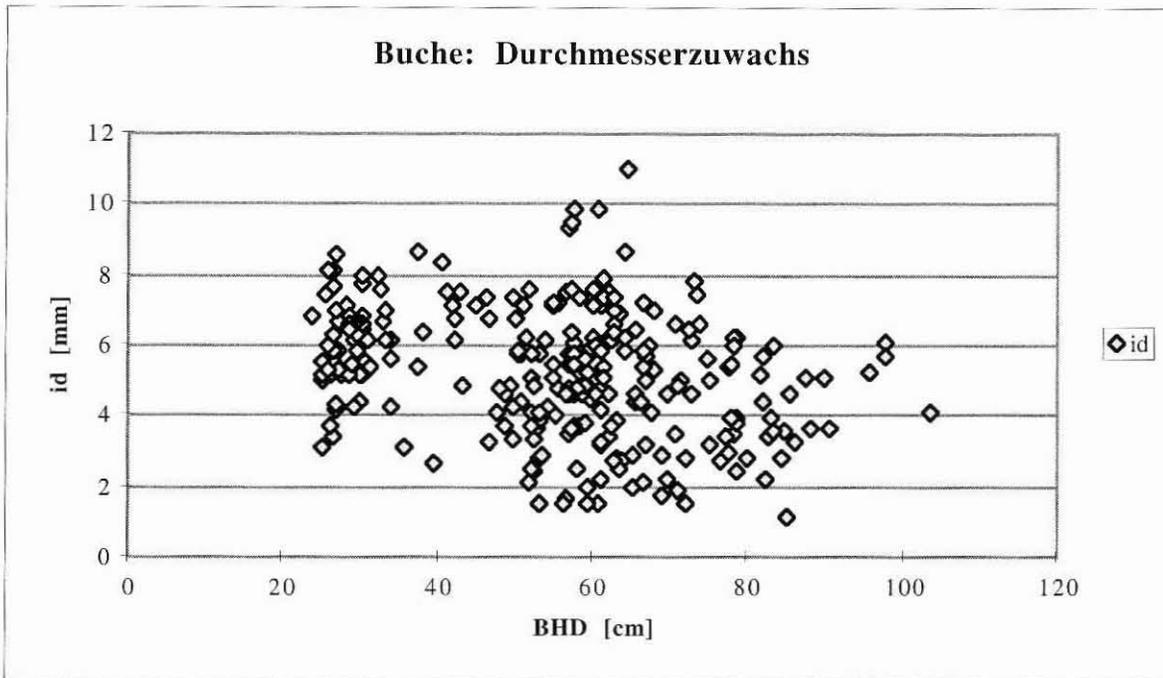


Abb. 8: Über den BHD-Werten der jeweils 10 dicksten Buchen auf den untersuchten Buchen-Versuchsflächen ist der laufende jährliche Durchmesserzuwachs (abhängig vom Aufnahmezeitraum gemittelt aus 5 bis 10jährigen Zuwachsperioden, verwendet wurden die aktuellsten Aufnahmen) aufgetragen.

5 Wirkung von Einflußfaktoren auf die Dimensionsgrößen

Zur Untersuchung der Wirkung von Einflußfaktoren wie Alter, Konkurrenzsituation oder Behandlung auf die Dimensionsgrößen wurden alle Bäume (N= 3017) aus den untersuchten Parzellen in die Betrachtungen einbezogen.

Für die Darstellung der Kronengrößen in Abhängigkeit vom Alter und der individuellen Konkurrenzsituation wurden Altersklassen mit einer Klassenbreite von 25 Jahren gebildet. Bäume mit einem Alter bis 50 Jahre wurden in der Altersklasse 1 zusammengefaßt.

Weiterhin wurde für die Einzelbäume der Konkurrenzwert KKL mit dem Wuchsmodell SILVA 2.2 errechnet (KAHN und PRETZSCH, 1997). Er ist ein Maß für die Beschreibung der Kronenkonkurrenz um Licht. Die Berechnung der Konkurrenzwerte vollzieht sich in zwei Schritten: erstens der Bestimmung der Konkurrenten, zweitens der Quantifizierung der Konkurrenz. Die Bestimmung der Konkurrenten beruht auf der sogenannten Lichtkegelmethode (Abb. 9). Ein Nachbarbaum eines Bezugsbaumes wird dann als Konkurrent betrachtet, wenn er mit seiner Baumspitze in den Lichtkegel des Bezugsbaumes hinein ragt.

Für jeden Bezugsbaum werden nun zunächst alle Konkurrenten ermittelt. In einem zweiten Schritt wird die Konkurrenz, die diese Bäume auf den Bezugsbaum ausüben, quantifiziert. Hierzu wird der Winkel β_{ij} bestimmt, mit dem der Konkurrent j in den Suchkegel des Bezugsbaumes i hinein ragt. Dieser Winkel β_{ij} wird nun gewichtet mit der Relation der Kronenquerschnitte des Konkurrenten zu der des Bezugsbaumes. Die Kronenquerschnitte werden in Höhe des Lichtkegel-

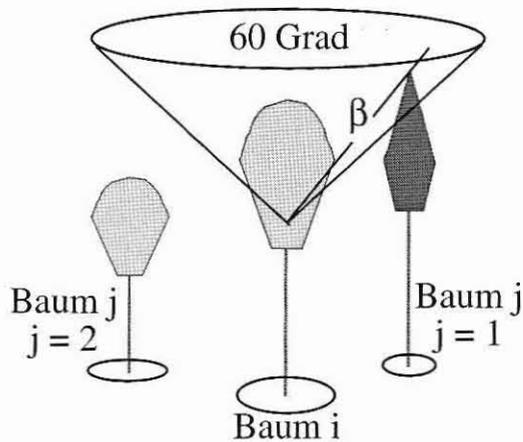


Abb. 9: Bestimmung der Konkurrenten nach der Lichtkegelmethode im Wachstumsmodell SILVA. Baum i ist der Bezugsbaum, der Konkurrent j=1, eine Fichte, ragt mit seiner Baumspitze in den Lichtkegel von Bezugsbaum i. Baum j=2 ist demnach kein Konkurrent.

ansatzes berechnet. Liegt die Ansatzhöhe unter der Baumhöhe, in welcher der Baum seine maximale Kronenbreite aufweist, so wird die Kronenquerfläche über die maximale Kronenbreite bestimmt. Zusätzlich werden die Winkel auch noch mit baumartenspezifischen Lichttransmissionskoeffizienten multiplikativ gewichtet. Die Konkurrenzwerte aller Konkurrenten werden für den Bezugsbaum aufsummiert:

$$(F 1) \quad KKL_i = \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^n (\beta_{ij} * \frac{KQF_j}{KQF_i} * TM(j))$$

Es bedeuten:

KKL = Kronenkonkurrenz um Licht

β_{ij} = trigonometrisches Maß der Konkurrenz von Baum j auf Baum i

KQF = Kronenquerfläche

TM = baumartenspezifischer Transmissionskoeffizient für Licht, bei Buche TM=1

i = Bezugsbaum

j = Konkurrent von Baum i, j=1(1)n

Randeffekten bei der Konkurrenzwertberechnung wird durch Verwendung einer linearen Expansionsmethode begegnet. KKL-Werte von 1 bis 2 beschreiben Wuchskonstellationen geringer Konkurrenz, Maximalwerte für den KKL liegen für Bäume des Hauptbestandes bei 10 bis 20. Für diese Untersuchung wurde der KKL in Klassen mit einer Klassenbreite von 1 eingeteilt.

5.1 Kronendurchmesser in Abhängigkeit vom Alter und der Konkurrenzsituation

Für die Untersuchung der Abhängigkeit des Kronendurchmessers vom Alter und der Konkurrenzsituation sind nur die Altersbereiche 50-74 Jahre und 125-207 Jahre besetzt.

Abbildung 10 zeigt zunächst, daß mit zunehmendem Alter die Kronendurchmesser deutlich ansteigen. Darüber hinaus haben in allen Altersklassen die Bäume mit niedrigem KKL die relativ größten Kronen. Die Staffelung der Kronendurchmesser über dem KKL bleibt in allen

untersuchten Altersklassen erhalten. Ein deutlicher Sprung in den Kronendimensionen nach oben ist in den Beständen, die älter als 174 Jahren sind, zu beobachten. Die dort vorhandenen sehr dicken Bäume haben mächtige Kronen ausgebildet. In der Altersphase von 125 bis 174 Jahre bleiben die Kronengrößen relativ konstant. Durch die Zielstärkennutzung werden die hiebsreifen Bäume entnommen.

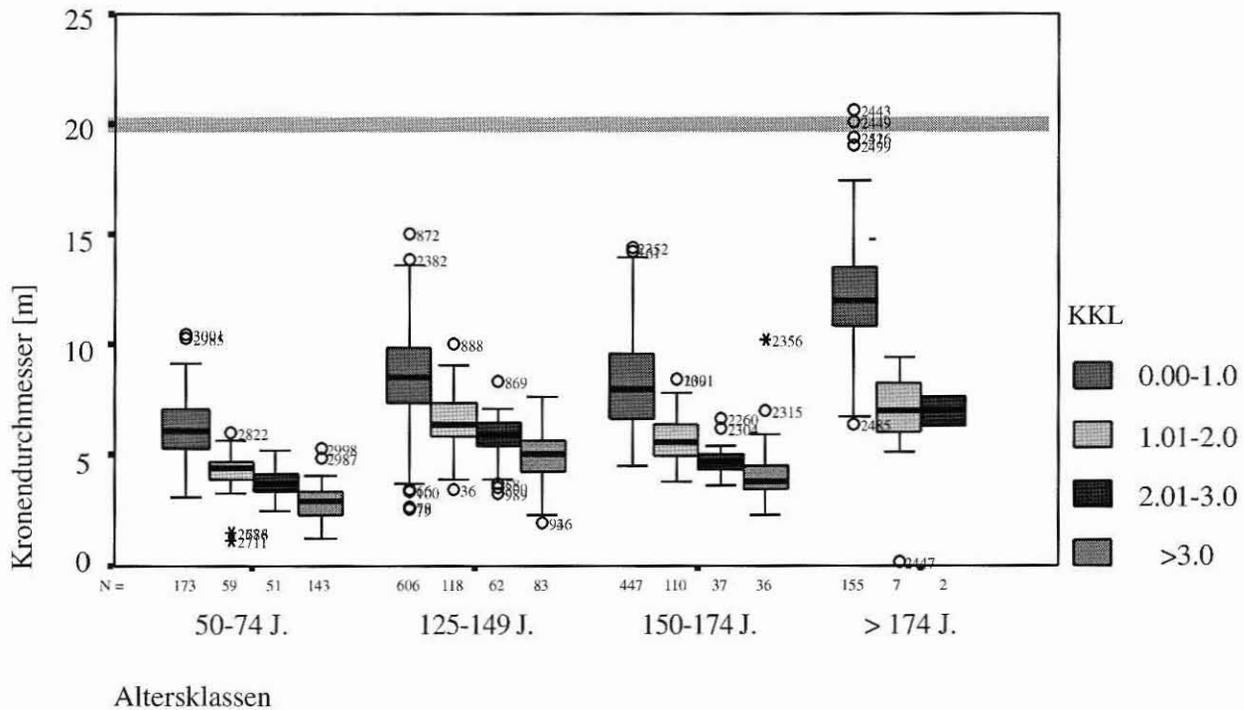


Abb. 10: Kronendurchmesser in Abhängigkeit vom Alter und von der Wuchskonstellation des Einzelbaumes, ausgedrückt durch den Konkurrenzwert KKL.

5.2 Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit vom Alter und der Konkurrenzsituation

Der jährliche Durchmesserzuwachs innerhalb der Altersklassen ist deutlich nach den Wuchskonstellationen der Einzelbäume gestaffelt (Abb. 11). Bäume mit sehr geringem bis geringem Konkurrenzdruck haben einen wesentlich höheren Durchmesserzuwachs als Bäume mit KKL-Werten über 2. Der Vergleich der verschiedenen Altersklassen zeigt, daß die Buche einen lang anhaltenden Zuwachs hat. Der jährliche Durchmesserzuwachs sinkt im Durchschnitt bei den Bäumen mit geringem Konkurrenzdruck von 5 bis 6 mm/Jahr im Alter bis 74 Jahren nur langsam auf Werte zwischen 4 und 5 mm/Jahr ab. Spitzenwerte im Durchmesserzuwachs von über 10 mm/Jahr sind nur an einigen wenigen Bäumen zu beobachten. Zu berücksichtigen ist, daß die Durchmesserzuwächse aus den periodischen Durchmesserentnahmen ermittelt wurden. Damit sind die durch Klimateinflüsse oft starken jährlichen Schwankungen der Jahrringbreite geglättet.

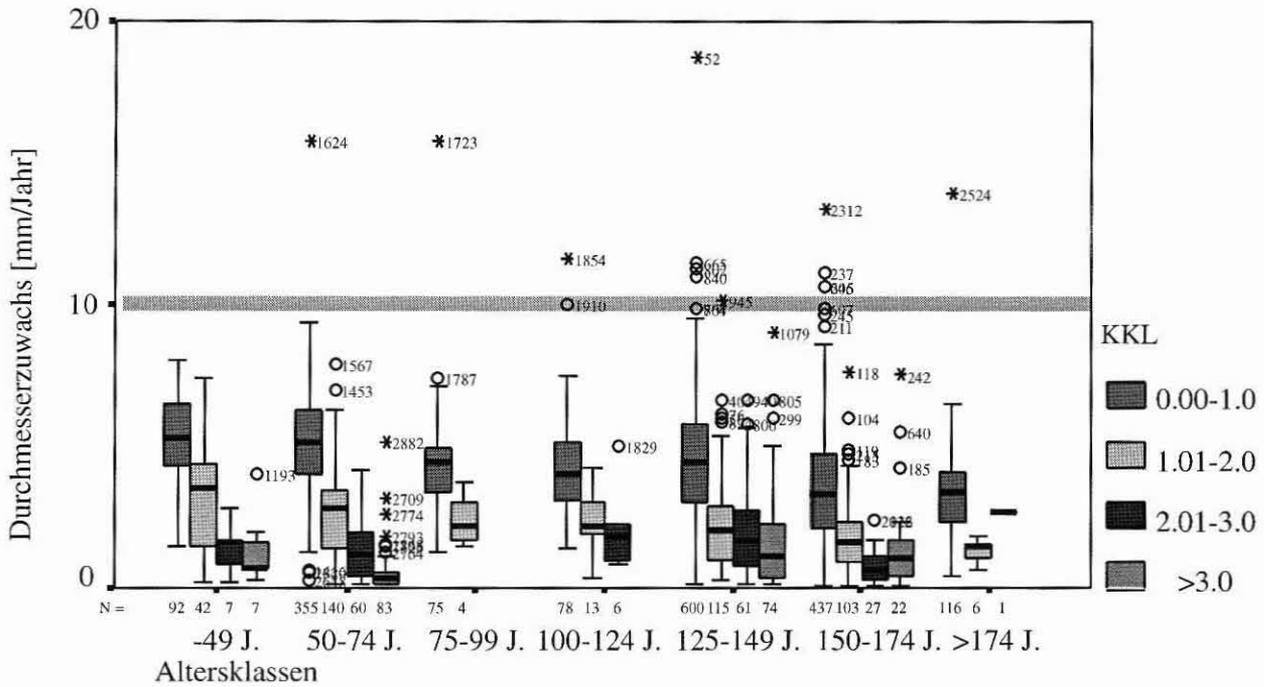


Abb. 11: Jährlicher Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit vom Alter und von der Wuchskonstellation des Einzelbaumes, ausgedrückt durch den Konkurrenzwert KKL.

5.3 Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit von der Eingriffsstärke und dem Zeitpunkt des Eingriffes

Die Versuchsfläche Starnberg 91 ist ein interessantes Objekt, um die Auswirkung der Eingriffsstärke auf das Wachstum der Buche näher zu untersuchen. Seit 1972 werden die fünf Parzellen dieses Versuches nach einem grundflächengestaffelten Konzept durchforstet. Die unbehandelte A-Grad-Fläche dient dabei als Referenz. Bei den bisher durchgeführten fünf Durchforstungen wurden die übrigen 4 Parzellen jeweils auf 80%, 70%, 60% und 50% der Grundfläche des A-Grades abgesenkt. Versuchsziel war es, ein breites Spektrum von Eingriffsstärken auf den Parzellen zu verwirklichen. Insgesamt können auf diesem Versuch für 4 Zuwachsperioden, über insgesamt 27 Jahre, die Zuwachsreaktionen der Einzelbäume auf den Parzellen in Abhängigkeit von der Eingriffsstärke analysiert werden.

Abbildung 12 zeigt für die jeweils 10 stärksten Bäume jeder Behandlungsvariante den mittleren jährlichen Durchmesserzuwachs getrennt nach den 4 Zuwachsperioden. Im A-Grad sinkt der Durchmesserzuwachs im Beobachtungszeitraum von im Durchschnitt 6 mm/Jahr auf 5 mm/Jahr ab. Die Variante mit 80% der Grundfläche des A-Grades hat einen im Beobachtungszeitraum eher gleichbleibenden Durchmesserzuwachs. Die Variante mit 70% der Grundfläche des A-Grades reagiert auf die Durchforstung mit einem sprunghaften Anstieg des Durchmesserzuwachses in der 2. Zuwachsperiode. Dann sinkt der Durchmesserzuwachs wieder auf das Ausgangsniveau ab. Die Absenkung auf 60% der Grundfläche des A-Grades bewirkt einen noch kräftigeren Anstieg des Durchmesserzuwachses auf Werte zwischen 7 und 8 mm/Jahr. Der Durchmesserzuwachs sinkt in der Folgezeit nur geringfügig ab. Ein ganz anderes Bild zeigt die Parzelle mit einer Grundflächenabsenkung um 50%. Der Zuwachs liegt zu Beginn der Beobachtung relativ hoch, sinkt dann langsam und in der letzten Beobachtungsperiode sehr

deutlich ab. Auf dieser Parzelle wurde bereits vor 1972 stark eingegriffen, der Lichtwuchseffekt ist hier schon deutlich abgeklungen.

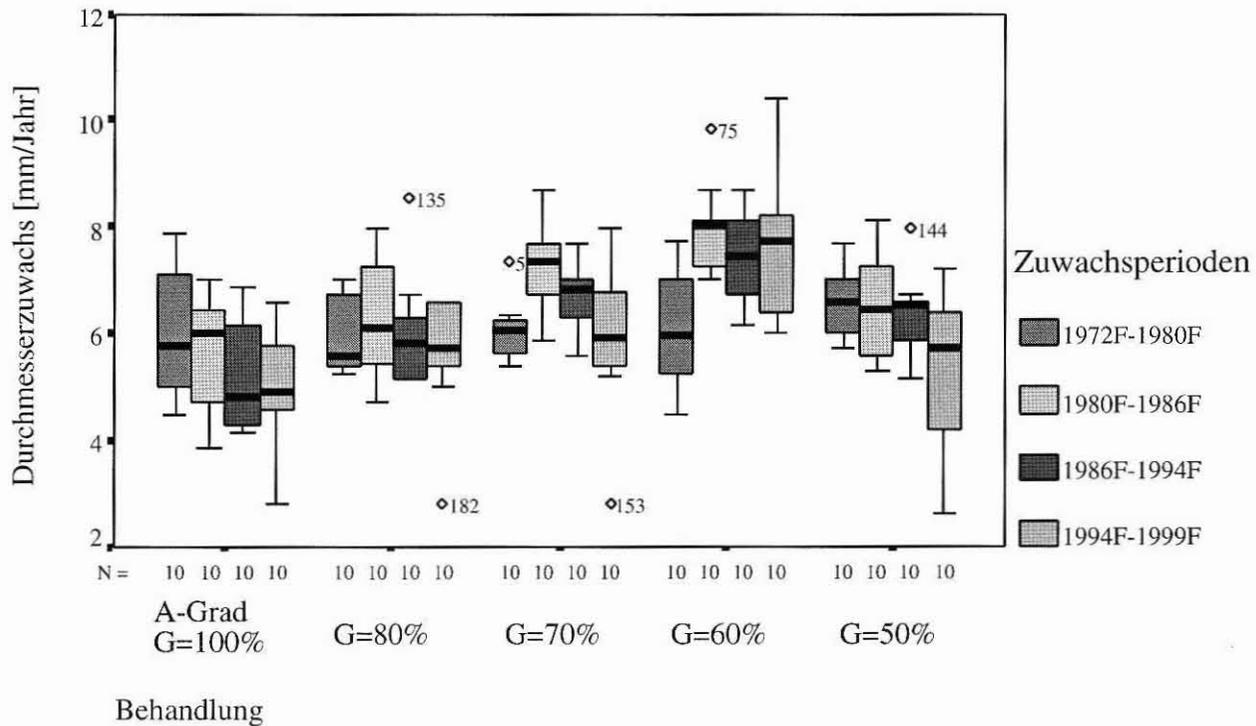


Abb. 12: Jährlicher Durchmesserzuwachs in Abhängigkeit von der Eingriffsstärke und dem Zeitpunkt des Eingriffes auf der Versuchsfläche Starnberg 91.

6 Vergleich der Einzelbaumdaten mit Elementen des Wachstumsmodells SILVA 2.2

Aus der Parametrisierung von SILVA 2.2 werden für die Größen Kronendurchmesser, Kronenansatzhöhe und Durchmesserzuwachs die Schätz- oder Potentialfunktionen vorgestellt, wie sie KAHN und PRETZSCH (1997) aus einem sehr umfangreichen Datenmaterial ermitteln konnten. Diese Funktionen werden mit den Werten auf den Versuchsflächen verglichen.

6.1 Schätzfunktion für den Kronendurchmesser

Zur Schätzung des Kronendurchmessers wird von KAHN und PRETZSCH (1997) auf eine exponentielle Beziehung mit multiplem Variablensatz zurückgegriffen:

$$(F 2) \quad kd = e^{a_0 + a_1 \cdot \ln(bhd) + a_2 \cdot h + a_3 \cdot \ln\left(\frac{h}{bhd}\right)}$$

Es bedeuten:

kd	=	Kronendurchmesser, [m]
h	=	Baumhöhe, [m]
bhd	=	Brusthöhendurchmesser, [cm]
a_0, a_1, a_2, a_3	=	baumartenspezifische Funktionsparameter

Die Parameter dieser Schätzgleichung mit Standardfehlern, Bestimmtheitsmaßen und Stichprobenumfängen sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tab. 2: Parameter der Kronendurchmesserfunktion

N = Stichprobenumfang; R^2 =Bestimmtheitsmaß; MSE=mittlerer quadratischer Fehler

Baumart	Parameter	Schätzwert	Standardfehler
Buche	$R^2=0.61773$; $MSE=2.93988$; $N=12733$		
	a0	0.58564663	0.04825312
	a1	0.42985194	0.02382340
	a2	-0.00345519	0.00115336
	a3	-0.32380843	0.02424823

Für das Kronendurchmessermodell wurde das gesamte zur Verfügung stehende Datenmaterial des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde zur Parametrisierung genutzt, was auch durch den hohen Stichprobenumfang von 12733 Datensätzen bei der Buche belegt wird (Tab. 2). Das Bestimmtheitsmaß ist hoch. Der mittlere quadratische Fehler ist relativ klein. Für die Buche ergibt die Schätzfunktion eine klare Schichtung der Kronendurchmesserkurven über dem BHD bei unterschiedlichen h/d-Werten.

Abbildung 13 zeigt als durchgezogene Linien die Entwicklung der Kronendurchmesser über dem BHD unter Verwendung baumartentypischer h/d-Werte. Die Kronendurchmesser wurden gemäß Formel (2) errechnet. Gleichzeitig wurde das 68%-Konfidenzintervall für die Kronendurchmesserfunktion eingezeichnet. Es zeigt sich, daß die gewählten h/d-Relationen das Wertespektrum nach oben hin gut abbilden. Die Streuung der Einzelwerte um die Funktionswerte ist relativ hoch, da die individuellen h/d-Relationen der Einzelbäume von den gewählten h/d-Relationen mehr oder weniger deutlich abweichen.

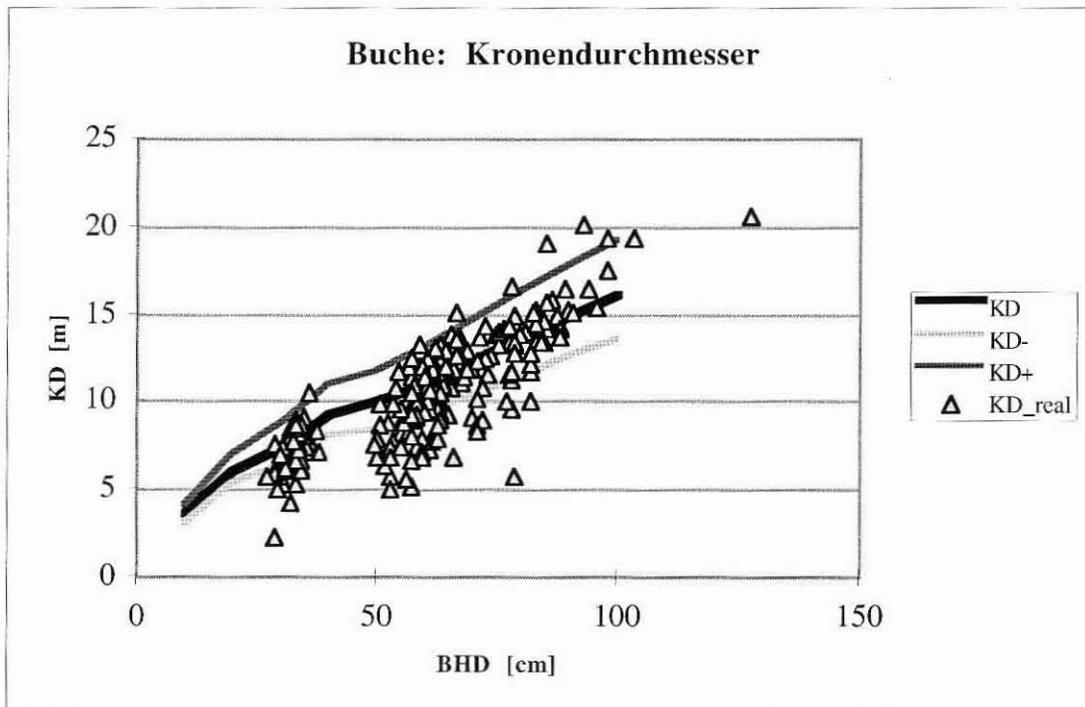


Abb. 13: Geschätzte Kronendurchmesser für definierte h/d-Bereiche. Zusätzlich eingezeichnet ist das 68%-Konfidenzintervall und die Kronendurchmesser der jeweils 10 stärksten Bäume pro Versuchspartelle.

Mit dieser Funktion können bei Kenntnis der Höhenentwicklung auf dem jeweiligen Standort auch Standraumansprüche von Zielbäumen abgeleitet werden. In Tabelle 3 sind die zu erwartenden Kronendurchmesser für definierte Zielbäume berechnet. Daraus läßt sich eine mittlere Kronengrundfläche pro Baum errechnen. Diese Überlegungen führen dann unter der Annahme, daß 70% der Fläche durch die Zielbäume überschirmt werden, zu möglichen Zielstammzahlen/ha. Bei einem Zieldurchmesser von 50 cm sind mindestens 89, bei einem Zieldurchmesser von 70 cm noch 58 Zielbäume auszuwählen. Wird ein bemessener Anteil von Reservebäumen eingeplant, so sind die Zielstammzahlen mindestens um 10 bis 20% zu erhöhen. Wird deren Anzahl nicht erreicht, so sinken die Grundflächenwerte/ha (Tab. 3) so stark ab, daß das Leistungspotential dieser guten Standorte nur unzureichend ausgenützt wird.

Tab.: 3 Mit der Kronendurchmesserfunktion (F 2) können für bestimmte Zieldurchmesser in Abhängigkeit von der Baumhöhe die Standraumverhältnisse im Bestand abgeleitet werden. KD=Kronendurchmesser, KGFL=Kronengrundfläche pro Baum, N/ha=rückgerechnete Stammzahl/ha bei Unterstellung eines Überschirmungsprozentes von 70 (ÜB=70%) für die Zielbäume, G/ha=Stammgrundfläche/ha aus Stammzahl und BHD errechnet.

HOEHE [m]	BHD [cm]	KD/Baum [m]	KGFL/Baum [qm]	N/ha [ÜB=70%]	G/ha [qm]
32	50	10.0	78.3	89	18
35	60	11.0	95.3	73	21
35	70	12.4	120.2	58	22
35	80	13.7	147.0	48	24
35	90	15.0	175.6	40	25
35	100	16.2	205.8	34	27

6.2 Durchmesserzuwachspotential

Für SILVA 2.2 wurde aus einem umfangreichen Datenmaterial für die Baumart Buche ein echtes Durchmesserzuwachspotential (F 3) in Abhängigkeit vom Baumdurchmesser abgeleitet (KAHN und PRETZSCH, 1997). Eine wichtige Frage für die Anwendung eines Modells ist: Wie gut wird der aktuelle laufende Durchmesserzuwachs der Einzelbäume geschätzt? Dazu wurde die Funktion für das Durchmesserzuwachspotential der Buche aus SILVA 2.2 mit den realen jährlichen Durchmesserzuwachsraten der 10 stärksten Stämme pro Versuchsparzelle verglichen (Abb. 14).

$$(F 3) \quad zd_{pot} = A * (1 - e^{-k*d})^p * k * p * e^{-k*d}$$

Es bedeuten:

zd_{pot} = potentieller Durchmesserzuwachs des Einzelbaumes [cm/5 Jahre]

d = Baumdurchmesser [cm]

A, k, p = Parameter

Tab. 4: Parameter der Durchmesser-Potentialfunktion (F 3)

Baumart	A	k	p
Buche	1508.9183	0.016363272	0.775173759

Die Potentialkurve steigt mit zunehmendem Alter rasch an, hat ihren Kulminationspunkt bei etwa 30 Jahren mit Durchmesserzuwachswerten knapp unter 12 mm/Jahr und sinkt dann langsam bis zum Alter 100 auf Werte zwischen 6 und 7 mm/Jahr ab. Die über das gesamte Altersspektrum reichenden realen Durchmesserzuwachswerte liegen selbst in den Maximalwerten unter der Potentialkurve, im Durchschnitt sogar deutlich darunter. Auf den Untersuchungsflächen bestehen sehr unterschiedliche, z.T. sehr extreme Wuchskonstellationen mit maximalem Lichtgenuß. Trotzdem bildet diese Potentialfunktion eine echte Obergrenze des Durchmesserzuwachses der Buche ab.

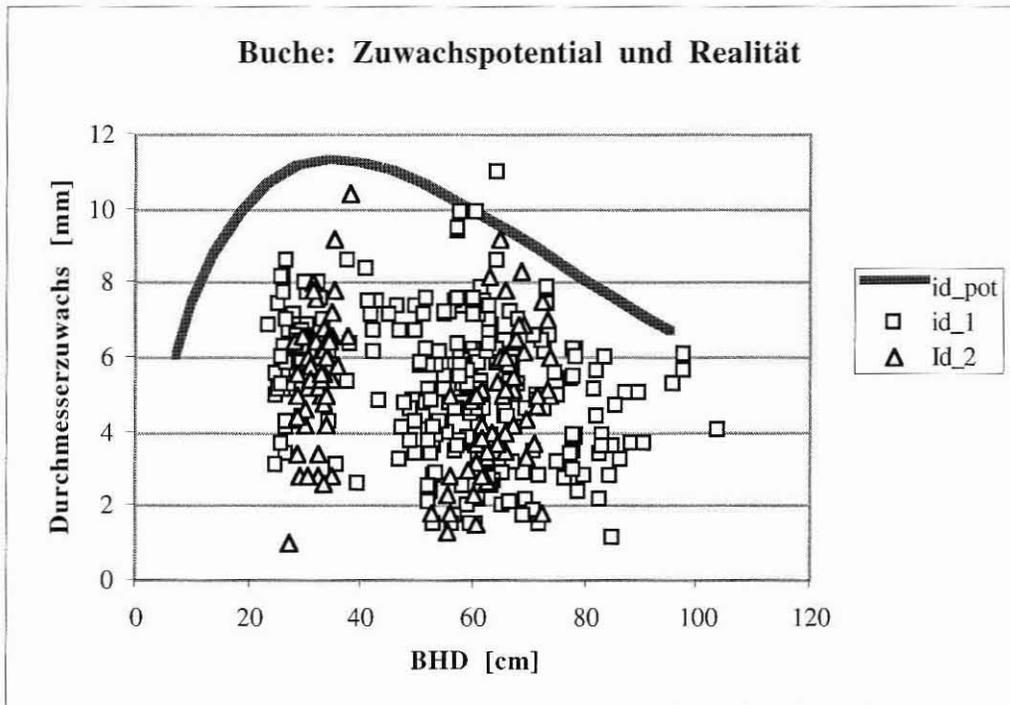


Abb. 14: Das Durchmesserzuwachspotential der Buche nach KAHN und PRETZSCH (1997) ist als graue Linie dargestellt. Zusätzlich eingezeichnet ist der jährliche Durchmesserzuwachs der jeweils 10 stärksten Bäume pro Versuchspartelle für zwei Zuwachperioden (id_1 und id_2).

6.3 Potentielle Durchmesserentwicklung im Vergleich zu Modellberechnungen und realen Daten

Für die Definition einer Zielstärke ist es notwendig, daß die Durchmesserentwicklung auf dem jeweiligen Standort realistisch eingeschätzt wird. Die Summation der potentiellen Durchmesserzuwächse ergibt die auf Abbildung 15 dunkelgrau eingezeichnete Maximallinie. Sie erreicht im Alter 100 Jahre einen maximalen BHD von 85 cm und im Alter von 140 Jahren einen BHD von 110 cm. Größere Durchmesser sind selbst bei extremster Freistellung und bestem Standort nur in Ausnahmefällen zu erwarten.

Nach dieser Abschätzung des maximal mögliche Durchmessers stellt sich die Frage, welche Durchmesser sind denn wohl maximal in Buchenbeständen zu erreichen? Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein Bestand, der im Alter von 41 Jahren eine Höhe von 16,1 m und einen Mitteldurchmesser von 29 cm hat und nur aus 25 Zielbäume/ha besteht, über 145 Jahre mit dem

Wuchsmodell SILVA 2.2 fortgeschrieben. Zusätzlich wurde definiert, daß alle Bäume die Umtriebszeit erreichen. Die Wachstumskurve für den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes dieser 25 Bäume/ha wurde zum Vergleich auf Abbildung 15 eingetragen. Der Modellbestand überschreitet im Alter von 98 Jahren die Grenze von 60 cm BHD und erreicht im Alter von 140 Jahren 80 cm BHD. Mit zunehmendem Bestandesalter weicht die BHD-Entwicklung des Modellbestandes immer weiter von der Potentialkurve ab.

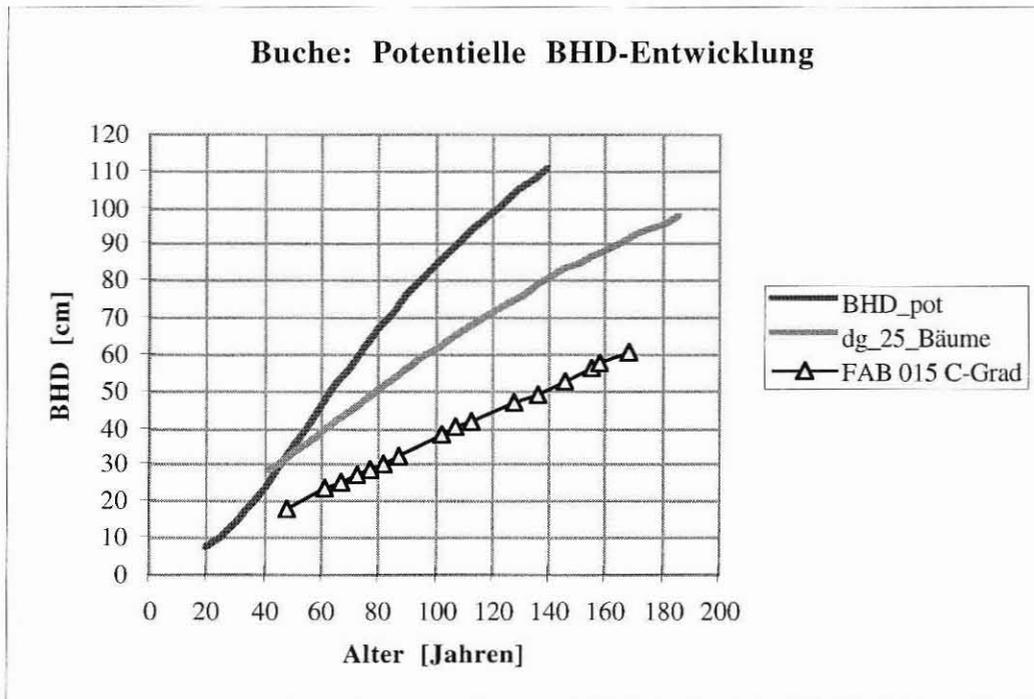


Abb. 15: Potentielle BHD-Entwicklung für die Buche, integriert aus der Funktion für das Durchmesserzuwachspotential der Buche (dunkelgraue Linie) nach KAHN und PRETZSCH (1997). Zusätzlich eingezeichnet ist die mit SILVA 2.2 prognostizierte BHD-Entwicklung eines Bestandes mit 25 Bäumen/ha (hellgraue Linie) vom Alter 41-185 Jahre. Zum Vergleich sind die realen Daten der Durchmesserentwicklung des C-Grades auf der Versuchsfläche Fabrikschleichach 015 noch eingefügt.

Zur Klärung der Frage, wie gut denn die Prognose im Vergleich zur BHD-Entwicklung einer stärker durchforsteten Buchen-Versuchsfläche ist, wurde noch die Wachstumskurven des Durchmessers der 100 stärksten Stämme der Versuchsfläche Fabrikschleichach 015 (C-Grad) eingetragen. Der Vergleich zeigt, daß das Modell sehr wohl die Effekte einer wesentlich extremeren Freistellungen nachbilden kann, als sie z.B. auf dieser Versuchsfläche auftraten. Gleichzeitig verläuft die Modellentwicklung auch bei völlig konkurrenzfreiem Wachstum innerhalb plausibler Grenzen. Die Kurve des Modellbestandes mit 25 Bäumen liegt im Alter von 50 Jahren etwa 10 cm über der realen Entwicklung auf der Versuchsfläche FAB 015 C-Grad, im Alter von 160 Jahren beträgt der Vorsprung bereits 30 cm. Der Durchmesser Vorsprung im Prognosezeitraum beträgt somit 20 cm, das ist im Vergleich zu den erwarteten Effekten einer Bestandesbehandlung (ASSMANN, 1961) sehr viel. Andererseits führt allein das Fehlen von Konkurrenz noch lange nicht zu maximalem Wachstum. Restriktionen wie der höhere Respirationsanteil durch sehr große Kronen oder die fehlenden Wachstumsimpulse durch Durchforstungen führen zu einer deutlichen Reduktion des Zuwachspotentials.

7 Bewertung der Ergebnisse

Die Untersuchung zeigt Rahmenwerte für maximale Dimensionsgrößen der Baumart Buche auf. Aus der vorgestellten Kronendurchmesserfunktion ist der mittlere Standraum von Zielbäumen ableitbar. Damit ist die Überprüfung von vorgeschlagenen Zielstammzahlen auf der Basis der Kronengröße möglich.

Die Analyse des Durchmesserzuwachses der Einzelbäume erlaubt eine Abschätzung der Produktionszeiträume für bestimmte Zieldurchmesser. Die ermittelten Rahmenwerte liegen deutlich unter dem eingangs plakativ formulierten Ziel, 90 cm BHD im Alter von 90 Jahren bei der Buche zu erreichen. Es zeigt sich aber auch, daß bis zum Alter von 100 Jahren BHD-Werte von 60 cm erreichbar sind.

Auf der Basis des Standraumbedarfs des Einzelbaumes bei definiertem Zieldurchmesser erfolgt eine Kalkulation der potentiellen Wertentwicklung/ha für Abtriebsbestände. Dabei wird optimistisch unterstellt, daß alle Zielbäume A-Qualität erreichen. Zusätzlich gehen noch folgende Prämissen ein: Je dicker der Stamm, um so kürzer ist das verwertbare Stammstück. Je stärker der Stamm um so höher ist der Erlös/fm. Dünnere Stämme erlauben die Aushaltung eines weiteren Stammstückes mit B-Qualität. Damit wird dem längeren astfreien Schaft bei schwächerer Durchforstung Rechnung getragen.

Die aus den Kronengrößen abgeleiteten Zielstammzahlen liegen deutlich unter den bisher in verschiedenen Waldbaurichtlinien vorgeschlagenen Stammzahlen (BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1988; NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN, 1997). Die Kalkulation der potentiellen Wertentwicklung (Tab. 5) unterschiedlicher Zielbestände zeigt, wie wichtig eine ausreichende Anzahl von Zielbäumen ist. Werden z.B. nur 20 maximal dicke Bäume erzeugt, bleibt der Wert deutlich hinter stammzahlreicheren Varianten zurück. Insgesamt sinkt die Werterwartung mit abnehmendem Zieldurchmesser.

Tab. 5: Kalkulation der potentiellen Wertentwicklung von Beständen bei unterschiedlichen Zieldurchmessern und Zielstammzahlen. Für das Erdstammstück sinkt der Erlös bei geringeren Durchmessern. Die Länge des daran anschließende B-Stückes steigt mit sinkendem Durchmesser. N=Stammzahl/ha, BHD=Brusthöhendurchmesser, L=Länge des Stammstückes, V/Stück=Volumen des Stückes

N/ha	BHD [cm]	L_1 [m]	dm_1 [cm]	V/Stück	V/ha	Preis [DM/fm]	Erlös [DM/ha]	L_2 [m]	dm_2 [cm]	V/Stück	V/ha	Preis [DM/fm]	Erlös [DM/ha]	Gesamterlös [DM/ha]
20	90	7	88.9	4.35	87	600	52140							52140
42	90	7	88.9	4.35	182	600	109494							109494
46	85	8	82.3	4.26	196	600	117460							117460
55	75	9	71.8	3.64	200	500	100211	3	70.4	1.17	64	200	12845	113056
68	65	9	61.8	2.70	184	400	73431	4	60.2	1.14	77	200	15458	88889
90	65	9	61.8	2.70	243	400	97188	5	59.9	1.41	127	200	25362	122550

Die Berechnung der Erntebäume mit diesem Ansatz ist eine sehr statische Methode. Sie läßt völlig außer acht, daß die Buche aus einem geschlossenen Altholz in einem Zeitraum von 20 bis

60 Jahren mit Schirmstellungen im Altbestand verjüngt wird. Wird nur mit den Zielstämmen kalkuliert wird übersehen, daß während dieser Verjüngungsphase noch Durchmesserzuwachsleistungen von im Durchschnitt 6 mm/Jahr erzielt werden können. Das bedeutet, daß auch Stämme, die im Alter von 100 Jahren erst 40 cm BHD erreicht haben, noch in eine Zielstärke von 60 cm BHD hineinwachsen können. Damit erhöht sich die Wertleistung bei geringerem Zieldurchmesser deutlich (Tab. 5).

Insgesamt zeichnet sich ein breiter Handlungsrahmen für die Erziehung von Buchenbeständen ab. Es können in den Beständen durch die Bestandesbehandlung wesentlich höhere Zieldurchmesser als bisher erreicht werden. Es zeichnet sich aber auch eine deutliche Obergrenze ab. Konzentriert sich die Werterwartung nur auf sehr wenige Bäume, so ist zu bedenken, daß der Verlust einzelner Zielbäume bereits mit hohen Wertverlusten verbunden ist (SCHOBER, 1988).

8 Zusammenfassung

Die Buche ist eine Baumart, die seit Beginn der ertragskundlichen und waldwachstumkundlichen Forschung immer große Beachtung fand. Zahlreiche Vorschläge zur Bestandesbehandlung der Buche belegen diese Forschungsbemühungen. Gerade in letzter Zeit sind auch Vorschläge zu einer sehr stark auf den Einzelbaum bezogenen, seine Dimension maximierende Bestandesbehandlung entwickelt worden.

In der vorliegenden Arbeit werden anhand von Messungen von Einzelbaummerkmalen auf langfristigen Versuchsflächen aufgezeigt, welche Dimensions- und Reaktionsgrößen von der Baumart Buche erreicht werden können. Die Datengrundlage umfaßt dabei junge Bestände ebenso wie mittelalte Bestände oder Buchen-Naturwald-Bestände mit einem Alter über 200 Jahren mit Durchmessern über 100 cm BHD. Das Datenmaterial spiegelt ein sehr breites Spektrum von Durchforstungsstrategien, von A-Grad über Lichtwuchs bis Lichtung in frühem oder spätem Bestandesalter wider. Die vorgestellten Existenzspektren zeigen maximale Kronendimensionen und Zuwachsleistungen der Buche auf guten Standorten auf.

Die Ergebnisse aus diesen Einzelbaumauswertungen werden mit einigen im Rahmen der Parametrisierung von SILVA abgeleiteten Schätz- oder Potentialfunktionen verglichen. Damit kann zum einem abgeleitet werden, welche Standraumsituationen durch das Wachstumsmodell Silva bei der Baumart Buche abgedeckt werden. Zum anderen ist es möglich, aus den beschriebenen Zusammenhängen eine Abschätzung von erreichbaren Baumdimensionen und des benötigten Produktionszeitraumes vorzunehmen.

Abschließend wird an Beispielsrechnungen gezeigt, welche Dimensionsgrößen bei Buche erzielbar sind und welche ökonomischen Auswirkungen die vorgestellten Behandlungsvarianten haben.

9 Literatur

- ALTHERR, E. 1971: Wege zur Buchen-Starkholzproduktion. Bericht 15. Hauptversammlung des Baden-Württembergischen Forstvereins und 100-Jahr-Feier der Baden-Württembergischen Forschungs- und Versuchsanstalt, Seite 123-127.
- ASSMANN, 1961: Waldertragskunde, BLV Verlagsgesellschaft München, Bonn, Wien, 490 Seiten.
- ASSMANN, E. 1965: Buchenlichtwuchsbetrieb. FWCBL, Jg. 84, H. 11/12, S. 329-346.
- BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1988: Pflegegrundsätze für Buche und sonstige Laubbaumarten, 17 Seiten.
- BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG, 1988: Pflegegrundsätze für Buche und sonstige Laubbaumarten, 17 Seiten.
- EBERT, H-P. 1999: Lenkung forstlicher Produktion orientiert am einzelnen Baum. AFZ/DerWald, Jg. 54, H. 8, S. 402-405.
- FLEDER, W. 1987: Erziehungsgrundsätze für Buchenbestände. Forst und Holz, Nr. 2, S. 107-112.
- FREIST, 1962: Untersuchungen über den Lichtungszuwachs der Rotbuche und seine Ausnutzung im Forstbetrieb, Beih. z. FwCbl. Heft 17, 78 Seiten.
- KAHN, M. und PRETZSCH, H. 1997: Das Wachstumsmodell SILVA - Parametrisierung der Version 2.1 für Rein- und Mischbestände aus Fichte und Buche. AFJZ, 168 Jg, H. 6/7, S. 115-123
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN, 1997: Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Buchenbeständen. Merkblatt Nr. 33, 22 Seiten.
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESFORSTEN, 1997: Entscheidungshilfen zur Behandlung und Entwicklung von Buchenbeständen. Merkblatt Nr. 33, 22 Seiten.
- PRETZSCH, H. 1996: Growth trends of forests in Southern Germany. In: Growth trends in european forests, Springer-Verlag, Berlin, S. 107-131.
- REININGER, H. 1992: Zielstärken-Nutzung. Österreichischer Agrarverlag, Wien, 5. Auflage, 163 Seiten.
- SCHÄDELIN, 1936: Die Durchforstung, Bern.
- SCHÖBER, 1971: Die Rotbuche 1971, Schriftenr. der Forstl. Fak. Göttingen, Band 43/44, 333 Seiten.
- SCHÖBER, 1988, Von Zukunfts- und Elitebäumen, AFJZ, 159. Jg., H. 11/12, S. 239-249.
- V. SEEBACH, Ch. 1845: Der modifizierte Buchen-Hochwaldbetrieb. Pfeils Kritische Blätter, Bd. 21, H. 1.
- WIEDEMANN, 1943: Lichtungsbetrieb und ungleichaltrige Bestandesformen im reinen Buchenbestand, Zeitschr. f. Forst- und Jagdw.
- WIEDEMANN; 1931: Die Rotbuche M. u. H. Schaper, Hannover, 191 Seiten.
- WILHELM, G.J.; LETTER H-A. und EDER, W. 1999: Konzeption einer naturnahen Erzeugung von starkem Wertholz. AFZ/DerWald, Jg. 54, H. 5, S. 323-240